

Análise probabilística de dispersão de gás e fumaça

Pedro Araújo, Thábata Maciel, Gean Rocha, Rafael Pereira, Rafael Storch
DNV GL

RESUMO

O impacto de vazamentos de gás e incêndios nas Funções Críticas de Segurança (FCS) é um dos pontos-chaves na identificação da disponibilidade das funções de segurança em situações de emergência em instalações onshore e offshore.

Funções Críticas de Segurança, tais como rotas de fuga e abrigos temporários, desempenham um papel importante na evacuação segura de pessoas em caso de incêndios e vazamentos de gás. No entanto, se as FCS não estiverem disponíveis considerando a ocorrência do acidente e um critério de aceitabilidade, os operadores podem estar expostos a um risco desnecessário já que uma evacuação segura pode não ser possível.

Portanto, é necessária a aplicação de um procedimento que avalie a frequência de impedimento da FCS, a fim de determinar se o processo de evacuação pode ser realizado sob condições seguras dentro da frequência de disponibilidade esperada.

Este artigo tem como objetivo apresentar um procedimento para determinar a frequência comprometimento das FCSs, com base em simulações de Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD) de incêndio e de dispersão de gás e na frequência de ocorrência dos mesmos. Um conjunto de simulações é realizado a fim de representar diferentes condições de vazamentos acidentais e avaliar as suas consequências.

As frequências dos eventos são empregadas para atribuir uma probabilidade às consequências calculadas. Neste estudo as consequências avaliadas são a concentração de fumaça, nuvens de CO/CO₂ e concentrações de gases inflamáveis acima do limite inferior de inflamabilidade.

Como conclusão para esta avaliação, mapas tridimensionais considerando a frequência de eventos e as suas consequências são apresentados. Com base nestes resultados, uma análise completa em relação à frequência de indisponibilidade das FCSs pode ser realizada.

INTRODUÇÃO

Uma análise de dispersão de gás e fumaça baseada em risco foi desenvolvida para um FPSO genérico. Tal análise é baseada em diversas simulações de fluidodinâmica computacional (CFD) dos cenários de incêndio e dispersão que potencialmente ocorrem em função de vazamentos não intencionais. As consequências da perda de contenção levando a incêndio, e consequente dispersão de fumaça (quando há ignição), ou dispersão de gases tóxicos/inflamáveis (quando não há ignição) são avaliadas. A extrapolação de critérios de aceitação específicos para cada variável determina o impacto sobre uma determinada função de segurança.

Uma breve descrição da metodologia aplicada para determinar o mapeamento 3D de ocorrência é apresentada, assim como os resultados obtidos aplicando esta abordagem em uma área offshore genérica. A fim de obter uma descrição precisa da ocorrência de gás e fumaça na instalação, é realizado um número significativo de simulações de CFD de dispersão de gás e de incêndio. Com base nos resultados gráficos obtidos, é possível obter a frequência de comprometimento das FCS e sugerir medidas mitigadoras para aprimorar a segurança na instalação.

Os softwares de CFD comerciais FLACS e Kameleon Fire Ex foram utilizados para gerar os resultados de consequência, os quais servem como entrada para a análise desenvolvida pela DNV GL. Para a realização do mapeamento de probabilidades, a DNV GL desenvolveu o software chamado de GDOZ, o qual compila os resultados de frequência e consequência (resultados de CFD) e fornece o comprometimento em cada ponto da unidade, podendo ser plotado tridimensionalmente.

METODOLOGIA

A metodologia desenvolvida pela DNV GL [1], [4] para obtenção do mapeamento tridimensional da frequência de ocorrência de gás e fumaça inclui as etapas descritas abaixo:

- **Modelagem geométrica:** Um modelo geométrico tridimensional de um FPSO genérico é utilizado. Esta etapa é fundamental para o trabalho, uma vez que as consequências avaliadas são altamente influenciadas pela configuração geométrica. É importante que as configurações dos pisos, anteparas e grandes equipamentos, tais como sólido/grade, posição e dimensões, sejam corretamente representadas. A Figura 1 exemplifica o modelo geométrico utilizado nesta análise.

