



A contribuição dos estudos de fluxos térmicos como ferramenta para prevenção da poluição atmosférica na circunvizinhança de plantas com armazenamento de combustíveis líquidos

Wilson Pimenta da Silva D'Ávila¹  *

¹Geógrafo, Engenheiro Ambiental, Mestre em Engenharia Ambiental. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo. (*Autor correspondente: wilson.davila@ifes.edu.br)

Histórico do Artigo: Submetido em: 25/12/2020 – Revisado em: 16/01/2021 – Aceito em: 18/02/2021

RESUMO

Em plantas com armazenamento de combustíveis líquidos, a prevenção da poluição atmosférica precisa considerar a possibilidade de ocorrência de incêndios, pois estes fenômenos podem produzir alterações térmicas e químicas na circunvizinhança. Vazamentos seguidos incêndio em poça podem levar à emissão de fluxos térmicos capazes de produzir danos sobre pessoas e estruturas, em especial quando ultrapassam $12,5 \text{ kW m}^{-2}$. Além disso, um incêndio em poça pode emitir gases prejudiciais à saúde das pessoas. Assim, esta pesquisa analisou um cenário hipotético de vazamento de gasolina e diesel, seguido de incêndio em poça, em um posto revendedor de combustíveis, com os seguintes objetivos: estimar os fluxos térmicos e verificar se estes fluxos seriam capazes de ultrapassar os limites do empreendimento; apontar os principais aspectos em que os estudos de fluxos térmicos contribuem para a prevenção da poluição atmosférica. Os fluxos térmicos foram estimados através do modelo Mudan e os resultados indicaram que, nas condições analisadas, um incêndio em poça seria capaz de gerar fluxos térmicos superiores a $12,5 \text{ kW m}^{-2}$ para os dois combustíveis e estes fluxos ultrapassariam os limites do empreendimento; os gases emitidos, face às características da circunvizinhança e das condições atmosféricas, poderiam incidir sobre pessoas. Assim, foi verificado que os estudos de fluxos térmicos são importantes ferramentas para prevenção da poluição atmosférica, pois contribuem para a prevenção de incêndios e, conseqüentemente, contribuem para evitar alterações térmicas e químicas capazes de ameaçar a saúde e a segurança da população circunvizinha.

Palavras-Chaves: Impacto ambiental, Incêndios, Modelagem ambiental, Dispersão de poluentes, Contaminantes.

The contribution of thermal flow studies as a tool for preventing air pollution in the neighborhood of plants with storage of liquid fuels

ABSTRACT

In plants with storage of liquid fuels, the prevention of atmospheric pollution needs to consider the possibility of the occurrence of fires, as these phenomena can produce thermal and chemical changes in the neighborhood. Leaks following a pool fire can lead to the emission of thermal flows capable of producing damage to people and structures, especially when exceed 12.5 kW m^{-2} . Furthermore, a pool fire can emit gases that are harmful to people's health. Thus, this research analyzed a hypothetical scenario of gasoline and diesel leakage, followed by a pool fire, at a station, with the following objectives: to estimate thermal flows and to verify if these flows would be able to exceed the limits of the undertaking; point out the main aspects in which thermal flow studies contribute to the prevention of air pollution. The thermal flows were estimated using the Mudan model and the results indicated that, under the conditions analyzed, a pool fire would be capable of generating thermal flows greater than 12.5 kW m^{-2} for both fuels and these flows would exceed the limits of the undertaking; the gases emitted, given the characteristics of the neighborhood and atmospheric conditions, could affect people. Thus, it was found that studies of thermal flows are important tools for preventing air pollution, as they contribute to the prevention of fires and, consequently, contribute to avoid thermal and chemical changes capable of threatening the health and safety of the neighborhood population.

Keywords: Environmental impact, Fires, Environmental modeling, Pollutant dispersion, Contaminants.

D'Ávila, W.P.S. (2021). A contribuição dos estudos de fluxos térmicos como ferramenta para prevenção da poluição atmosférica na circunvizinhança de plantas com armazenamento de combustíveis líquidos. *Meio Ambiente (Brasil)*, v.3, n.2, p.56-73.



1. Introdução

A Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente e Desenvolvimento Humano, realizada em Estocolmo no ano de 1972, trouxe para a sociedade um novo olhar sobre as questões ambientais (Horta nogueira & Capaz; 2014) e, nesse percurso, em 1981, entrou em vigor no Brasil a Política Nacional do Meio Ambiente que estabeleceu, dentre outros, a avaliação de impactos ambientais e o licenciamento ambiental (Brasil, 1981). Posteriormente, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (1986) estabeleceu os critérios básicos e diretrizes para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental e definiu como impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais (Conselho Nacional do Meio Ambiente, 1986, p. 1).

Neste contexto, diante da necessidade de prever e controlar os impactos negativos das atividades humanas sobre o meio ambiente, os estudos ambientais tornaram-se muito importantes. Dentre os eventos que podem gerar grandes impactos ambientais encontram-se os incêndios que, segundo Duarte et al. (2008), constituem uma das categorias de eventos com grande potencial para comprometer o funcionamento e a vida de uma organização.

Além de prejuízos diretos para o próprio negócio, tal como decorrente da parada não programada de um processo produtivo, bem como, da necessidade de reparar ou substituir os bens danificados, o fluxo térmico gerado por um incêndio pode extrapolar os limites do empreendimento e produzir impactos negativos sobre a vizinhança. Segundo *National Fire Protection Association* (2002) a exposição a um fluxo térmico igual ou superior a $12,5 \text{ kW m}^{-2}$, por exemplo, é capaz de produzir queimaduras de primeiro grau após 10 s de exposição, bem como um fluxo térmico desta magnitude é capaz de fundir materiais plásticos.

Outro aspecto negativo provocado pelos incêndios é a alteração na composição química do ar, uma vez que gases tóxicos, irritantes, asfixiantes, dentre outros, são introduzidos na atmosfera (Gann & Bryner, 2008). Assim, verifica-se que os incêndios são eventos capazes de gerar poluição atmosférica, de origem térmica ou química. Segundo Braga et al. (2008), a poluição térmica decorre da liberação de calor para o ambiente, na maioria das vezes, a partir da queima de combustíveis; segundo Derisio (2012), a poluição química decorre do lançamento de compostos químicos na atmosfera em concentrações capazes de colocar em risco a saúde, a segurança e o bem-estar das pessoas.

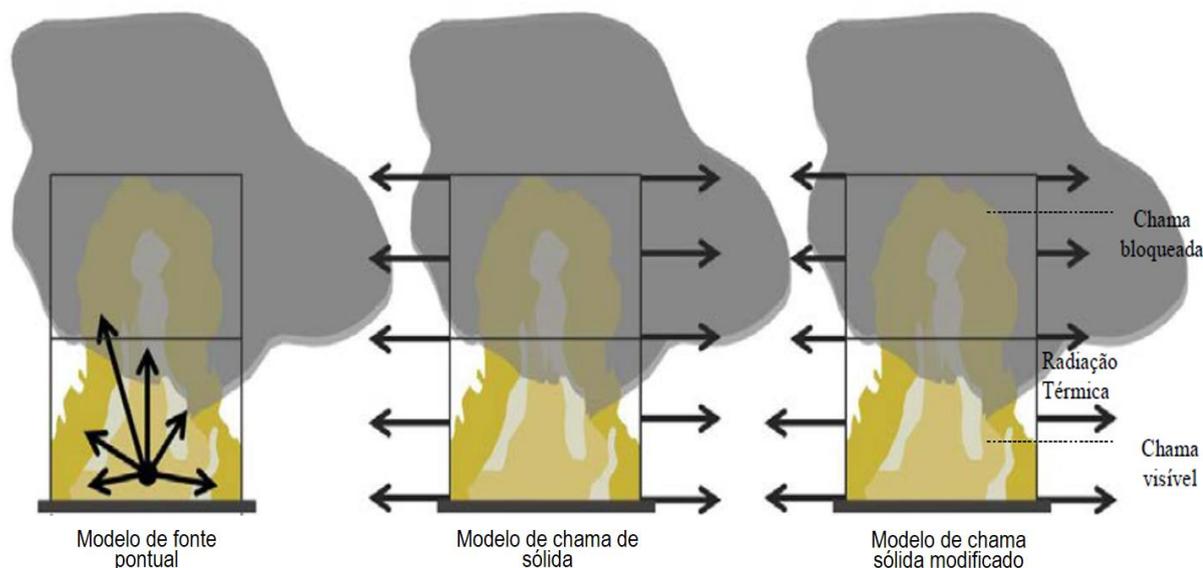
Tendo em vista os efeitos indesejáveis dos incêndios em plantas industriais e comerciais, a prevenção destes eventos assume grande relevância, exigindo esforços conjuntos entre profissionais da área ambiental e de segurança ocupacional (D'Ávila & Campos, 2020). Quanto aos estabelecimentos comerciais, algumas pesquisas têm demonstrado uma preocupação especial com os postos revendedores de combustíveis, haja vista que estes estabelecimentos constituem locais de armazenamento e distribuição de produtos inflamáveis (Barboza, Teixeira & Lima, 2017; Silva, 2018).

