SIMULAÇÕES CFD EM REGIME TRANSIENTE PARA ALOCAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE DETECTORES DE GASES INFLAMÁVEIS EM UNIDADE DE PROCESSAMENTO DE PETRÓLEO *OFFSHORE*

J. M. BARCELOS, T. S. KLEIN e R. A. MEDRONHO

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química
E-mail para contato: joao.barcelos@eq.ufrj.br

RESUMO – Na atividade *offshore* existem riscos associados a vazamentos de gás na planta de processo que causam preocupação com relação aos danos e às consequências que podem ser gerados. Neste trabalho, empregou-se a Fluidodinâmica Computacional na predição do comportamento da dispersão de gases leves a partir de um ponto de vazamento no sistema de compressão de gases. As condições operacionais, *layout* da unidade e condições ambientais presentes em sistemas reais foram levadas em consideração. Foram simulados 36 casos de vazamento em regime transiente avaliando-se o desenvolvimento de cada simulação com o tempo. Para classificar os sensores, foi proposta uma correlação para avaliar a efetividade de detecção dos mesmos. Com base nisso, propôs-se malhas de detecção capazes de identificar 100% dos casos em diferentes instantes de tempo.

1. INTRODUÇÃO

Dados estatísticos do HSE (Health & Safety Executive) mostram que aproximadamente 40% dos vazamentos gasosos em ambiente *offshore* são detectados pelo sistema de detecção de gases da plataforma, sendo o restante identificado por outros tipos de sistemas de detecção. Nesse contexto, a determinação ótima da localização dos detectores de gases inflamáveis pode aumentar essa porcentagem e demonstra que é essencial entender como os gases se dispersam juntamente com o regime de vento e ventilação influenciados pela geometria da plataforma.

O posicionamento de detectores é normalmente baseado nas recomendações de normas, que o fazem de maneira vaga e imprecisa, de modo que os sensores sejam localizados próximos a possíveis pontos de vazamentos.

Simulações em CFD têm dado importantes contribuições em análises de segurança em diversas áreas. Essa ferramenta se destaca como uma alternativa economicamente viável e flexível. Muitos autores consideram os efeitos transientes na investigação do desenvolvimento temporal da dispersão gasosa estabelecendo posições baseadas no tempo de identificação do vazamento. Neste contexto, o presente trabalho propõe o estudo do comportamento transiente de nuvens de gás inflamável geradas por vazamento em uma unidade *offshore* através de simulações numéricas com CFD. A metodologia proposta define um sistema de detecção dos gases inflamáveis para o cenário de vazamento com o intuito de minimizar o número total de

instrumentos mantendo-se uma confiabilidade razoável. Dessa forma, pretende-se identificar a importância de informações que só se pode obter no regime transiente, como o tempo de detecção e o tempo no qual a dispersão gasosa entra em equilíbrio com a ventilação ambiente. Além disso, propõe-se um parâmetro denominado de Efetividade de Detecção que estima a importância de cada dispositivo no sistema de detecção como um todo.

2. METODOLOGIA

De acordo com HSE (2002) os equipamentos que oferecem maior taxa de falhas são os que constituem o sistema de compressão dos gases. Assim, um compressor típico em condições de operação de pressão em 150 kgf/cm^2 e temperatura de 128°C foi selecionado para o estudo. A geometria utilizada foi adaptada a partir das plataformas de petróleo em funcionamento e trata-se de um FPSO genérico com ancoragem do tipo *Turret* interno, conforme Figura 1. O módulo de compressão de gases é destacado na cor laranja.

Figura 1 – Vista tridimensional do modelo geométrico.

O sistema de ancoragem do tipo *Turret* permite que a unidade fique alinhada de acordo com a resultante das cargas ambientais (Reyes, 2012). Neste caso, a carga ambiental considerada no estudo refere-se ao vento mais frequente (vento Nordeste – NE) que atinge a plataforma de frente, a 0° . Como esta rotação não ocorre de forma instantânea, considera-se uma variação nas direções de incidência do vento para $+30^\circ$ e -30° .

Foi selecionado um ponto de vazamento para análise transiente, realizando-se 6 direções de jato ($\pm X$, $\pm Y$ e $\pm Z$), 3 direções de vento (0° , $+30^\circ$ e -30°) e 2 intensidades de vento (condição de calmaria de $0,5 \text{ m/s}$ e velocidade de vento mais frequente de $6,5 \text{ m/s}$) resultando em 36 simulações.

Para as simulações, considerou-se a composição do gás típica à do gás processado nesses sistemas. A vazão dos jatos foi determinada através de cálculos para escoamento subsônico após expansão isentrópica dos gases e inseridas como ponto fonte. Os valores utilizados foram de taxa de vazamento de $0,70 \text{ kg/s}$ (referente ao diâmetro do furo de $7,6 \text{ mm}$) e velocidade de saída de $122,5 \text{ m/s}$ (modelo de fonte efetiva) calculados de acordo com TNO (2005) e Birch et al. (1987).

A malha computacional utilizada é tetraédrica e tem em torno de 15.000.000 de elementos. Foi utilizado um passo de tempo de 1 s e o tempo total de simulação foi de 100 s . O

critério de convergência para as simulações foi de 10^{-4} para os resíduos médios. Testes de malhas e passo de tempo foram realizados para assegurar a confiabilidade dos resultados, bem como testes para resíduo e tempo necessário para assegurar que o estado estacionário fosse atingido.