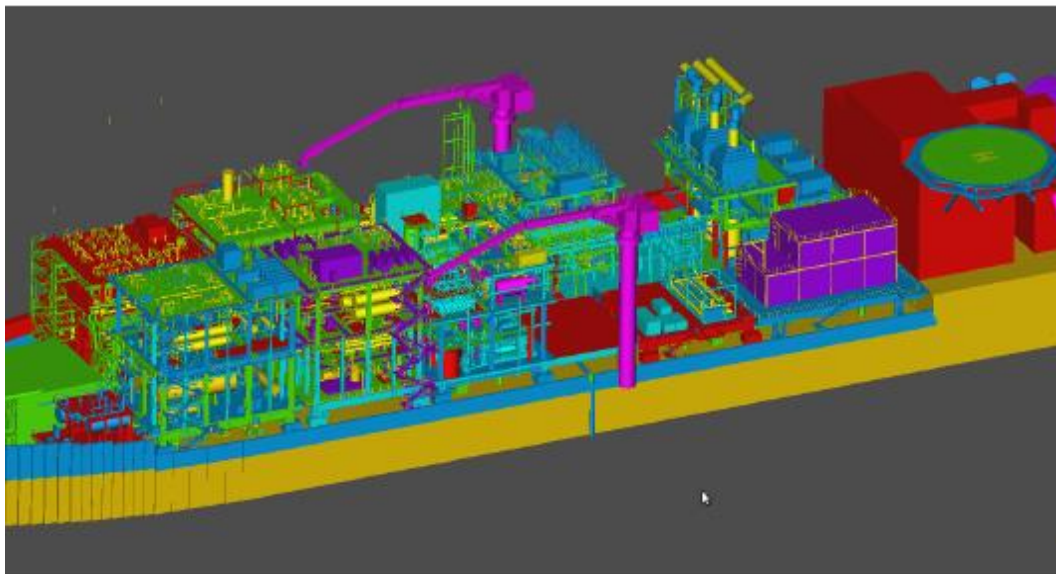


Figura 1 Exemplo de geometria 3D no FLACS

- **Frequência de vazamento:** A frequência de liberações não intencionais em cada equipamento contendo hidrocarboneto é calculada de forma a associar as consequências obtidas com CFD a uma frequência de ocorrência. Este cálculo é realizado aplicando o software DNV GL LEAK a uma contagem detalhada dos equipamentos. São obtidas categorias de frequência de liberação pequena, média e grande para cada localização de vazamento identificada em cada equipamento. As categorias de taxa de liberação são definidas de acordo com a filosofia do cliente. A frequência de vazamento é obtida por ano, conforme exemplo na Figura 2.

