

## **PREDIÇÃO DE RISCO DE EXPLOÇÃO MEDIANTE VAZAMENTO DE GÁS BUTANO ATRAVÉS DE AVALIAÇÃO FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL**

JOÃO VICTOR DA CUNHA OLIVEIRA<sup>1</sup>, ENDYARA DE MORAIS CABRAL<sup>2</sup> e FRANSKALE FABIAN DINIZ DE ANDRADE MEIRA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Graduando de CST em Construção de Edifícios, IFPB, Campina Grande-PB, joaovictorwo@gmail.com;

<sup>2</sup>Mestranda em Engenharia Mecânica, CCT, UFCG, Campina Grande-PB, endyara.engpetro@gmail.com;

<sup>3</sup>Dr. em Engenharia Civil, Prof. EBTT, IFPB, Campina Grande-PB, frankslale.meira@ifpb.edu.br

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC  
Palmas/TO – Brasil  
17 a 19 de setembro de 2019

**RESUMO:** Através da técnica de CFD, é possível realizar previsões para assegurar a realização de procedimentos industriais, como também conferir segurança residencial em situações que acometam a integridade de edificações e usuários. Dessa forma, busca-se com este trabalho averiguar como comporta-se o escoamento de gás butano em situação de vazamento residencial, com ênfase nas áreas que detenham faixas de concentração volumétrica com risco de explosividade. Através do software Ansys® 17.0, plataforma CFX, criou-se a geometria do domínio em estudo e gerou-se uma malha híbrida com refino nas áreas de interesse (entrada do gás e esquadrias/aberturas), introduzindo-se o fluido no domínio a 20m/s. Pôde-se observar que, dentro da faixa de risco de explosão fornecida pela PETROBRAS (1,8% até 8,4%), o hall de entrada, a sala, a cozinha e a área de serviço tornam-se vulneráveis à explosão pela não liberação eficiente do fluido através das esquadrias/aberturas existentes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Faixa de explosividade, gás butano, CFD, edificação, apartamento.

### **RISK PREDICTION OF EXPLOSION OF BUTANE GAS LEAKING THROUGH COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS EVALUATION**

**ABSTRACT:** By using CFD technique, it is possible to make predictions to ensure the performance of industrial procedures, as well as confer residential security in situations that affect the integrity of buildings and users. Thus, the aim of this work is to investigate how the flow of butane gas in a residential leak situation behaves, with emphasis on areas that contain volumetric fraction ranges with explosive risk. Through the software Ansys® 17.0, CFX platform, the domain geometry was created and a hybrid mesh with refinement in the areas of interest (gas inlet and frames/openings) was generated, introducing the gas into domain at 20m/s. In accordance to the explosion risk range provided by PETROBRAS (1.8% to 8.4%), the entrance hall, living room, kitchen and service area are vulnerable to the explosion by not efficient release of the fluid through the existing window frames/openings.

**KEYWORDS:** Explosive limits, butane gas, CFD, building, apartment.

### **INTRODUÇÃO**

O uso da fluidodinâmica computacional (CFD) como técnica de estudo para predição de fenômenos configura-se como um mecanismo poderoso na interpretação de resultados em tempo hábil, principalmente quando fatores como o vazamento de fluidos e risco de explosão são avaliados para domínios de difícil diagnóstico e, de acordo com Edelia et al. (2018) esse tipo de modelagem, usada de forma alternativa, atua com extrema precisão na previsão de dispersão química de poluentes, incêndio e explosão em quaisquer ambientes.

Dentro do campo de experimentação que investiga o vazamento de gases, Dasgotra et al. (2018) desenvolveram um estudo com CFD para *layout* de tanques de combustível inflamável em

refinarias de petróleo usando código FLACS (*Flame Acceleration Simulator*), pelo fato do número de acidentes nos terminais de armazenamento aumentarem todos os anos. Em escala real, os autores testaram a dispersão de gás em uma atmosfera controlada com diferentes fluxos em terminais de vazamento, objetivando estudar a nuvem de vapor bem como a resistência explosiva, obtendo resultados que dão amparo à criação de diretrizes que guiem medidas de mitigação pré e pós-incidente.