Nestes empreendimentos, conforme apontam Barboza, Teixeira e Lima (2017) e Silva (2018), o vazamento de líquido no momento de descarga do caminhão-tanque constitui um dos cenários mais críticos, denominado o incêndio em poça que, segundo Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2011), é caracterizado pela queima da massa evaporada, proveniente de um combustível líquido.

Para melhor conhecer o alcance dos fluxos térmicos dos incêndios, Labovská e Labovský (2016) apontam que os modelos matemáticos são ferramentas muito utilizadas. Estes modelos, vêm sendo desenvolvidos, discutidos e aprimorados há décadas (Mudan, 1984), bem como têm sido disponibilizados através de publicações produzidas por órgãos governamentais, institutos de pesquisa, tais como *Center for National Fire Protection Engineers* (2002), *Chemical Process Safety* (2003), *Nuclear Regulatory Commission* (2004), *The Netherlands Organization of Applied Scientific Research* (2005).

No que se refere especificamente aos incêndios em poça, segundo Santos e Landesmann (2013, p. 3), “os modelos semiempíricos são, atualmente, os mais indicados para prever o fluxo da radiação que incide em objetos localizados fora da chama”. Assim, segundo Santos e Landesmann (2013), três modelos têm sido utilizados para estimar os fluxos térmicos provenientes de incêndios em poça: o modelo de fonte pontual, o modelo de chama sólida e o modelo denominado chama sólida modificada – figura 1.

Figura 1 – Modelos para estimativa de incêndios em poça



Fonte: Santos e Landesmann (2013). Adaptado.

O modelo de fonte pontual assume que toda energia do incêndio é emitida a partir de um único ponto localizado no centro da chama; o modelo chama sólida assume que a chama pode ser representada por um sólido geométrico simples e a radiação é emitida através de toda a superfície deste sólido; o modelo de chama sólida modificada assume que uma parte da superfície do sólido geométrico é coberta por fumaça, coexistindo duas regiões que emitem fluxos térmicos com diferentes intensidades ao longo da chama (National Fire Protection Association, 2002).

Caso medidas preventivas não sejam adotadas, plantas com armazenamento de combustíveis líquidos podem apresentar cenários acidentais com grande potencial para produzir danos sobre a circunvizinhança. Dentre os possíveis cenários acidentais, segundo Muñoz et al. (2007), os incêndios são os mais frequentes, além disso, dentre os cenários de incêndios, aqueles que surgem em poças são os mais comuns. Diante do exposto, considerando a capacidade que os incêndios apresentam para gerar poluição térmica e química da atmosfera, bem como seu potencial para afetar, direta ou indiretamente, a saúde, a segurança e o bem-estar da população circunvizinha, os estudos sobre fluxos térmicos tem adquirido relevância (Zhang et al., 2014).

Nesta perspectiva, a partir de um cenário acidental hipotético de vazamento de gasolina e diesel seguidos de incêndio na área de descarga de um caminhão-tanque, em um posto revendedor de combustíveis, esta pesquisa teve como objetivos:

- a. Estimar os fluxos térmicos provenientes de um incêndio em poça e verificar, nas condições avaliadas, se estes fluxos seriam capazes de ultrapassar os limites do empreendimento analisado;
- b. Apontar os principais aspectos em que os estudos de fluxos térmicos são capazes de contribuir para a prevenção da poluição atmosférica.

2. Material e Métodos

2.1 Definição dos modelos e procedimentos de trabalho

Dentre os modelos semiempíricos frequentemente utilizados para estimar o fluxo térmico de um incêndio em poça, algumas literaturas apontam que o modelo de chama pontual tende a superestimar os resultados para alvos localizados próximos da chama (*The Netherlands Organization of Applied Scientific Research*, 2005); o modelo de chama sólida modificada tem sido apontado como mais adequado para ser utilizado em poças de grandes dimensões (Vaz Júnior, 2015). Diante do exposto, optou-se pelo uso do modelo de chama sólida convencional.

Segundo *National Fire Protection Association* (2002), dentre os modelos de chama sólida convencional, o modelo proposto por Mudan e o modelo proposto por Shokri & Beyler são muito utilizados, todavia enquanto o modelo Mudan mostra-se adequado para estimar fluxos de todas as magnitudes, o modelo proposto por Shokri e Beyler não é recomendado para estimativa de fluxos inferiores a 5 kW m^{-2} . Assim, o modelo Mudan, descrito através da equação 1, foi escolhido para estimar os fluxos térmicos de gasolina e diesel.

$$q'' = Eav \cdot Fw \cdot \tau a \quad (1)$$

Onde: q'' (kW m^{-2}) é o fluxo térmico que atinge um objeto, Eav (kW m^{-2}) é a potência emissiva média na superfície da chama, Fw (adimensional) é o fator de vista e τa (adimensional) é a transmissividade atmosférica.

Assim, uma vez definido o cenário acidental e o modelo a ser utilizado – Mudan – os procedimentos para desenvolvimento dos estudos de fluxo térmico seguiram as seguintes etapas:

1. Determinação do comprimento da chama (H);
2. Determinação da potência emissiva média na superfície da chama (Eav);
3. Determinação do fator de vista (Fw) e da transmissividade atmosférica (τa);
4. Organização dos dados de entrada do modelo e registro das saídas;
5. Identificação da direção do vento predominante e delimitação de sua provável região de atuação.

2.2 Determinação do comprimento da chama (H)

Tendo em vista que o cenário acidental desta pesquisa é composto por uma poça com formato retangular e que o modelo Mudan foi desenvolvido para poça de formato circular, houve necessidade de se determinar o diâmetro equivalente (Deq), através da equação 2, para ser utilizado como diâmetro da poça (D), conforme procedimento descrito por *National Fire Protection Association* (2002).

$$Deq = \frac{4 \cdot Ap}{p} \quad (2)$$

Onde: Deq (m) é o diâmetro equivalente, Ap (m^2) é a área da poça e p (m) é o perímetro da poça.

Considerando que cenário do acidente se desenvolve em ambiente aberto, a velocidade do vento (uw) atua sobre a chama e altera o seu comprimento (H). Assim, para atender a essa condição do cenário acidental em que existe a presença de vento, foram utilizadas as equações 3 e 4, descritas em Mudan (1984).

$$u^* = \frac{uw}{\left(\frac{gm''D}{\rho v}\right)^{1/3}} \quad (3)$$

Onde: u^* é a velocidade adimensional dos ventos, uw (m s^{-1}) é velocidade do vento, g (m s^{-2}) é a aceleração da gravidade, m'' ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$) é a taxa de queima do combustível, D (m) é o diâmetro da poça e ρv (kg m^{-3}) é a densidade de vapor do líquido.

$$\frac{H}{D} = 55 \cdot \left(\frac{m''}{\rho \alpha \sqrt{gD}}\right)^{0,67} u^{*-0,21} \quad (4)$$

Onde: H (m) é comprimento da chama, m'' ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$) é a taxa de queima do combustível, $\rho \alpha$ (kg m^{-3}) é a densidade do ar ambiente, g (m s^{-2}) é a aceleração da gravidade, D (m) é o diâmetro da poça e u^* é velocidade adimensional dos ventos.