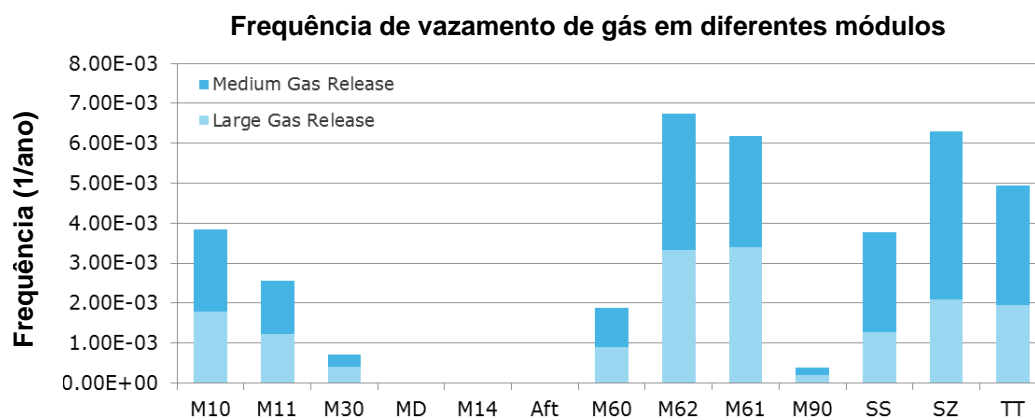


Figura 2 Exemplo de frequência de vazamento

- **Definição dos Pontos de interesse:** As funções de segurança e determinadas regiões críticas são escolhidas para avaliação do comprometimento devido a presença de gás ou fumaça. Para cada ponto de interesse, um critério de aceitação pode ser definido, como concentração de fumaça ou redução de visibilidade.
- **Posições de vazamento:** A definição dos pontos de vazamento e de condições para seleção dos cenários de dispersão e incêndio é parte importante da análise. Normalmente seleciona-se os equipamentos que possuem maior probabilidade de ocorrência de vazamento, tais como válvulas e flanges (entrada e saída dos equipamentos de processo).
- **Cálculo da descarga:** As propriedades de processo (pressão, temperatura e composição) são obtidas dos fluxogramas de processo e utilizadas para o cálculo das propriedades do gás imediatamente após o vazamento. Os gases são modelados como jatos e o líquido como poça (incêndio em poça).
- **Modelagem da dispersão do gás:** A dispersão de gases tóxicos e inflamáveis a partir de libertações acidentais é modelada no software de CFD FLACS. Várias posições de vazamento, direções de jato e direções e condições de vento são consideradas, totalizando, geralmente, mais de 1000 simulações.



Figura 3 Resultado de uma simulação de dispersão – isocontornos de diferentes concentrações;

- **Modelagem do incêndio:** A dispersão de fumaça a partir de vazamentos acidentais ignitados é modelada com o software de CFD Kameleon FireEx. Várias posições de vazamento, direções de jato e direções e condições de vento também foram consideradas.

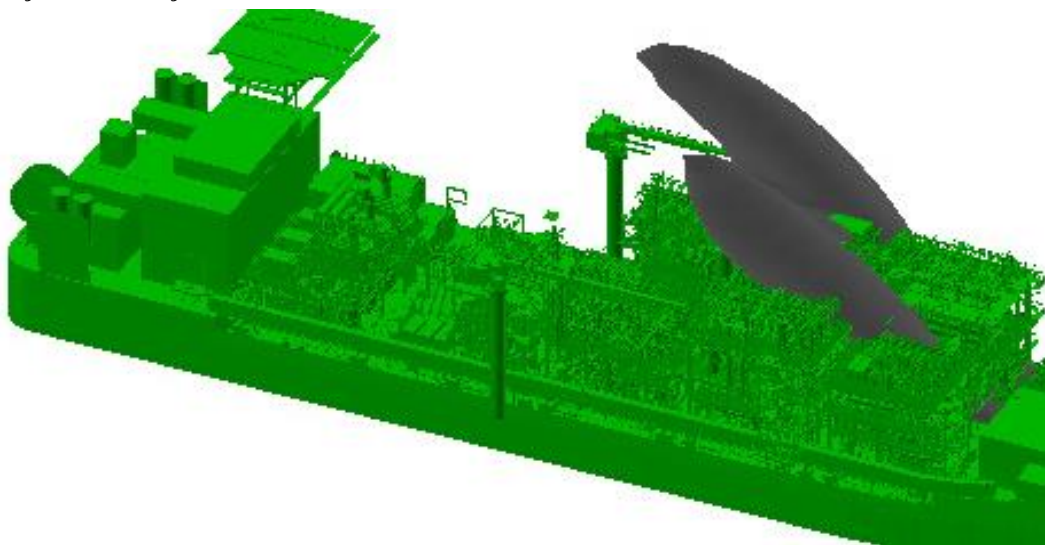


Figura 4 Resultado de uma simulação de incêndio – fumaça gerada

- **Mapeamento da ocorrência de gás:** A frequência de ocorrência de gás em todo o navio e nas funções de segurança é avaliada pela sobreposição de todas as nuvens de gás simuladas e atribuindo a frequência de vazamento bem como a probabilidade de vento a cada uma das simulações. Isso é feito aplicando o software interno desenvolvido pela DNV GL, o GDOZ. O resultado é um mapa tridimensional de probabilidade de ocorrência de gás para auxiliar na determinação do comprometimento das regiões críticas (pontos de interesses).

- **Mapeamento da ocorrência de fumaça:** A frequência de ocorrência de fumaça em todo o navio e nas funções de segurança também é avaliada pela sobreposição de todas as simulações de incêndio e atribuindo a frequência de vazamento, probabilidade de ignição e probabilidade de vento. O software GDOZ também é aplicado para combinar a ocorrência de fumaça com sua frequência de ocorrência. Para os cenários de incêndio, várias consequências da fumaça são mapeadas, como redução de visibilidade (concentração de fumaça), depleção de oxigênio, aumento da concentração de dióxido de carbono e de monóxido de carbono.