Utilizou-se como concentração de detecção o valor de 20% do Limite Inferior de Inflamabilidade conforme recomendações de segurança para este tipo de unidade (Norma Técnica Petrobras N-2914).

O software POND4, desenvolvido pela Bureau Veritas, foi utilizado para o cálculo de ponderações de concentrações de gases, resultando na combinação de diferentes cenários de vazamento e ordenando os pontos (nós) onde é possível detectar o maior número de vazamentos. Sendo assim, o POND4 auxiliou na identificação dos pontos que identificam o maior número de casos.

Na determinação do posicionamento de detectores, alguns parâmetros são relevantes, como o tempo, para tomada de decisão, e o volume das nuvens, para o dimensionamento de danos e consequências. Além disso, o número de cenários que um detector consegue identificar, também é relevante. Dessa forma, foi proposta a Equação 1 para classificar os sensores, representando a Efetividade de Detecção para um determinado detector:

$$E_i = \frac{1}{N_T} \sum_{j=1}^{N_i} f_j \frac{V_{EE,j}}{V_{EE,max}} \frac{t_{EE,j} - t_{ij}}{t_{EE,j}} \quad (1)$$

onde N_T é o número total de cenários; N_i é o número de cenários que o detector i identifica; f_j é a frequência de ocorrência do cenário j ; $V_{EE,j}$ é o volume da pluma do cenário j quando o estado estacionário é atingido, em $t_{EE,j}$; $V_{EE,max}$ é o maior volume de pluma no estado estacionário dentre os N_T cenários; e t_{ij} é o tempo para o detector i identificar o cenário j .

3. RESULTADOS

Observou-se que os cenários mais críticos são aqueles com jato direcionado para o piso da unidade, gerando grande acúmulo dos gases inflamáveis e aumentando a possibilidade de ocorrer explosões e incêndios.

A Figura apresenta a vista de topo da nuvem detectável em 5, 30 e 100 segundos de simulação para o caso com direção de jato +Y, direção de vento em 0° e condição de calmaria com velocidade de 0,5 m/s.

Figura 2 – Vista de topo da nuvem detectável do caso com direção de jato +Y, direção de vento em 0° e condição de calmaria com velocidade de 0,5 m/s.

A metodologia de detecção indicou que 5 detectores são capazes de identificar 100% dos casos simulados após 100 segundos de simulação. Foram elaborados arranjos de detecção capazes de identificar todos os casos em 20 segundos e em 5 segundos de simulação. Os dois arranjos indicaram a necessidade de 5 detectores cada. Após análise das malhas de detecção propostas fica perceptível que ao diminuir o tempo de detecção dos casos simulados, o posicionamento dos sensores fica mais próximo do ponto de vazamento.

O cálculo da Efetividade de Detecção mostra que há uma relação entre os detectores que detectam o maior número de casos serem os mais efetivos, mas não garante que o que detecta mais casos é o mais efetivo. Por outro lado, os detectores mais rápidos, que detectam todos os cenários em até 5 segundos, não apresentaram necessariamente as melhores efetividades, o que, provavelmente, está associado ao volume da nuvem detectável gerada a partir de cada cenário.

4. CONCLUSÃO

A metodologia de detecção utilizada mostrou-se eficiente quanto à detecção de 100% dos casos analisados e à disposição geométrica dos detectores na planta de processo. Para detecção de todos os casos em 20 segundos e em 5 segundos também foram necessários cinco detectores, mostrando que o número mínimo de dispositivos para identificação em tempos diferentes não se altera necessariamente.

A equação da efetividade de detecção proposta mostrou-se coerente em relação aos parâmetros selecionados e demonstra que pode ser utilizada para classificação de todos os pontos observáveis do domínio de simulação, mas ajustes talvez sejam necessários para que se possa determinar a localização dos sensores apenas a partir da mesma.

Agradecimentos

A elaboração deste trabalho não teria sido possível sem a colaboração da Bureau Veritas, ao disponibilizar o *software* POND4.

6. REFERÊNCIAS

- BIRCH, A. D., HUGHES, D. J. e SWAFFIELD, F. Velocity Decay of High Pressure Jets, *Combust. Sci. and Tech.*, v. 52, p. 161-171, 1987.
- FLECK, A. B. Dispersão de Gases Inflamáveis em Plataformas Offshore: Localização de Detectores, Dissertação de Mestrado, Escola de Química, UFRJ, Rio de Janeiro, 2008.
- GOMES, E. G. Dispersão de Gases Inflamáveis em Unidades de Processamento de Petróleo: Otimização de Detectores, Dissertação de Mestrado, UFRJ/EQ, Rio de Janeiro, 2012.
- Health & Safety Executive. Offshore Hydrocarbon Releases Statistics and Analysis, 2002.
- Reyes, M. C. Apostila de Tecnologia de Sistemas Oceânicos III, Rio de Janeiro, Construa, 2012.
- TNO. Methods for the calculation of physical Effects (Yellow Book), The Netherlands Organization of Applied Scientific Research -, CPR14E, 3ª Ed, 2005.