

UTILIZAÇÃO DA FLUIDOCINÂMICA COMPUTACIONAL PARA O ESTUDO DOS INCÊNDIOS

Using Computational Fluid Dynamics to Study Fires

Willyan Fazzioni

Capitão do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, comandante da 3ª Companhia do 2º Batalhão de Bombeiros Militar – Videira, Tecnólogo em Gestão de Emergências pela Universidade do Vale do Itajaí. Email: fazzioni@cbm.sc.gov.br.

RESUMO

Estudar incêndios é uma tarefa complexa, devido à grande quantidade de variáveis envolvidas no fenômeno e aos diversos processos físicos e químicos que interagem entre si. Como a simulação de eventos reais para estudo é muitas vezes inviável, uma alternativa para simular estes eventos em computador é através da fluidodinâmica computacional, ou CFD (Computational Fluid Dynamics). Fluidodinâmica computacional é uma ciência que utiliza recursos computacionais para simular eventos e solucionar equações da mecânica dos fluidos, transferência de calor e reações químicas. Após o estudo de um caso específico e a definição da abordagem teórica necessária, os dados são lançados em um software de CFD, o qual realizará o processamento dos mesmos e fornecerá os resultados ao pesquisador. Como forma de comprovar a efetividade desta ferramenta para a análise e estudo do comportamento dos incêndios, são demonstradas várias pesquisas onde o CFD foi utilizado para esta finalidade. O CFD mostrou-se uma ferramenta com potencial para ser utilizada em estudos e pesquisas que visem o aprimoramento de atividades relacionadas à segurança contra incêndio (elaboração e aplicação das normas), combate e perícia em incêndios. Por fim, os requisitos para utilização do CFD são discutidos.

Palavras-chave: Fluidodinâmica Computacional. CFD. Incêndio..

ABSTRACT

Studying fire is a complex task due to the large number of variables involved in the phenomenon and the various physical and chemical processes that interact with each other. In order to study fires, simulation of real events is often not feasible, so an alternative to simulate these events is through computational fluid dynamics, or CFD. Computational fluid dynamics is a science that uses computer resources to simulate events and solve the equations of fluid dynamics, heat transfer and chemical reactions. After studying a specific case and defining the necessary theoretical approach, the data are released in a CFD software, which will compute the data and provide the results for the users. In order to prove the effectiveness of this tool, several studies are shown in which CFD was used for the purpose to study fires. The CFD showed up with a potential tool to be used in studies and research aimed at the improvement of activities related to fire safety engineering (design and implementation of standards), fire fighting and fire investigation. Finally, the requirements to use CFD are discussed.

Keywords: Computational Fluid Dynamics. CFD. Fire.

Este artigo é resultado do trabalho de conclusão do Curso de Comando e Estado Maior, realizado em 2016 na ESAG/UDESC. A pesquisa foi intitulada "Proposta de Utilização da Fluidodinâmica Computacional como Ferramenta para Estudo Científico de Incêndios pelo Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina". O trabalho completo pode ser acessado no portal da Biblioteca CBMSC.

1 INTRODUÇÃO

O estudo científico dos incêndios é uma tarefa complexa e multidisciplinar, envolvendo a análise de diversos processos físicos e químicos que interagem entre si, a saber: combustão, transferência de calor, temperatura de ignição dos materiais e dinâmica dos fluidos (gases resultantes da combustão). Além destes, variáveis externas podem potencializar a intensidade e taxa de propagação do incêndio, por exemplo, a intensidade e direção de ventos e a umidade relativa do ar.

Simular eventos de incêndio em escala real exige muitas vezes a construção de réplicas de ambientes para sua posterior destruição pelo incêndio, atividade que requer muito tempo e investimento por parte dos pesquisadores. Por este motivo, predominam a análise de eventos passados e estudos de caso. Estas análises de casos fortuitos apresentam ao menos duas grandes fontes de incerteza: (1) falta de dados precisos relacionados aos processos físicos e químicos do incêndio, pois não se colocam sensores em uma edificação visando coletar dados em um possível incêndio e; (2) as temperaturas atingidas durante os incêndios podem destruir algumas evidências científicas.

Apesar de existirem teorias matemáticas consolidadas para os processos físicos e químicos relacionados aos incêndios analisados isoladamente, a resolução analítica das equações para o problema de incêndio escala real torna-se impraticável para o pesquisador quando considera-se a quantidade de variáveis envolvidas, suas inter-relações e as geometrias complexas dos ambientes e de seus objetos. Somente computadores podem resolver tais equações, e uma forma consagrada de fazê-lo é por meio da fluidodinâmica computacional.