RESULTADOS

Os resultados são apresentados em gráficos tridimensionais sobre o modelo de geometria utilizado como base para as simulações. Embora as frequências de ocorrência de gases inflamáveis e de CO₂ sejam apresentados para limites inflamáveis e concentrações específicas, respectivamente, é possível obter parcelas para qualquer valor demandado.

A frequência de ocorrência de gás inflamável a partir do valor de 60% do limite inferior de flamabilidade (LFL), aplicando a metodologia apresentada acima, são apresentadas da Figura 5 à Figura 7. Uma legenda de escala de cores é apresentada no lado direito de cada quadro representando a frequência de ocorrência de gases inflamáveis a uma concentração igual ou superior a 60% LFL.

A Figura 5 mostra um gráfico considerando-se todos os resultados em todas as elevações, enquanto as Figura 6 e a Figura 7 apresentam cortes tridimensionais na elevação do process deck e elevação do main deck. A partir das Figuras 1 e 2 é possível obter a frequência de ocorrência de gás inflamável em locais específicos, como rotas de evacuação, guindastes, módulos etc.

Da mesma forma que para gases inflamáveis, também é possível determinar a frequência de ocorrência de gases tóxicos.

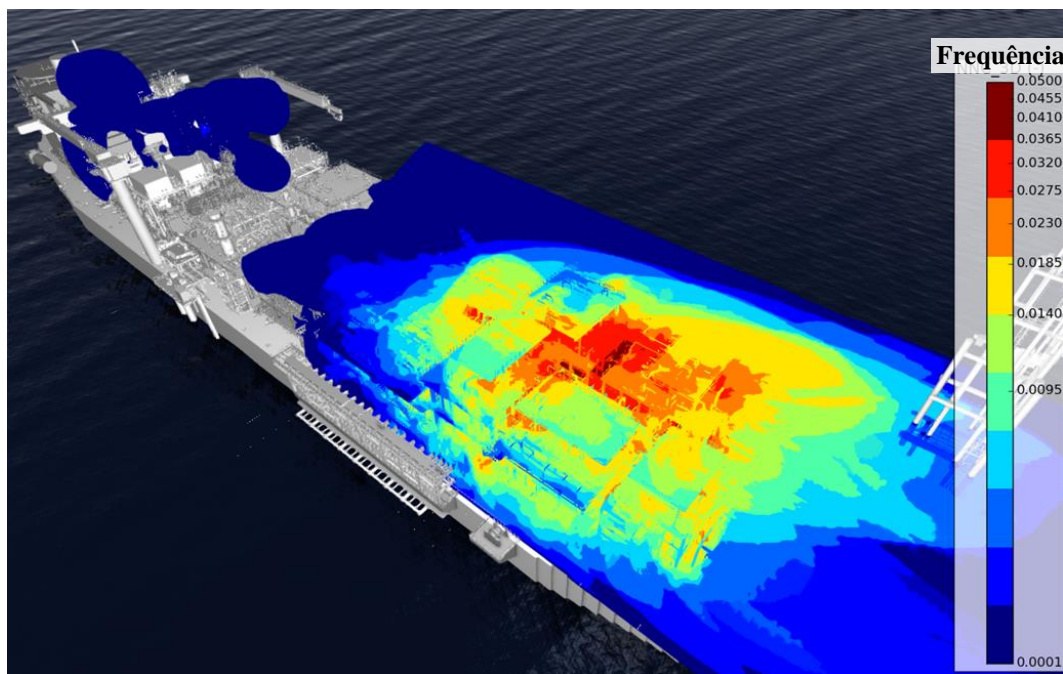


Figura 5 Gráfico tridimensional da frequência de ocorrência de gás com base na superposição de todas as simulações de dispersão de gás inflamável com uma concentração igual ou superior a 60% LFL