Essa mesma modelagem 3D em CFD também foi estudada por Li et al. (2018), averiguando através de código FLACS (*Flame Acceleration Simulator*) a simulação de explosão e dispersão em tanques de armazenamento de combustível com apoio prático para validação dos dados virtuais, buscando avaliar de forma qualitativa os intervalos de separação existentes. Ao final do estudo conseguiu-se obter boa concordância de resultados entre o teste real e a modelagem em CFD, com este último avaliado ainda outras possibilidades de explosão.

Não obstante, as instalações flutuantes de gases liquefeitos são objetos de estudo em plataformas offshore, e Yang et al. (2018) buscaram criar um procedimento rígido na designação de maior segurança as mesmas por serem de acesso limitado pela emergência em casos de incêndio e explosão. Além de verificar a eficiência de medidas de segurança com amparo de técnica de CFD, os autores integraram na modelagem o cenário de lançamento, dispersão e fogo. Os cenários mais suscetíveis à incêndios foram colocados em ênfase considerando a influência da localização, com total de 14 casos confiáveis analisados.

Na engenharia civil e arquitetura, a aplicação dessa ferramenta torna-se preponderante na obtenção de soluções que envolvam a segurança o conforto dos usuários, no que ganhou espaço na academia nos últimos anos, por buscar soluções de eficiência energética nas edificações com foco em adequar e auxiliar o projeto de arquitetura ao clima (Trindade et al., 2010). A ventilação urbana também se tornou área de estudo por buscar identificar como comporta-se o vento, enquanto tensor, a nível de pedestres, como também o comportamento do escoamento entre edifícios para diferentes locações e orientações (Silva, 2015).

A análise de ventilação natural em edificações de tipologias gerais que se configuram em programas sociais como o “Minha Casa Minha Vida”, segundo Moraes (2013), precisa ser posta em ênfase devido ao público alvo ser de baixa renda. A autora buscou alertar os projetistas sobre as escolhas realizadas durante a fase de planejamento e maturação dos projetos de arquitetura. Abordando a premissa de vazamento de fluidos no interior de apartamento, Cunha Oliveira et al. (2018) avaliaram o escoamento do gás natural em condição de vazamento, com foco na identificação de zonas com concentração de risco de explosão.

Objetiva-se com este trabalho identificar, através de simulação numérica utilizando CFD, as áreas com vulnerabilidade de explosão do gás butano em possível vazamento no interior de apartamento, bem como outros aspectos fluidodinâmicos, a exemplo da ocorrência de recirculação do fluido, dificultando o escapamento pelas esquadrias do domínio.