Para uso da equação 3, a velocidade do vento (uw) foi definida em 0.9 m s^{-1} , pois resulta em uma velocidade adimensional dos ventos (u^*) menor do que 1, condição esta que, conforme descrito por Mudan (1984), permite que a posição da chama seja assumida como vertical. Esta opção facilita a utilização do modelo Mudan, pois simplifica a metodologia de cálculo para obtenção do fator de vista (F_w). As taxas de queima (m'') da gasolina e do diesel foram obtidas em U.S. Nuclear Regulatory Commission (2004); a densidade do ar ambiente ($\rho \alpha$) foi admitida como sendo a Atmosfera Padrão Internacional, conforme definida pela Agência Nacional de Aviação Civil (2020). A densidade de vapor (ρv) da gasolina foi obtida através de Petrobras (2020), sendo 3 a 4 vezes a densidade do ar, portanto, foi considerada como 3,5 vezes a densidade do ar ambiente. A densidade de vapor do diesel (ρv) foi obtida através de Teves (2003).

2.3 Determinação da potência emissiva média na superfície da chama (E_{av})

Considerando que durante um incêndio em poça apenas parte da energia térmica gerada na combustão é transmitida ao corpo receptor por irradiação, a fração de calor irradiado pela chama (η) depende da geometria da chama (Mudan, 1984). Considerando que poucos trabalhos têm sido desenvolvidos para determinar experimentalmente a fração de calor irradiado, dois modelos foram utilizados para determinação deste parâmetro, sendo eles o modelo proposto por McGrattan, Baum e Hamins (2000) e o modelo proposto por Muñoz et al. (2007), descritos respectivamente através das equações 5 e 6.

Assim, o valor da fração de calor irradiado (η) utilizado nesta pesquisa corresponde à média dos resultados obtidos através destas equações. Na sequência, a equação 7 foi utilizada para determinação da potência emissiva média na superfície da chama (E_{av}).

$$\eta = 0,35 \cdot e^{-0,05D} \quad (5)$$

Onde: η (adimensional) é a fração de calor irradiado pela chama. D (m) é o diâmetro da poça.

$$\eta = 0,436 \cdot D^{-0,58}, \forall D > 5m \quad (6)$$

Onde: η (adimensional) é a fração de calor irradiado pela chama, D (m) é o diâmetro da poça.

$$E_{av} = \frac{\eta \cdot m'' \cdot \Delta H_c}{(1 + 4H/D)} \quad (7)$$

Onde: η (adimensional) é a fração de calor irradiado pela chama, m'' ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$) é a taxa de queima, ΔH_c (kJ kg^{-1}) é o calor de combustão, H (m) é o comprimento da chama e D (m) é o diâmetro da poça.

2.4 Determinação do fator de vista e da transmissividade atmosférica

O fator de vista (F_w) corresponde a razão entre o fluxo térmico recebido por um objeto e o emitido pela fonte; bem como, é dependente das dimensões da chama e da posição do receptor em relação à fonte térmica (Labovská & Labovský, 2016). Assim, para cada ponto localizado a uma certa distância (X) da poça, o fator de vista foi obtido através da equação (8). Para uso da equação 8, os parâmetros de entrada descritos através das equações 9, 10, 11 e 12 foram estimados, conforme procedimento descrito por Mudan (1984).

$$F_w = \sqrt{F_h^2 + F_v^2} \quad (8)$$

Onde: F_w (adimensional) é o fator de vista, F_h (adimensional) é o fator de vista horizontal e F_v (adimensional) é o fator de vista vertical.

$$A = \frac{Hr + Xr + 1}{2Xr} \quad (9)$$

Onde: A (adimensional) é parâmetro das equações 11 e 12, Hr (adimensional) é a razão entre o comprimento da chama e o raio da poça (H/R), Xr (adimensional) é a relação entre a distância do alvo e o raio da poça (X/R).

$$B = \frac{1 + Xr^2}{2Xr} \quad (10)$$

Onde: B (adimensional) é parâmetro das equações 11 e 12, Xr (adimensional) é a razão entre a distância do alvo e o raio da poça (X/R).

$$F_h = \frac{1}{\pi} \left[\frac{B - 1/Xr}{\sqrt{B^2 - 1}} \right] \arctan \frac{\sqrt{(B+1)(Xr-1)}}{\sqrt{(B-1)(Xr+1)}} - \frac{A - 1/Xr}{\sqrt{A^2 - 1}} - \arctan \frac{\sqrt{(A+1)(Xr-1)}}{\sqrt{(A-1)(Xr+1)}} \quad (11)$$

Onde: F_h (adimensional) é o fator de vista horizontal, Xr (adimensional) é a razão entre a distância do alvo e o raio da poça (X/R). A e B (adimensionais) são parâmetros de entrada dos modelos.

$$F_v = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{Xr} \arctan \frac{Hr}{\sqrt{Xr^2 - 1}} + \left(\arctan \frac{Xr - 1}{\sqrt{Xr + 1}} - \frac{A}{\sqrt{A^2 - 1}} \arctan \frac{\sqrt{(B+1)(Xr-1)}}{\sqrt{(B-1)(Xr+1)}} \right) \right] \quad (12)$$

Onde: F_v (adimensional) é o fator de vista vertical, Xr (adimensional) é a razão entre a distância do alvo e o raio da poça (X/R), Hr (adimensional) é a razão entre o comprimento da chama e o raio da poça (H/R), A e B (adimensionais) são parâmetros de entrada dos modelos.

A transmissividade atmosférica (τ_a), que indica quanto da energia emitida pela fonte de calor chega ao corpo receptor após parte desta energia ter sido absorvida principalmente pelo vapor de água e pelo gás carbônico presente na atmosfera (Labovská & Labovský, 2016), foi obtida através da iteração das equações 13 e 14 descritas em *National Fire Protection Association* (2002). Para isso, a umidade relativa do ar (U) foi obtida através de dados meteorológicos da estação mais próxima (Instituto Nacional de Meteorologia, 2020) e a pressão de vapor saturado (P_{vs}) foi obtida de Bóçon (2018).

$$P_w = U \cdot P_{vs} \quad (13)$$

Onde: P_w (Pa) é a pressão parcial de vapor da água, U (%) é a umidade relativa do ar (%) e P_{vs} (Pa) é pressão de vapor de água saturado.

$$\tau_a = 2,02(P_w \cdot X)^{-0,09} \quad (14)$$

Onde: τ_a (adimensional) é a transmissividade atmosférica, P_w (Pa) é a pressão parcial de vapor da água e X (m) é a distância entre a borda da poça e o corpo receptor.

2.5 Organização dos dados de entrada do modelo e registro das saídas

Os dados de entrada para estimativa dos fluxos térmicos através do modelo Mudan foram organizados na tabela 1. As estimativas de fluxo térmico foram realizadas de 1 m em 1 m a partir da borda da poça, até a distância de 10 m. Em seguida, foi verificada a distância (X) em que o fluxo térmico corresponde a 12,5 kW m⁻² para a gasolina e diesel. Para análise da abrangência do fluxo térmico sobre o terreno, imagens aéreas do empreendimento e do entorno, obtidas através do Google Earth® (2020), foram tomadas como base cartográfica para traçar as linhas de isofluxo. Por se tratar de procedimento cartográfico relativamente simples, todas as operações foram realizadas com recursos da própria planilha de cálculo. Estas operações consistiram basicamente em desenhar o contorno da área de descarregamento do caminhão-tanque, que coincide com o diâmetro da poça e, a partir desta, através de técnicas cartográficas, determinar a escala gráfica da imagem. Posteriormente, as linhas de isofluxo foram traçadas em torno da área da poça.