A finalidade deste artigo será abordar o tema sob o ponto de vista teórico, priorizando sua compreensão, quais suas aplicabilidades, demonstrar estudos realizados com a ferramenta na área de incêndios e, por fim, verificar os requisitos para a utilização da fluidodinâmica computacional.

2 A UTILIZAÇÃO DA FLUIDOCINÂMICA COMPUTACIONAL PARA O ESTUDO DOS INCÊNDIOS

Primeiramente, com o intuito de compreender a fluidodinâmica computacional, serão discutidos os seus conceitos, aplicações, forma de utilização e como se faz a validação dos seus resultados. Após, serão apresentadas pesquisas que foram realizadas utilizando-se a fluidodinâmica computacional como ferramenta de estudo de fenômenos relacionados a incêndios. Por fim, os requisitos para a utilização desta ferramenta serão abordados.

2.1 FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL

A Fluidodinâmica Computacional, amplamente conhecida pelo acrônimo CFD, derivado da expressão Computational Fluid Dynamics, segundo Versteeg e Malalasekera (2007), é uma ferramenta computacional de simulação

utilizada para análise de sistemas que envolvem dinâmica de fluidos, transferência de calor e massa, reações químicas e fenômenos associados a estas disciplinas.

Oh (2012) estabelece que o CFD é uma área emergente da mecânica de fluidos, na qual problemas relacionados ao fluxo dos fluidos são resolvidos e analisados usando métodos computacionais e algoritmos numéricos. Na disciplina de mecânica dos fluidos, existem três meios fundamentais de estudo e solução de problemas, o teórico, o experimental e o CFD. Quanto à categoria teórica, ou analítica, da mecânica dos fluidos, a manipulação, teoria e solução de equações são realizados através de meios tradicionais, utilizando, dentre outros, o papel e caneta. Na categoria experimental, profissionais estudam os fenômenos da fluidodinâmica através de experimentos reais, como por exemplo os túneis de vento, onde são verificados os efeitos que estímulos, formas e perturbações exercem sobre os fluidos. Por final, um crescente número de engenheiros e cientistas estão utilizando o CFD como ferramenta para unir a parte teórica e experimental para simular, em computador, situações reais sem a necessidade de se realizar experimentos práticos. Para isto, é criado um modelo computacional e são gerados os códigos de equações, que representam as leis da física que governam o comportamento das moléculas do fluido no experimento que se pretende simular. Então, os resultados, tais como velocidade, temperatura, pressão, dentre outros, são dispostos e podem ser visualizados em gráficos e/ou animações, tal como um experimento prático real.

Ou seja, a fluidodinâmica computacional é uma ciência que estuda o comportamento dos fluidos com o auxílio da computação. Em outras palavras, pode-se propor que o CFD é um software computacional utilizado para calcular e simular fenômenos de mecânica dos fluidos, podendo ser utilizado também para fenômenos de transferência de calor e reações químicas.

O CFD surgiu na década de 1970, primeiramente como uma opção para combinar a matemática, a física e a ciência da computação para solução de equações específicas. Um limitador para o pleno desenvolvimento da nova técnica era a baixa capacidade computacional da época. Todavia, ao final da década de 1980, quando os computadores possuíam melhores condições de memória e capacidade de processamento, soluções de modelos e cálculos complexos de fluidodinâmica em 2 e 3 dimensões já eram possíveis (BLAZEK, 2015).

Quanto às possíveis aplicações, o CFD pode ser utilizado em uma vasta gama de atividades industriais e não industriais, a saber: aerodinâmica para a aviação e veículos, hidrodinâmica para navios, desempenho de turbinas em usinas elétricas, resfriamento de equipamentos elétrico e eletrônicos, processos de engenharia química, ventilação interna e externa em prédios, engenharia naval, engenharia ambiental, hidrologia, meteorologia, engenharia biomédica, dentre outros (VERSTEEG; MALALASEKERA, 2007).

Constata-se o grande potencial de aplicabilidade da fluidodinâmica computacional. Trata-se de uma ferramenta de alto desempenho, capaz de auxiliar em situações, solucionar problemas e simular cenários nos mais diferentes campos da engenharia.

2.2 METODOLOGIA DA FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL

Com vistas a tornar o CFD uma ferramenta de fácil entendimento e apropriada aos usuários, os códigos de CFD são divididos em três principais elementos: pré-processamento, processamento e pós-processamento (VERSTEEG; MALALASEKERA, 2007). Estes elementos também podem ser considerados como as três etapas a serem seguidas para a solução de um problema através do CFD.