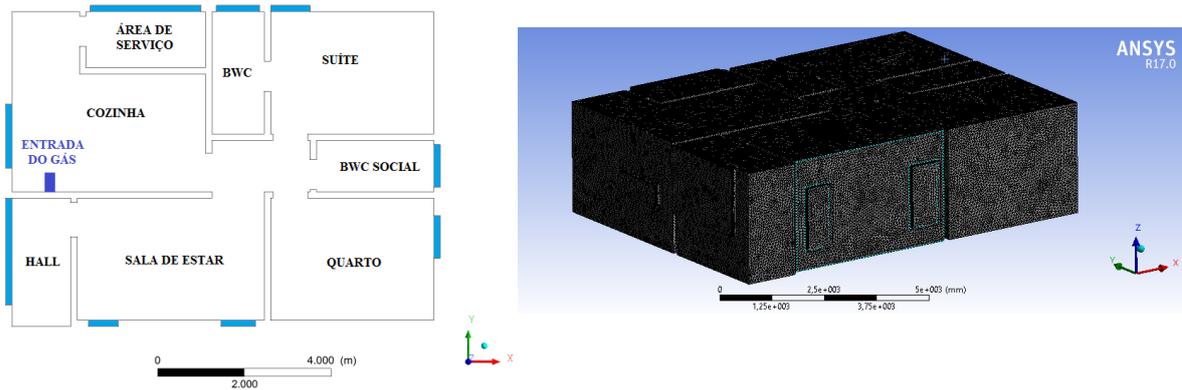
## **MATERIAL E MÉTODOS**

De modo a realizar uma análise do problema, utilizou-se o programa CFX, da plataforma Ansys® 17.0. A geometria consiste de um apartamento de caráter unifamiliar, com área total de 75m<sup>2</sup> e pé-direito de 2,80m. Dentro deste domínio, estão contidos: *hall* de entrada, sala de estar, cozinha, quarto, suíte, BWC social, BWC suíte e área de serviço (Figura 1-a). Há ainda neste domínio 9 janelas (destacadas em azul na Figura 1-a) distribuídas nos diferentes cômodos do apartamento e a entrada do gás, localizada na cozinha, por onde ocorre o vazamento.

A malha híbrida gerada para a simulação numérica (Figura 1-b) foi de refinada nas paredes e na região próximo à entrada do gás no domínio, de modo a obter sua não interferência nos resultados, e possui 362.050 nós e 1.846.053 elementos. O modelo Euleriano foi adotado, com os gases tratados como fases contínuas e compressíveis e o sistema de turbulência foi o k-ε. As propriedades das frações presentes na mistura de gás se deram de acordo com o *default* do *software* CFX.

A entrada do gás butano ocorre a uma velocidade de 20m/s e 25°C, por um orifício com diâmetro de 15mm, distando 50cm do piso e 90cm de afastamento da alvenaria lateral, no interior da cozinha. Para as paredes foi determinada a condição de não-deslizamento do fluido. O escoamento é isotérmico e ocorre em regime permanente, e as janelas foram configuradas como fronteiras do tipo *opening* (com 99% de ar, e 1% de gás butano) abertas à pressão atmosférica.

Figura 1. Geometria do apartamento (a), e malha híbrida gerada para o domínio (b), respectivamente.



A modelagem matemática definida para descrever a dinâmica dos fluidos no interior do apartamento é baseada nas equações de conservação de massa, momento linear e as do modelo de turbulência  $k-\epsilon$ , em conjunto com as condições iniciais e de contorno anteriormente citadas, considerando a não existência de reações químicas, o efeito da gravidade e a ausência de rugosidade nas paredes. O critério de convergência adotado para a massa foi de  $10^{-5}$  kg/s. A simulação foi realizada em um computador *Hp*, processador Intel Core i5 2.5 GHz, 6GB RAM e HD de 500GB.

Assim, as equações de conservação de massa e momento linear reduzem-se a:

- Equação de conservação de massa:

$$\nabla \cdot (f_a \rho_a \vec{U}_a) = 0 \quad (1)$$

onde  $f_a$ ,  $\rho_a$  e  $U_a$  são, respectivamente, a fração volumétrica, viscosidade e vetor velocidade da fase  $\alpha$ .

- Equação da quantidade de movimento:

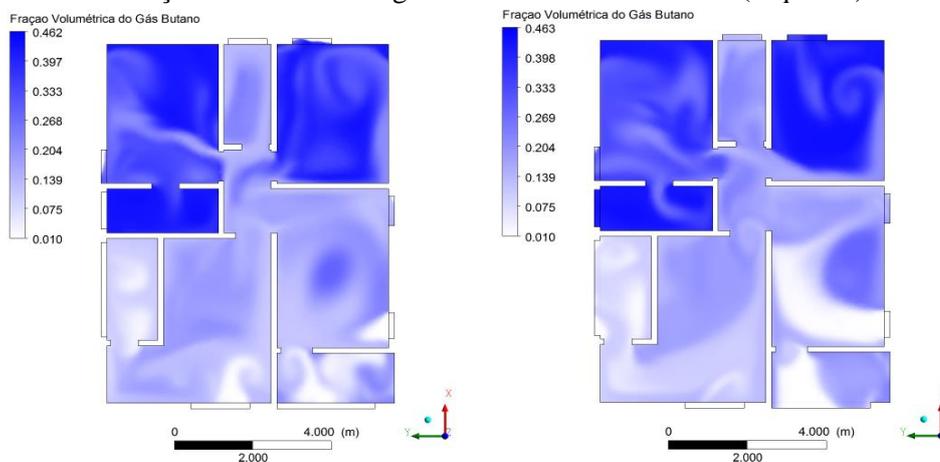
$$\nabla \cdot [f_a (\rho_a \vec{U}_a \otimes \vec{U}_a)] = -f_a \nabla p_a + \nabla \cdot \{f_a \mu_{ef} [\nabla \vec{U}_a + (\nabla \vec{U}_a)^T]\} \quad (2)$$