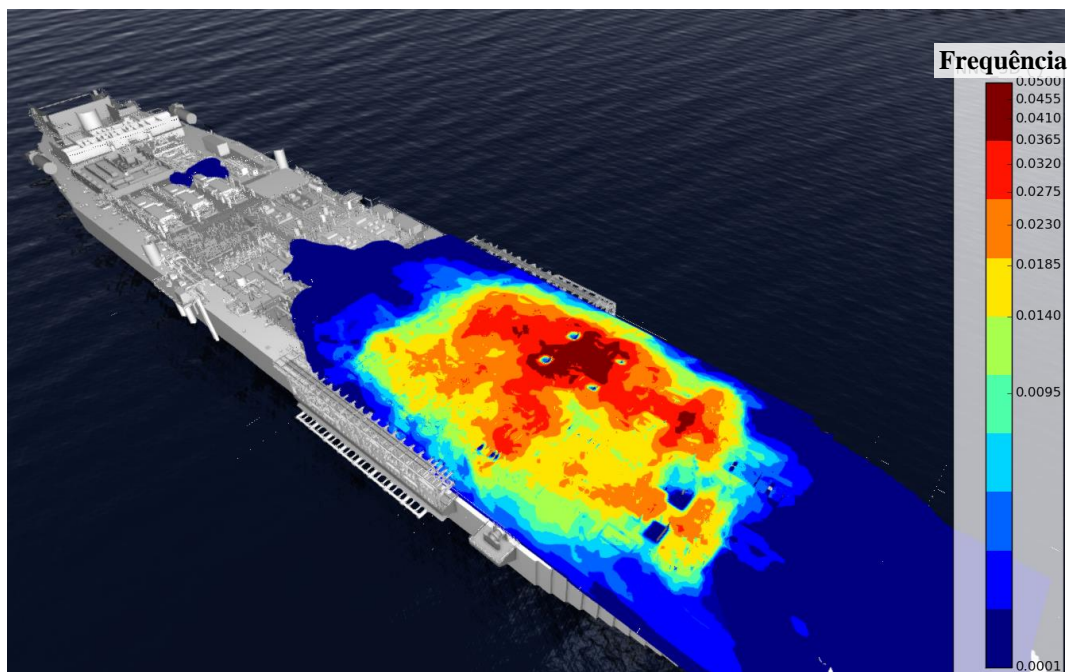


Figura 6 Gráfico tridimensional da frequência de ocorrência de gás inflamável (acima de 60% LFL) na altura do *process deck*.

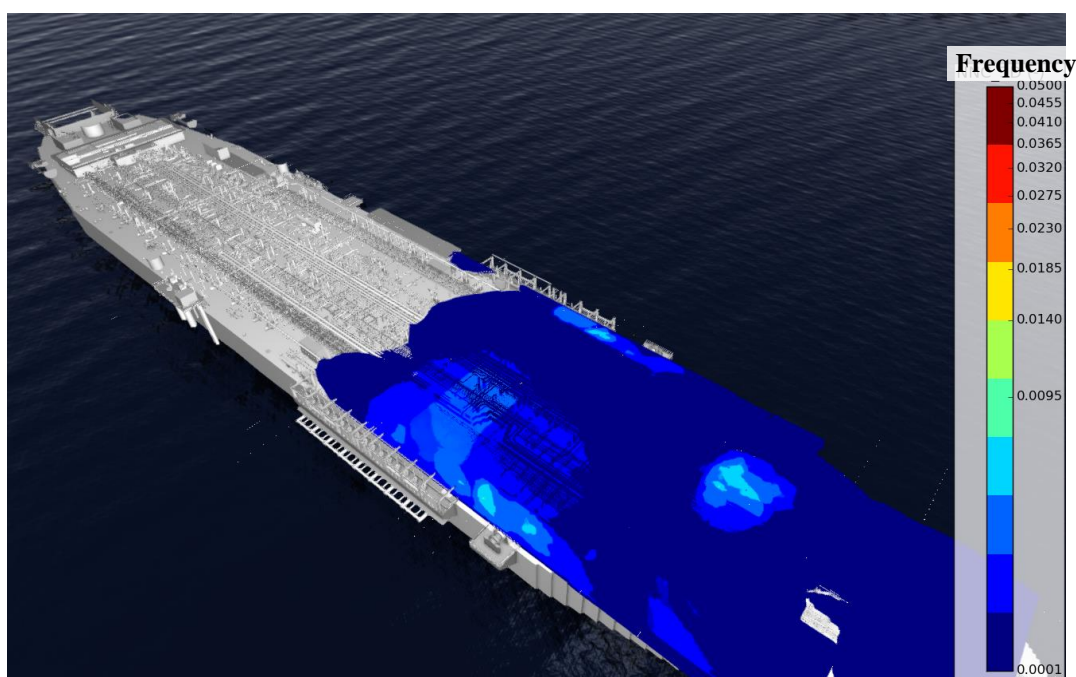


Figura 7 Gráfico tridimensional da frequência de ocorrência de gás inflamável (acima de 60% LFL) na altura do *main deck*.