Tabela 1 – Parâmetros para estimativa dos fluxos térmicos (q'') emitidos pela queima de gasolina e diesel

| Parâmetro | Símbolo | Unidade | Gasolina | Diesel |
|--------------------------------------|--------------|------------------------------------|----------|--------|
| Velocidade do vento | uw | m s ⁻¹ | 0,9 | 0,9 |
| Densidade do ar ambiente | ρ_a | kg m ⁻³ | 1,225 | 1,225 |
| Umidade relativa | U | % | 82,6 | 82,6 |
| Pressão de vapor da H ₂ O | P_{vs} | Pa | 3169 | 3169 |
| Área da poça | A | m ² | 30,0 | 30,0 |
| Diâmetro da poça | D | m | 5,45 | 5,45 |
| Comprimento da chama | H | m | 9,8 | 7,0 |
| Taxa de queima | m'' | kg m ⁻² s ⁻¹ | 0,055 | 0,044 |
| Calor liberado na combustão | ΔH_c | kJ kg ⁻¹ | 43700 | 38600 |
| Densidade de vapor | ρ_v | — | 4,288 | 56,35 |
| Fração de calor irradiado | η | — | 0,21 | 0,21 |

Fonte: Dados de pesquisa organizados pelo autor.

2.6 Identificação da direção do vento predominante e delimitação de sua provável região de atuação

Para identificar a direção do vento predominante na circunvizinhança do empreendimento descrito nesta pesquisa, foram utilizados dados da estação meteorológica mais próxima (Instituto Nacional de Meteorologia, 2020), tendo sido analisados os registros de 1 ano – 01 de outubro de 2019 a 30 de setembro de 2020. Este período de análise temporal – anual – foi considerado adequado, uma vez que os relatórios dos estudos de qualidade do ar realizados na Grande Vitória, elaborados pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (2020), onde, dentre outras, são analisadas condições ambientais que interferem nos processos de dispersão de poluentes, também são realizados com periodicidade anual.

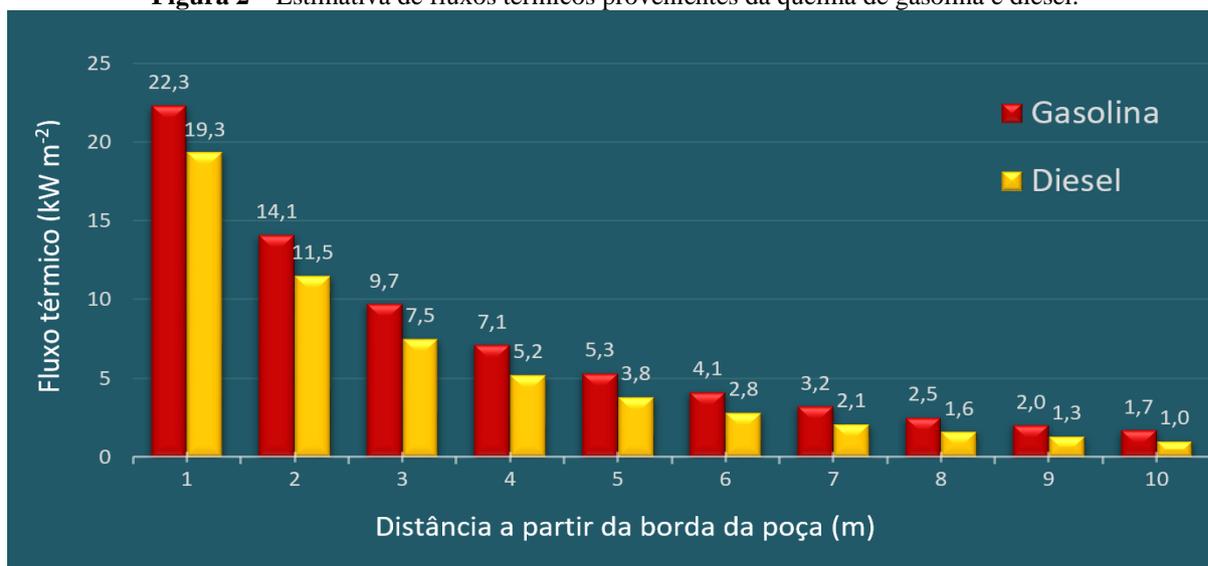
Assim, os dados obtidos através do Instituto Nacional de Meteorologia (2020) foram tratados e organizados. Posteriormente, através do software WRPLOT View®, foi obtida uma representação gráfica do tipo “rosa dos ventos” que possibilitou identificar a direção do vento predominante, dentre outras características dos ventos na região analisada. Uma imagem aérea contendo o empreendimento analisado e seu entorno, obtida através do Google Earth® (2020), foi utilizada para delimitar a região angular com maior probabilidade de ser impactada pela atuação da pluma de poluentes, bem como para analisar as características físico-naturais e de ocupação/urbanização da área em estudo.

3. Resultados e Discussão

3.1 Estimativa dos fluxos térmicos provenientes de um incêndio em poça

Uma vez adotado todos os procedimentos metodológicos para utilização do modelo Mudan, verificou-se que a potência emissiva média na superfície da chama (E_{av}) proveniente da queima da gasolina e diesel foram, respectivamente, $62,8 \text{ kW m}^{-2}$ e $59,7 \text{ kW m}^{-2}$. Também foi verificado que os fluxos térmicos emitidos (q'') tornam-se menores à medida que aumenta a distância (X) em relação à borda da poça, refletindo a atuação conjunta do fator de vista (F_w) e da transmissividade atmosférica (τ_a) que atenuam a magnitude destes fluxos. As estimativas dos fluxos térmicos para alvos localizados a diferentes distâncias da borda da poça podem ser verificadas através da figura 2.

Figura 2 – Estimativa de fluxos térmicos provenientes da queima de gasolina e diesel.

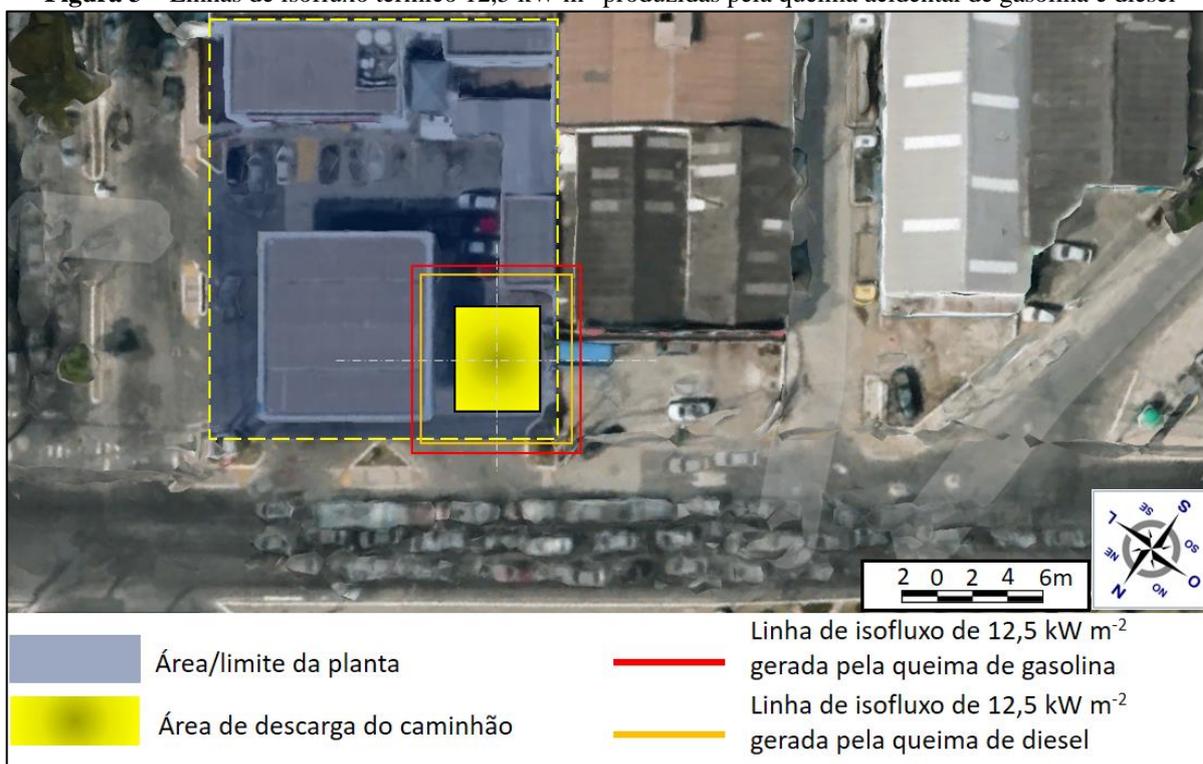


Fonte: resultados da pesquisa.