onde  $p$  é a pressão,  $\mu_{ef}$  a viscosidade efetiva (viscosidade dinâmica mais a viscosidade turbulenta).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se através, da Figura 2, os resultados da variável de fração volumétrica, em perfis horizontais de 1m e 2m de altura. Nota-se que, para ambas as alturas analisadas, existe uma elevada concentração de gás butano na suíte, no quarto e no BWC da suíte, a qual dever ser atribuída ao não escoamento adequado do fluido pelas esquadrias. A cozinha, a área de serviço, a sala e o *hall* de entrada, por sua vez, expuseram menores valores de concentração para ambos os perfis horizontais, testificando um correto dimensionamento e localização das esquadrias neles presentes e aberturas para o exterior do apartamento.

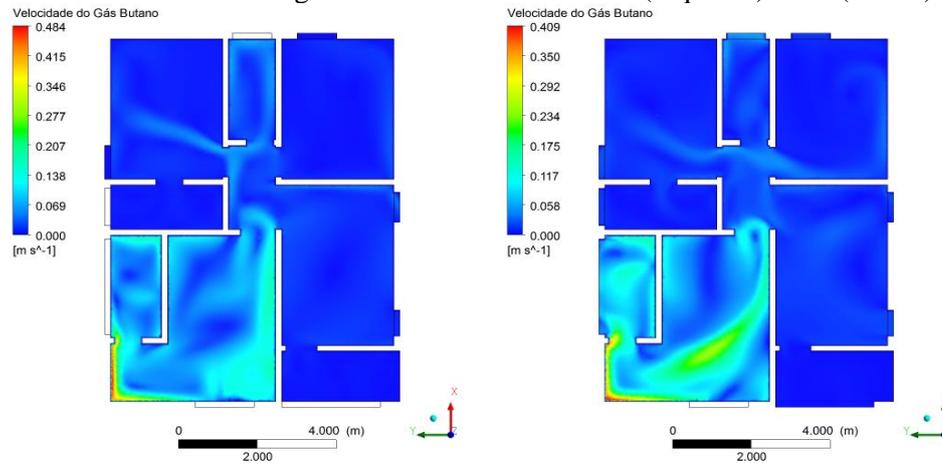
Figura 2. Perfis de fração volumétrica do gás butano nas alturas de 1m (esquerda) e 2m (direita).



A Figura 3 apresenta o comportamento da variável de velocidade do gás durante a simulação, estudada também, em perfis horizontais de 1m e 2m de altura. Com velocidade de entrada no domínio