A frequência de ocorrência de CO₂ como um produto dos cenários de incêndio em uma determinada concentração, obtida aplicando-se a metodologia apresentada acima, é mostrada da Figura 4 à Figura 6. Os resultados apresentados são obtidos para a concentração de CO₂ de 3900 ppm e valores maiores. Uma legenda de escala de cores é apresentada no lado direito de cada imagem representando a frequência de ocorrência de CO₂ a uma concentração mínima de 3900ppm, variando de azul escuro (5,0E-05/ano) a vermelho escuro (3,0E-4/ano).

A Figura 8 mostra um gráfico considerando todos os resultados em todas as elevações enquanto que a

Figura 9 e a Figura 10 apresentam vistas tridimensionais no nível do weather deck e process deck, respectivamente. A partir das Figuras 5 e 6 é possível obter a frequência de ocorrência de CO₂ a 3900 ppm em locais específicos, tais como rotas de fuga, guindastes, diferentes módulos, etc. Similarmente ao CO₂, também é possível determinar a frequência de ocorrência de CO, depleção de O₂ e outros produtos da combustão, bem como qualquer saída regular das simulações de incêndio em CFD realizadas no KFX.

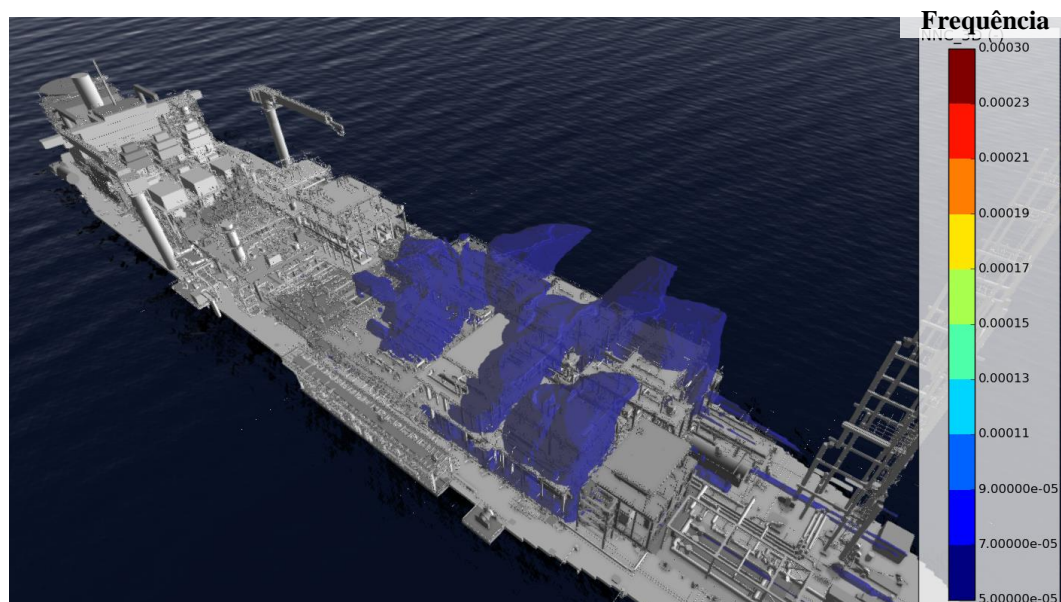


Figura 8 Gráfico Tridimensional da frequência de ocorrência de concentrações de CO₂ acima de 3900 ppm, com base na sobreposição de todas as simulações de incêndio.