Assim, através da figura 2, é possível verificar que a queima da gasolina emite fluxos térmicos superiores àqueles emitidos pela queima do diesel para todas as distâncias analisadas. A 1 m da poça os fluxos térmicos emitidos pela gasolina são 16% superiores aos emitidos pela queima do diesel; a 10 m esta superioridade é de 70%, embora nesta distância (10 m) essa superioridade seja inferior a 1 kW m^{-2} . A 2 m da poça, os fluxos emitidos pela gasolina são superiores a $12,5 \text{ kW m}^{-2}$, mas os fluxos produzidos pela queima do diesel já são inferiores a este valor; a 3 m, os fluxos emitidos pela gasolina também se tornam inferiores a $12,5 \text{ kW m}^{-2}$.

As estimativas realizadas através do modelo Mudan mostram que os fluxos provenientes da queima da gasolina e do diesel correspondem a $12,5 \text{ kW m}^{-2}$, respectivamente, a 2,3 m e 1,8 m da borda da poça, assim, para distâncias superiores a estas, os fluxos térmicos emitidos pela queima dos dois combustíveis tornam-se inferiores a $12,5 \text{ kW m}^{-2}$. A representação bidimensional destas linhas de isofluxo térmico de $12,5 \text{ kW m}^{-2}$ sobre a imagem aérea do empreendimento em análise – figura 3, possibilitou verificar que ambas ultrapassam os limites do estabelecimento e avançam sobre a vizinhança. Assim, também se verifica que, nas condições analisadas, devido à pequena diferença de distância entre as duas linhas de isofluxo (0,5 m), a queima accidental de qualquer um dos combustíveis analisados pode produzir efeitos térmicos negativos muito similares.

Figura 3 – Linhas de isofluxo térmico $12,5 \text{ kW m}^{-2}$ produzidas pela queima accidental de gasolina e diesel



Fonte: Google Earth © (2020) adaptada com os resultados da pesquisa.

Embora a figura 3 demonstre que um incêndio em poça tenha o potencial para manifestar seus efeitos sobre a vizinhança, o resultado apresentado, expresso pela distribuição espacial das linhas de fluxo, precisa ser analisado com certa cautela para que não haja equívocos quanto a sua interpretação. Nesse sentido, torna-se oportuno e necessário fazer distinção entre perigo e risco, visto que

perigo é o potencial de um produto, processo ou situação causar danos à saúde ou integridade física, ou mesmo causar prejuízos materiais. Risco é a possibilidade ou probabilidade de o dano acontecer por causa da exposição ao perigo (Escola Nacional de Inspeção do Trabalho, 2019, p. 2).

Assim, é importante compreender que os perigos são inerentes à diversas atividades, operações, ou outras circunstâncias (Escola Nacional de Inspeção do Trabalho, 2019); todavia, a real probabilidade de um perigo se manifestar e proporcionar efeitos catastróficos/indesejáveis depende de uma série de outros fatores. No documento produzido por Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2011) intitulado: Orientação para a elaboração de um Estudo de Análise de Risco para empreendimentos pontuais, verifica-se que a estimativa do efeito térmico, tal como as estimativas realizadas neste trabalho para a queima de gasolina e diesel, é parte integrante de um conjunto de estudos de igual ou maior complexidade, tais como, avaliações de vulnerabilidade, estimativas de frequência, estimativa e avaliação do risco, etc.

Todos estes estudos são necessários para que, somente após a conclusão destes, seja possível definir se o risco existente é ou não tolerável. Ainda segundo Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2011), caso o risco seja classificado como intolerável, deve-se avaliar se existem medidas capazes de promover a sua redução, pois, a partir do estabelecimento dessas medidas, torna-se possível retomar as etapas anteriormente listadas e, quem sabe, classificá-lo como tolerável.

Ainda que seja classificado como tolerável, é oportuno destacar a importância do Plano de Gerenciamento de Riscos que, segundo Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2011, p. 7), trata-se de um “documento que define a política e diretrizes de um sistema de gestão, com vista à prevenção de acidentes em instalações ou atividades potencialmente perigosas”. Assim, reitera-se que, na pesquisa aqui desenvolvida, não há elementos suficientes para realizar julgamento quanto à tolerabilidade do risco gerado por um possível incêndio em poça.

3.2 A contribuição dos estudos de fluxos térmicos para prevenção da poluição atmosférica na circunvizinhança de plantas com armazenamento de combustíveis líquidos

Dentre as possíveis contribuições dos estudos de fluxos térmicos para prevenção da poluição atmosférica na circunvizinhança de plantas com armazenamento de combustíveis líquidos, tais como, postos revendedores de combustíveis, duas merecem destaque: a primeira refere-se à possibilidade de prever as possíveis alterações térmicas na atmosfera, seus efeitos sobre materiais e pessoas, o que permite traçar algumas estratégias para proteção da vizinhança; a segunda, trata-se da possibilidade de evitar a queima acidental de combustíveis e a consequente liberação de gases para a atmosfera.

Segundo Braga et al. (2005), a poluição do ar não ocorre somente mediante a introdução de substâncias químicas na atmosfera em concentrações que extrapolam os limites considerados adequados para a saúde humana, animal ou vegetal, mas também, dentre outras possibilidades, quando ocorre a introdução de energia térmica com capacidade para produzir danos. Assim,

o calor é uma forma de poluição atmosférica por energia que ocorre principalmente por causa da emissão de gases a alta temperatura para o meio ambiente, gases esses que são liberados, em sua maioria, nos processos de combustão (Braga et al., 2005, p. 172).

A alteração térmica da atmosfera decorrente dos fluxos térmicos emitidos pela queima acidental de combustíveis pode provocar severos danos sobre a vizinhança, impactando diretamente nas condições de segurança, saúde e bem-estar das pessoas; bem como, pode ainda produzir prejuízos às atividades econômicas desenvolvidas no empreendimento e na sua vizinhança. Assim, nesta pesquisa, uma atenção especial foi dada ao estudo dos fluxos de $12,5 \text{ kW m}^{-2}$, pois fluxos dessa magnitude, ou superiores, apresentarem considerável potencial para produzirem impactos sobre pessoas e materiais.

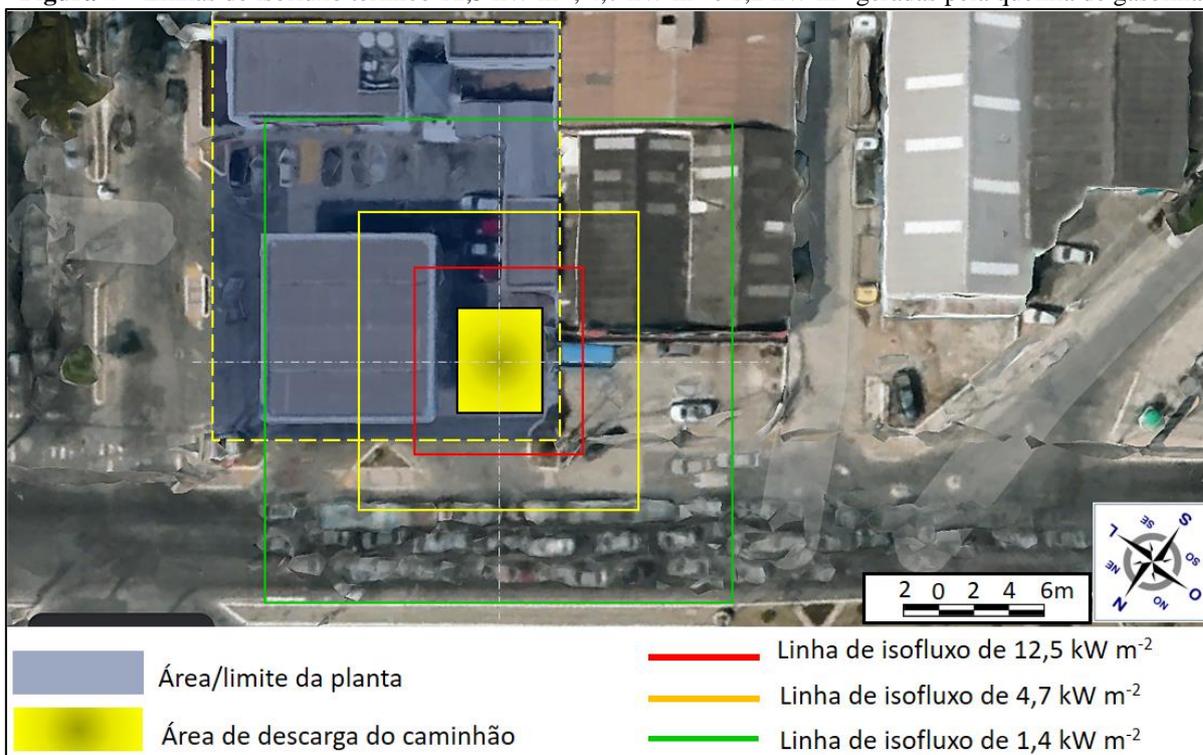
Sobre estruturas, fluxos desta magnitude possuem energia suficiente para produzir fusão de materiais plásticos (National Fire Protection Association, 2002) e, conseqüentemente, contribuir para a propagação do incêndio na vizinhança. Tal propagação implica no surgimento de novos fluxos térmicos, intensificando os efeitos térmicos sobre a atmosfera e, ao mesmo tempo, promovendo um aumento na emissão de gases. Sobre