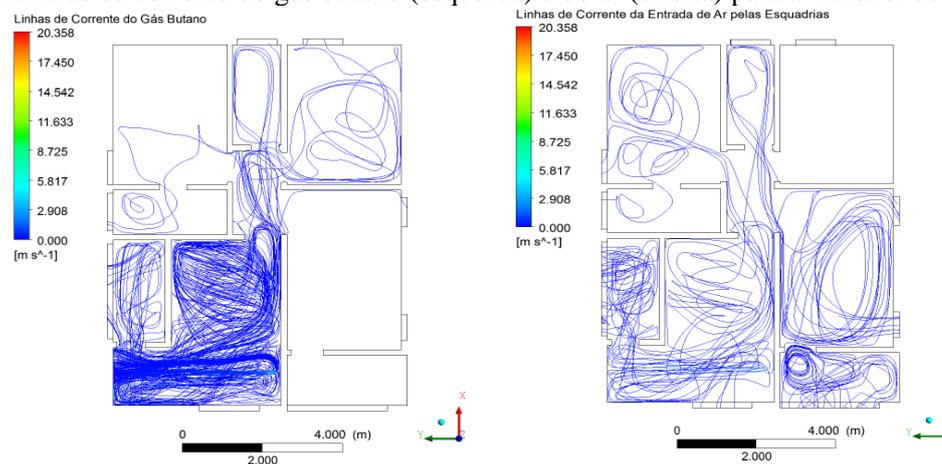
de 20m/s e em regime permanente, a maior intensidade observada foi somente para o cômodo da cozinha, onde se encontra a origem do vazamento.

Figura 3. Perfis de velocidade do gás butano nas alturas de 1m (esquerda) e 2m (direita).



Verifica-se, através da Figura 4 (esquerda), o comportamento das linhas de corrente do gás butano, também para a variável de velocidade. O escoamento pela abertura da área de serviço e pela janela da cozinha são os mais efetivos de todo o domínio, promovendo a menor concentração do fluido para ambos os ambientes. É evidente no quarto, no BWC da suíte, na cozinha e na área de serviço a existência de recirculação do gás butano, com os dois primeiros ambientes retendo o gás por motivo de suas esquadrias não permitirem a saída do mesmo. Na Figura 4 (direita), é possível visualizar as linhas de corrente para o ar, que entra pelas esquadrias e, com isto, nota-se que a baixa concentração de gás na sala, no *hall* de entrada, na cozinha e na área de serviço deve-se às esquadrias destes cômodos favorecerem a entrada de ar com maior facilidade por serem maiores ou estarem em maior número e melhor localizadas.

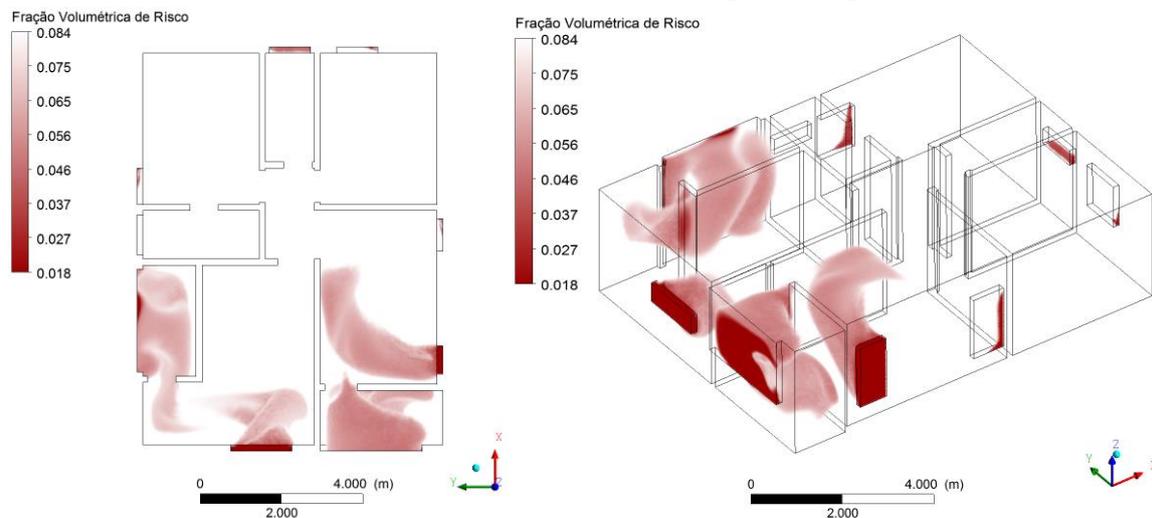
Figura 4. Linhas de corrente do gás butano (esquerda) e do ar (direita) para a variável de velocidade.