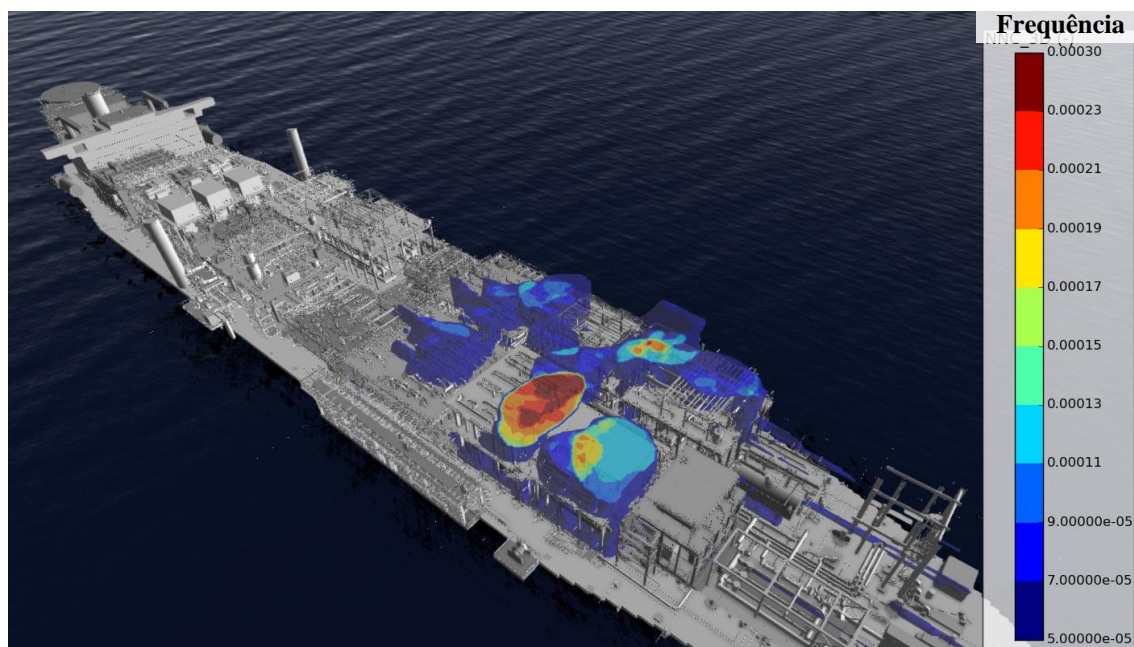


Figura 9 Gráfico Tridimensional da frequência de ocorrência de concentrações de CO₂ acima de 3900 ppm, com base na sobreposição de todas as simulações de incêndio – corte na altura do *weather deck*.