peças, fluxos de $12,5 \text{ kW m}^{-2}$ são considerados perigosos, pois podem produzir queimaduras de primeiro grau após 10 s de exposição (National Fire Protection Association, 2002).

Todavia, fluxos com intensidades menores que $12,5 \text{ kW m}^{-2}$ também são capazes de gerar poluição térmica com potencial para produzirem danos sobre a saúde humana. Zárate, Arnaldos e Casal (2008), por exemplo, apontam que fluxos de $4,7 \text{ kW m}^{-2}$ são capazes de produzir sensação de dor para uma exposição de 15 s a 20 s; fluxos de $2,1 \text{ kW m}^{-2}$ também podem produzir dor após 60 s de exposição; fluxos de $1,4 \text{ kW m}^{-2}$ são inofensivos para pessoas sem qualquer proteção. Assim, considerando a poluição térmica sobre a vizinhança como um impacto negativo sobre a área de influência do empreendimento, verifica-se que a definição da intensidade dos fluxos a serem estudados deve ir ao encontro dos objetivos delineados em cada trabalho.

Nesse sentido, Alvarenga e Almeida (2014, p. 206) esclarecem que “*não existe um critério único para definição da área de influência do empreendimento*”, ou seja, a área de influência direta – onde ocorre os impactos diretos do evento analisado – pode adquirir diferentes contornos (Alvarenga & Almeida, 2014). Assim, por exemplo, considerando a queima de gasolina, além da linha de isofluxo de $12,5 \text{ kW m}^{-2}$ localizada a 2,8 m da borda da poça, outras linhas podem ser traçadas, tais como de $4,7 \text{ kW m}^{-2}$ e $1,4 \text{ kW m}^{-2}$, localizadas a 5,5 m e 10,8 m da borda da poça, respectivamente – figura 4.

Figura 4 – Linhas de isofluxo térmico $12,5 \text{ kW m}^{-2}$, $4,7 \text{ kW m}^{-2}$ e $1,2 \text{ kW m}^{-2}$ geradas pela queima de gasolina



Fonte: Google Earth ® (2020) adaptada com os resultados da pesquisa.

Embora, num primeiro momento, possa haver certa tendência a considerar a linha verde – $1,4 \text{ kW m}^{-2}$ – como um limite de segurança, é preciso ter cautela, haja vista que a localização desta linha, assim como das outras, reflete os parâmetros utilizados em uma determinada situação de análise. Por exemplo, alterações na velocidade de vento, colocarão estas linhas numa posição um pouco diferente daquelas apresentadas na figura 4. Diante dessa mobilidade, as linhas de isofluxo devem ser encaradas apenas como indicadores do

comportamento esperado para a atmosfera local, mas isso não deve ser visto como um problema, pois é esse movimento que permite compreender o comportamento térmico da atmosfera em diferentes situações.

Quanto à poluição atmosférica decorrente da queima descontrolada de combustíveis, além da alteração térmica, existe a alteração química, que também pode ocasionar sérios danos sobre a saúde das pessoas imersas nessa atmosfera. Nesse sentido, Guimarães (2016, p. 11) alerta para o fato de que, “qualquer variação significativa na composição atmosférica, pode ser perigosa”; segundo Derisio (2012, p. 114), “os efeitos da poluição do ar sobre a saúde podem provocar doença aguda ou morte”. Durante a queima, embora diversos gases sejam produzidos, as emissões de carbono são predominantes, principalmente na forma de dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO) e carbono elementar (C) que correspondem, respectivamente, a aproximadamente 92%, 3% e 5% dos gases emitidos (Environment Agency, 2009). Quanto ao monóxido de carbono, este é um dos mais perigosos pois,

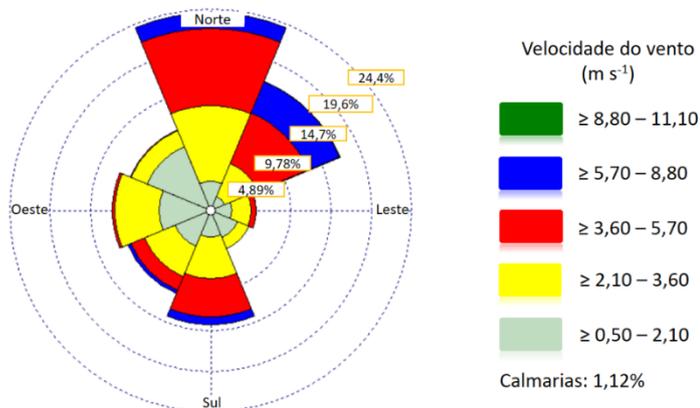
os efeitos tóxicos do monóxido de carbono são os da hipóxia anêmica [...] sendo caracterizada por uma capacidade reduzida de transporte de oxigênio do sangue, mesmo quando a pressão arterial parcial de O₂ e a taxa de fluxo sanguíneo são normais. Isso é devido à competição entre O₂ e CO [...] com a afinidade da hemoglobina pelo CO sendo cerca de 250 vezes maior do que pelo O₂. (Gann & Bryner, 2008, p. 4).

Infelizmente, o que se verifica é que os gases liberados a partir da queima de combustíveis podem produzir efeitos asfíxiantes, tóxicos narcóticos, irritantes sensoriais, etc.; e, nesse aspecto, pessoas com agravos respiratórios já instaurados podem ser as mais afetadas (Gann & Bryner, 2008). Todos esses efeitos estão associados à fumaça, pois ela pode afetar a saúde e a segurança das pessoas de diversas formas, tais como:

- a) tira a visibilidade das rotas de fuga. b) tira a visibilidade por provocar lacrimejamento, tosses e sufocação. c) aumenta a palpitação devido à presença de gás carbônico. e) provoca o pânico por ocupar grande volume do ambiente. f) provoca o pânico devido ao lacrimejamento, tosses e sufocação. g) debilita a movimentação das pessoas pelo efeito tóxico de seus componentes. h) tem grande mobilidade podendo atingir ambientes distantes em poucos minutos (Seito, 2008, p. 48).

Diante dos efeitos adversos produzidos pelos gases originados na queima de combustíveis, a análise sobre o possível comportamento dos poluentes no entorno do foco de um incêndio torna-se relevante. Quando ocorre a poluição da atmosfera por gases e materiais particulados provenientes dos incêndios, a maior ou menor facilidade de ocorrer uma dispersão destes poluentes irá depender de uma série de fatores, tais como do comportamento dos ventos (Guimarães, 2016). Para os bairros que compõem a circunvizinhança do posto de combustível analisado, os dados da estação meteorológica mais próxima (Instituto Nacional de Meteorologia, 2020) indicam que quase 25% dos ventos são de norte (N), conforme pode ser verificado na figura 5.