A Figura 5 (direita) destaca tridimensionalmente quais os ambientes em que, em regime permanente, a concentração de gás butano enquadra-se dentro da faixa de 1,8% até 8,4%, caracterizando risco de explosividade de acordo com ficha de emergência da Petrobras. Os cômodos que apresentam maior região em risco coincidem com aqueles em que as esquadrias drenaram o gás de maneira mais eficaz. Através da sobreposição da Figura 5 (vista superior) com a Figura 2 para o perfil horizontal a 2 metros de altura, corrobora-se que as esquadrias que liberaram maior volume de gás para o meio externo do apartamento propiciam com que a quantidade de comburente na atmosfera interna seja maior, dispersando o fluido. Como a simulação foi realizada com as janelas abertas, porém sem a entrada de ventilação, é possível afirmar que essa condição de contorno, que favorece a explosão na sala, no *hall* de entrada, na cozinha e na área de serviço, é passível de se tornar realidade

para casos em que exista comprometimento da ventilação devido à alta densidade de edificações em regiões de elevado adensamento populacional.

Figura 5. Faixa de risco de explosão para o gás butano: vista superior (esquerda) e isométrica (direita).



## CONCLUSÃO

O estudo realizado evidencia a aplicabilidade da ferramenta da Fluidodinâmica Computacional na predição de dispersão de gases no interior de ambientes com riscos de explosão, sendo esta útil para sugerir uma melhor disposição e dimensionamento das esquadrias dos ambientes, ainda durante a fase de projeto. Conclui-se que, apesar de a suíte e o quarto terem apresentado as mais elevadas taxas de fração volumétrica, a sala, área de serviço e o hall de entrada exibiram taxas dentro da faixa de concentração de risco de explosão. Tais condições foram obtidas em uma análise em regime permanente, o que permite entender que, adotando o regime transiente, quando as concentrações de gás butano ainda estiverem menores, os primeiros cômodos também apresentariam risco de explosão.

## REFERÊNCIAS

- Cunha Oliveira, J. V. da; Cabral, E. de M.; Meira, F. F. D. de A. Vazamento de gás natural em apartamento: simulação numérica e análise de risco. In: Congresso Brasileiro de Fluidodinâmica Computacional, CBCFD. Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro, 2018.
- Dasgotra, A.; Teja, G. V. V. V.; Sharma, A.; Mishra, K. B. CFD modeling of large-scale flammable cloud dispersion using FLACS. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, v.56, p.531-536, 2018.
- Edelia, E. M.; Winkler, R.; Sengupta, D.; El-Halwagi, M. M.; Mannan, M. S. A computational fluid dynamics evaluation of unconfined hydrogen explosions in high pressure applications. *International Journal of Hydrogen Energy*, v.43, n.33, p.16411-16420, 2018.
- Li, J.; Hao, H.; Shi, Y.; Fang, Q.; Li, Z.; Chen, L. Experimental and computational Fluid Dynamics study of separation gap effect on gas explosion mitigation for methane storage tanks. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, v.55, p.359-380, 2018.
- Morais, J. M. da S. C. Ventilação natural em edifícios multifamiliares do “programa minha casa minha vida”. Campinas: Unicamp, 2013. 211f. Tese (Doutorado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade).
- Silva, L. D. T da. Investigação do uso e da aplicação das técnicas CFD para estudo e análise de ventilação natural por ação dos ventos em espaços urbanos. Viçosa: UFV, 2015. 104f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo).
- Trindade, S. C.; Pedrini, A.; Duarte, R. N. C. Métodos de aplicação da simulação computacional em edifícios naturalmente ventilados no clima quente e úmido. *Ambiente Construído*, v.10, n.4, p.37-58, 2010.
- Yang, R.; Khan, F.; Yang, M.; Kong, D.; Xu, C. A numerical fire simulation approach for effectiveness analysis of fire safety measures in floating liquefied natural gas facilities. *Ocean Engineering*, v.157, p.219-233, 2018.