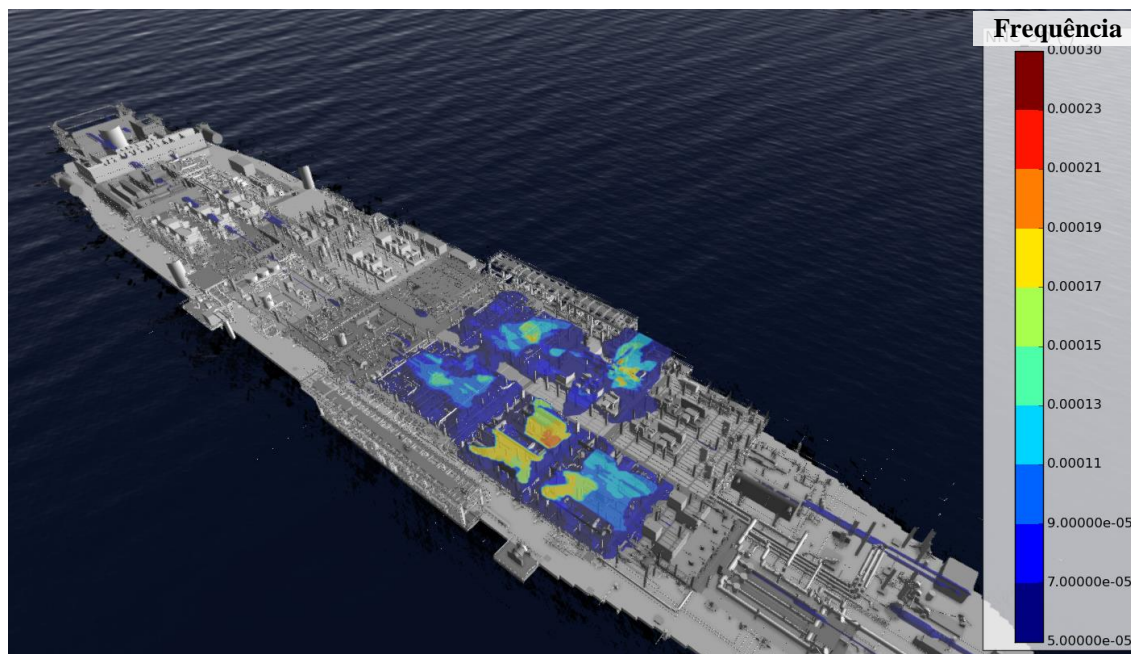


Figura 10 Gráfico Tridimensional da frequência de ocorrência de concentrações de CO₂ acima de 3900 ppm, com base na sobreposição de todas as simulações de incêndio – corte na altura do *process deck*.

Os diferentes resultados refletem os diferentes problemas: a dispersão de gases tem uma abrangência maior, quando comparada à fumaça, pois o vazamento não ignitado pode se espalhar por diversos módulos. Devido à alta temperatura da fumaça, o comportamento é ascendente independente da condição de processo, fazendo com que a mesma não se espalhe por diversos módulos. Desta forma, os resultados de dispersão de gases apresentam os contornos abrangendo uma quantidade de módulos maior que os resultados de dispersão de fumaça.

Além das variáveis apresentadas acima, é possível obter os resultados tridimensionais para um grande conjunto de variáveis como, por exemplo, radiação, temperatura, sobrepressão, arrasto e qualquer outra saída fornecida por FLACS ou KFX.

CONCLUSÕES

O presente trabalho tem como objetivo analisar a ocorrência de gás inflamável com base em liberações acidentais não ignitadas para uma determinada instalação offshore. Com base na análise dos resultados obtidos, é possível sugerir medidas mitigadoras com foco no item de segurança mais crítico identificado em termos de frequência de comprometimento.

Além disso, é obtido também um mapeamento de gás CO/CO com base em um dado conjunto de cenários simulados de incêndio, a fim de avaliar a frequência de comprometimento de diferentes pontos de interesses devido aos gases asfixiantes / tóxicos da combustão. Um perfil detalhado de dispersão de fumaça em caso de eventos de incêndio também pode ser obtido aplicando a metodologia proposta.

A metodologia aqui apresentada utiliza uma abordagem probabilística e também pode ser aplicada para investigar o efeito de diferentes composições operacionais, bem como diferentes categorias de taxa de vazamento nos Itens Críticos de Segurança tanto para instalações offshore como onshore. A metodologia proposta apresenta-se como uma ferramenta útil para analisar riscos e propor medidas mitigadoras baseadas em simulações computacionais avançadas e combinadas com ferramentas de análise de risco.

A frequência de comprometimento de todos os itens críticos de segurança pode ser calculada com a abordagem desenvolvida para os problemas de dispersão de gases (tóxicos, inflamáveis e/ou asfixiantes). Resultados específicos para cada localização dentro da plataforma também podem ser extraídos e, desta forma, medidas mitigadoras mais específicas podem ser recomendadas.

Essa metodologia pode ser utilizada, também, em fases iniciais de projetos (básico e FEED) para avaliação das regiões mais prováveis de instalação de detectores de gás e fumaça. Desta forma, esforços podem ser aplicados nas áreas mais críticas desde as fases iniciais do projeto.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos nossos colegas de trabalho pela dedicação, esforço e competência para fazer o desenvolvimento desta metodologia e consequentemente a publicação deste artigo possível. Agradecemos também à DNV GL por proporcionar as ferramentas e conhecimento técnico necessários para o desenvolvimento do presente trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] MACIEL, T.C.G.L.; Rocha, G.; Pereira, R.; Araújo, P.; Storch, R. Influence of Wind Direction on Gas Detector Allocation in Offshore Production Unit. 10th Global Congress on Process Safety, 2014.
- [2] DNV Leak Version 3.3
- [3] FLACS - FLame ACceleration Simulator – GexCon AS (<http://www.gexcon.com/flacs-software/article/FLACS-Overview>)
- [4] Evaluation of the effectiveness of gas detectors layout on operating platforms – FLACS User Group (FLUG) meeting - October 16th, 2014 (Houston).
- [5] KFX – Kameleon Fire EX – CompuIT (http://www.computit.no/en/Products_and_services/KFX/)