Figura 5 – Direção e intensidade dos ventos



Assim, na área em estudo, o vento predominante – vento norte – pode se manifestar em diversas subdireções entre N_0 e N_n , tais como N_1 , N_2 e N_3 , formando uma região na qual seja mais provável identificar o deslocamento da pluma de poluentes. Todavia, é importante ter certo cuidado ao analisar a figura 6, visto que, por exemplo, caso um vento de direção N_2 – figura 6 – apresente condições favoráveis para deslocar contaminantes do ponto F até o ponto A, isso não significa que estes contaminantes necessariamente sejam deslocados até o ponto B, ou até qualquer outro ponto localizado na direção N_2 .

Essa incerteza quanto à real trajetória dos poluentes se deve à existência de outros fatores que atuam na formação e no comportamento da pluma gasosa em dispersão (Guimarães, 2016), ou seja, de modo mais objetivo, isso ocorre porque, segundo Braga et al. (2008), o comportamento de uma pluma de poluentes não depende somente da direção do vento.

Figura 6 – Região de incidência de vento Norte



Fonte: Google Earth © (2020) adaptada com os resultados da pesquisa.

Considerando que vários fatores atuam sobre a dispersão de poluentes, é importante destacar a atuação do relevo. A região em estudo, localizada no entorno do empreendimento, corresponde a um trecho de planície litorânea onde aparecem alguns maciços rochosos de pequena elevação – figura 6. Segundo o Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (2007), tais características físico-naturais, predominantes na Região Metropolitana da Grande Vitória, facilitam a circulação do ar e, conseqüentemente, a dispersão dos poluentes.

Os registros da estação meteorológica mais próxima (Instituto Nacional de Meteorologia, 2020), por exemplo, mostram que os ventos apresentam uma velocidade média de $2,9 \text{ m s}^{-1}$ e que 5,8 % dos ventos apresentam velocidade de $6,0 \text{ m s}^{-1}$ a $9,7 \text{ m s}^{-1}$. Assim, o comportamento esperado é que uma pluma de poluentes que atue na região tenha relativa facilidade para se dispersar, salvo durante a ocorrência de inversões térmicas, pois estas dificultam a dispersão (Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2020).

Na região em análise, em especial na faixa de incidência do vento norte, indicada na figura 6, a rugosidade do terreno é gerada quase em sua totalidade por imóveis residenciais e comerciais de até três pavimentos. Esse padrão construtivo é mantido até próximo do mar, onde os terrenos são ocupados por prédios, em sua maioria residenciais.

Diante desse cenário de ocupação, embora as condições físicas e meteorológicas apontem para uma

relativa facilidade quanto à dispersão de gases emitidos a partir do cenário acidental analisado, a figura 6 permite verificar que a circunvizinhança é densamente urbanizada, refletindo a própria condição do município de Vila Velha (ES) que, segundo o Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (2020), é o mais populoso da Região Metropolitana da Grande Vitória, ocupando a segunda posição no que se refere à densidade demográfica – 1.973,59 hab. km⁻² – ficando atrás apenas da capital Vitória, que apresenta 3.338,30 hab. km⁻².

Assim, o deslocamento de poluentes, ainda que por uma curta distância, poderá incidir sobre grande número de pessoas. Nesse sentido, para a região em estudo e para além desta, a prevenção da poluição atmosférica de origem térmica e química torna-se muito relevante e os estudos sobre fluxos térmicos destacam-se como importantes ferramentas.

3.3 Outras contribuições dos estudos de fluxos térmicos

As contribuições dos estudos de fluxos térmicos podem ser apontadas logo na fase de projeto, pois no momento de definição do layout para implantação dos equipamentos de processo, por exemplo, caso haja a identificação de linhas de fluxo ultrapassando os limites do empreendimento, o projetista talvez poderá ter a opção de afastar a bacia de contenção dos limites do empreendimento. Além disso, a identificação das linhas de fluxo térmico poderá permitir que equipamentos críticos/essenciais sejam mantidos adequadamente afastados da área de risco de incêndio, ou ainda, poderá subsidiar outros estudos de engenharia com vistas a projetar estruturas capazes de elevar o nível de proteção dos trabalhadores, dos equipamentos críticos e da vizinhança. Segundo Mitidieri (2008, p. 84) “*a integridade dos elementos e estruturas [...] depende da resistência ao fogo dos elementos que compõem o edifício e da sua própria estrutura*”; Marcatti, Berquó Filho e Coelho Filho (2008) colocam que a distância mínima de segurança entre edificações obedece a estudos nos quais materiais podem inflamar-se quando submetidos a uma energia térmica de 12,5 kW m⁻².

A preparação para o atendimento à emergência, seja ela ambiental ou ocupacional, é outro aspecto que se fortalece quando se dispõe de estudos de fluxos térmicos provenientes dos incêndios. A representação gráfica do posicionamento das linhas de isofluxo, tal como obtidas nesta pesquisa, permite definir com mais clareza as estratégias de combate ao incêndio, reconhecer os níveis de proteção requeridos dos equipamentos de proteção individual, a localização dos equipamentos de extinção do fogo e a definição de rotas seguras para o abandono da área afetada, bem como a definição de locais seguros para onde as pessoas não envolvidas no controle da emergência possam ser direcionadas. Ou seja, contribuem para a definição do conjunto de estratégias a serem traçadas no Plano de Atendimento a Emergência da planta, visto que

é a partir do reconhecimento dos cenários emergenciais de cada planta que ocorrerá a definição de toda a estratégia de ação, que se refere, dentre outros aspectos, aos procedimentos de atuação, aos materiais de contenção e às habilidades da equipe. Assim, para uma atuação assertiva, faz-se necessário que todas as ações caminhem em consonância com o plano de emergência (D’Ávila & Campos, 2020, p.153).

Nesse sentido, Ruzzarin (2011, p.55), referindo-se aos resultados dos estudos sobre efeitos térmicos dos incêndios e sua direta relação com as ações de preparação para atendimento a emergência nas plantas, coloca que “*a análise quantitativa deveria ser encarada como uma etapa fundamental para garantir uma verdadeira semelhança entre os cenários levantados durante o estudo inicial e os reais efeitos esperados destes incêndios*”. Assim, Segundo Mora-Carmino et al. (2018) o efetivo conhecimento dos cenários que possibilita traçar ações eficazes para redução de fatalidades em áreas vulneráveis.

Diante do exposto, torna-se evidente a importância dos estudos de fluxos térmicos para diversas situações de riscos e perigos que possam ser originados em plantas com armazenamento de combustíveis líquidos, contudo, é preciso considerar que os resultados obtidos através de modelos matemáticos precisam ser vistos com cuidado, haja vista que, segundo Braga et al. (2005), existem limitações, em especial no que se refere ao emprego de relações muitas vezes simplificadas diante da complexidade dos fenômenos.

4. Conclusão

Os estudos de fluxos térmicos provenientes de um cenário de incêndio decorrente do vazamento de gasolina e diesel mostraram que, nas condições analisadas, fluxos térmicos de $12,5 \text{ kW m}^{-2}$ ultrapassariam os limites do empreendimento. Todavia, isso não significa que a vizinhança esteja submetida a risco intolerável, visto que, para realizar tal afirmativa outros estudos precisam ser realizados. Respeitadas as limitações quanto à utilização de modelos matemáticos, a pesquisa demonstrou que os estudos de fluxos térmicos são importantes ferramentas para prevenção da poluição atmosférica, pois contribuem para a prevenção de incêndios e, conseqüentemente, contribuem para evitar possíveis alterações na atmosfera, de origem térmica ou química, capazes de ameaçar a saúde e a segurança da população circunvizinha.

5. Referências

- Agência Nacional de Aviação Civil. (2020). **International Standard Atmosphere**. Disponível em: <<https://www2.anac.gov.br/anacpedia/sig/tr1105.htm>>. Acesso em 30/08/2020.
- Alvarenga, M.I.N. & Almeida, M.R.R. (2014). Avaliação de impactos ambientais. Sustentabilidade e engenharia In: Horta Nogueira, L. A. & Capaz, R. S. **Ciências ambientais para engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier.193-220.
- Barboza, D.V., Teixeira, M. A. & Lima, G.B.A. (2017). Análise de riscos de um posto de combustível em Itaipuaçu utilizando a técnica HazOp. **Revista Gestão Industrial**, v. 13(2), 126-145.
- Boçón, F. T. (2018). **Propriedades da água saturada (líquido e vapor), entrada de temperaturas**. Disponível em: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TMEC037/Prof_Bocon/Tabelas_Vapor/Saturacao_temperatura.pdf>. Acesso em: 12/03/2020.
- Braga, B., Hespanhol, I., Conejo, J.G.L., Mierzwa, J.C.,Barros, M.T.L., Spencer, M., Porto, M., Nucci, N., Juliano, N. & Eiger, S. (2005). **Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**. (2a ed.). São Paulo: Pearson.
- Brasil. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências**. Diário Oficial da União, 02 de set. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/16938.htm>. Acessado em fevereiro/2020. 1981.
- Center for Chemical Process Safety. (2003). **Guidelines for Fire Protection in Chemical, Petrochemical, and Hydrocarbon Processing Facilities**. New York, New York, United States.
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2011). **Risco de Acidente de Origem Tecnológica – Método para decisão e termos de referência**. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2013/11/P4.261-Risco-de-Acidente-de-Origem-Tecnol%C3%B3gica-M%C3%A9todo-para-decis%C3%A3o-e-termos-de-refer%C3%Aancia.pdf>>. Acesso em 10/01/2020.
- Conselho Nacional do Meio Ambiente (Brasil). **Resolução Nº 001 de 17/02/1986, que estabelece as definições, responsabilidades, critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da**

Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. Brasília, 1986. Disponível em: <<https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0001-230186.PDF>>. Acessado em: janeiro/2020. 1986.

D'Ávila, W.P.S. & Campos, T.A.O. (2020). Sistemas integrados de gestão ambiental, segurança e saúde ocupacional: uma diretriz para implantação das brigadas de incêndio em plantas industriais. **Revista Gestão Industrial**, 16(1), 145-163.

Derisio, J.C. (2012). **Introdução ao controle de poluição ambiental.** (4a ed.). São Paulo. Oficina de Textos.

Duarte, D., Silva, J. J. R., Pires, T. A.C., Oliveira, M. M. (2008). Gerenciamento dos riscos de incêndio. In: Seito, A. I. et al. (Coord.). **A Segurança Contra Incêndio no Brasil.** São Paulo: Projeto Editora. 379-409.

Escola Nacional de Inspeção do Trabalho. (2019). **Campanha Nacional de Prevenção de Acidentes de Trabalho – CANPAT.** Disponível em: <https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_Canpat/SST_Canpat_2019/folder-canpat-2019.pdf>. Acesso em 15/10/2020.

Gann, R.G. & N.P. Bryner. (2008). **Combustion Products and Their Effects on Life Safety.** Disponível em: <https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=900093>. Acesso em 19/01/2021.

Guimarães, C.S. (2016). **Controle e monitoramento de poluentes atmosféricos.** (1a ed.). Rio de Janeiro: Elsevier.

Google Earth®. (2020). **Imagem aérea de um empreendimento.** Disponível em: <<https://earth.google.com/web/@0,0,0a,22251752.77375655d,35y,0h,0t,0r>>. Acesso em 15/12/2020.

Horta Nogueira, L. A. & Capaz, R. S. (2014). Sustentabilidade e engenharia In: _____. **Ciências ambientais para engenharia.** Rio de Janeiro: Elsevier. 1-13.

Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. (2008). **Relatório da qualidade do ar na Região da Grande Vitória 2007.** Disponível em: <https://iema.es.gov.br/Media/iema/CQAI/Relatorios_anuais/Relat%C3%B3rio_Anuar_de_Qualidade_do_Ar_2007.pdf>. Acesso em 19/01/2021.

Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. (2020). **Relatório da qualidade do ar na Grande Vitória 2007.** Disponível em: <https://iema.es.gov.br/Media/iema/CQAI/Relatorios_anuais/IEMA_CQAI_Relat%C3%B3rio_Anuar_da_Qualidade_do_Ar_2019.pdf>. Acesso em 19/01/2021.

Instituto Nacional de Meteorologia. (2020). **Série histórica da estação meteorológica de Vila Velha (ES) no período de 01/10/2019 a 30/09/2020.** Disponível em: <<https://tempo.inmet.gov.br/GraficosDiarios/A634>>. Acesso em 10/10/2020.

Labovská, Z. & Labovský, J. (2016). Estimation of thermal effects on receptor from pool fires. **Acta Chimica Slovaca.** 9(2), 169-179.

Marcatti, J., Berquó Filho, J. E. & Coelho Filho H. S. (2008). Compartimentação e afastamento entre edificações. In: Seito, A.I. et al. (Coord.). **A Segurança Contra Incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora. 169-179.

McGrattan, K.B., Baum, H.R. & Hamins A. (2000). **Thermal Radiation from Large Pool Fires**. Disponível em: <<https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/IR/nistir6546.pdf>>. Acesso em 15/08/2020.

ZHANG, M., SONG, W., WANG, J. & CHEN, Z. (2014). Accident consequence simulation analysis of pool fire in fire dike. **Procedia Engineering**, 84, 565-577.

Mitidieri, M.L. (2008). O comportamento dos materiais e componentes construtivos diante do fogo - reação ao fogo. In: Seito, A.I. et al. (Coord.). **A Segurança Contra Incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora. 55-75.

Mora-Carmino, F., Chaves, L.A.O., Correia, M.F.Z. & Cruz, L.G.Z. (2018). Análise de risco na inserção do planejamento urbano para instalação de empreendimentos de risco: aplicação no terminal de combustíveis. **Brazilian Journal of Development**, 4(5), 2551-2577.

Mudan, K.S. Thermal radiation hazards from hydrocarbon pool fires. (1984). **Progress in Energy and Combustion Science**, 10(1), 59-80.

Muñoz, M., Planas, E., Ferrero, F. & Casal, J. (2007). Predicting the emissive power of hydrocarbon pool fires. **Journal of Hazardous Materials**, 144, 725-729.

National Fire Protection Association. (2002). **Handbook of Fire Protection Engineering**. Quincy, Massachusetts, United States.

Petrobras. (2020). **Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos - FISPQ - Gasolina**. Disponível em: <<https://www.br.com.br/wcm/connect/24d79401-33bb-4e0d-ad03-cd8344b9b483/fispq-comb-gaso-auto-gasolina-comum-c.pdf?MOD=AJPERES&CVID=IEZXg34>>. Acesso em 15/11/2020.

Ruzzarin, N. (2011). **Determinação dos efeitos térmicos causados por um incêndio em um tanque de armazenamento de líquido inflamável de grandes proporções e suas relações com o plano de atendimento de emergência (PAE)**. Monografia de Especialização, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

Santos, F.S. & Landesmann, A. (2013). Aplicação de modelo numérico para análise de estruturas de tanques de armazenamento de combustíveis em concreto armado expostas a incêndio. **XXXIV Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering**, Pirenópolis, GO, Brazil, 2013, 19.

Seito, A.I. (2008). Fundamentos de fogo e incêndio. In: Seito, A.I. et al. (Coord.). **A Segurança Contra Incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora. 35-54.

Silva, G. D. M. (2018). **Análise de riscos em postos de combustíveis: estudo de caso**. Monografia de Especialização, Universidade do Sul de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

Teves, M.L.U. (2003). **Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico - Combustível Diesel**. Disponível em: <<https://www.oswaldocruz.br/download/fichas/Diesel2003.pdf>>. Acesso em 15/10/2020.

The Netherlands Organization of Applied Scientific Research. (2005). **Methods for the calculation of physical effects – due to releases of hazardous materials (liquids and gases) – Yellow Book**. (2a ed). Den Haag, Nederland.

U.S. Nuclear Regulatory Commission. (2004). **Fire Dynamics Tools (FDTs): Analysis Methods for the U.S. Nuclear Regulatory Commission Fire Protection Inspection Program**. Washington, DC, United States.

Vaz Júnior, C. A. 2015. **Modelagem de incêndio em poça**. Disponível em: <<http://www.eq.ufrj.br/docentes/cavazjunior/pooli.pdf>>. Acesso em: 10/03/2020.

Zárate, L., Arnaldos, J., Casal, J. (2008). Establishing safety distances for wildland fires. **Fire Safety Journal**, 43, 565–575.