Segundo Porciúcula (2007, p. 34), “toda a atividade envolvida na montagem e elaboração de um problema de CFD antes da etapa de solução numérica é denominada de pré-processamento.” Neste estágio, segundo Versteeg e Malalasekera (2007), será necessário: definir a geometria do objeto/local a ser estudado - domínio; gerar a malha, que é a subdivisão do domínio em pequenos subdomínios ou células; selecionar os fenômenos químicos e físicos que precisam ser modelados; definir as propriedades do fluido; e especificar as condições de contorno onde as células tocam no limite do domínio.

Terminada a fase do pré-processamento, será iniciado o processamento, que nada mais é que do que o início da simulação computacional. Primeiramente, cabe ressaltar que os fenômenos físicos que envolvem a mecânica dos fluidos são complexos e não lineares, logo uma abordagem iterativa torna-se necessária. Os códigos CFD possuem técnicas de discretização capazes de transformar as equações diferenciais complexas da mecânica dos fluidos em códigos adequados para a análise computacional (VERSTEEG; MALALASEKERA, 2007).

Neste sentido, as soluções das equações no computador são realizadas através de modelos numéricos, cuja principal técnica utilizada é o Método dos Elementos Finitos (MEF), sendo a base central dos principais códigos de CFD disponíveis no mercado (ANSYS, PHOENICS, STAR-CD e FDS). Em linhas gerais, na fluidodinâmica computacional, o MEF consiste na resolução numérica das equações diferenciais parciais da mecânica dos fluidos em todas as células do domínio (VERSTEEG; MALALASEKERA, 2007).

Quanto ao terceiro e último estágio do CFD, segundo Ho (2012), o pós-processamento é o estágio final no qual, após o programa CFD calcular todas variáveis propostas na fase do pré-processamento, os resultados serão demonstrados ao usuário. Isto envolve a obtenção dos resultados de velocidade, pressão, densidade e demais informações esperadas em cada célula da malha por fração de tempo, demonstrando os resultados visualmente.

Devido ao avanço da capacidade gráfica computacional, uma grande quantidade de inovações e desenvolvimento tem sido realizados na área do pós-processamento do CFD. Atualmente, segundo Versteeg e Malalasekera (2007), os programas são equipados com notáveis e versáteis ferramentas para visualização dos dados do experimento, tais como: geometria do domínio e exibição da malha; disposição dos vetores; linha e gráficos de contorno coloridos/sombreados; superfícies em 2 e 3 dimensões; rastreamento de partículas; ver o experimento através de vários ângulos, permitindo translações, rotações e ampliações ou reduções; visualização do experimento

através de vídeo; e possibilidade de exportar os dados numéricos produzidos para outros programas.

2.3 VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DO CFD

Quando um experimento é realizado utilizando-se a fluidodinâmica computacional, os dados lançados no programa na fase do pré-processamento, com o intuito de se simular uma situação, são chamados de modelos. Para cada tipo de experiência, são criados diferentes modelos dentro do CFD, dentro dos quais serão consideradas apenas as variáveis que exercem influência no experimento.

Todavia, os resultados obtidos através da realização de um experimento na fluidodinâmica computacional, por si só, não devem ser considerados confiáveis. Os resultados obtidos serão apenas uma estimativa, sem validade científica. Para que os resultados sejam confirmados, existe a necessidade de se validar os mesmos. Kevin Mcgrattan (2015) orienta que a validação de um resultado no CFD envolve 3 etapas: comparação dos resultados da simulação do modelo proposto com um experimento real; qualificar as diferenças do resultado de ambos (simulação e experimento); e decidir se o modelo é apropriado para o caso sugerido. Dizer que um modelo foi validado significa que um modelo foi testado para determinada situação e se mostrou apropriado para tal.

De acordo com Oh (2012), apesar do aumento contínuo da confiabilidade na utilização da fluidodinâmica computacional, não se chegou ao ponto de confiar nos resultados sem que os mesmos sejam validados. Ou seja, a verificação e a validação dos resultados são indispensáveis para garantir sua confiabilidade.

Sabino (2015), desenvolveu uma tese na qual avaliou a ventilação dentro de um chiqueiro utilizando-se do CFD. Após definir e construir o domínio no CFD, gerar a malha, selecionar os fenômenos físico-químicos, definir as propriedades dos fluidos e especificar as condições de contorno, os dados foram processados e foram obtidos diversos resultados. Terminada a fase de simulação no CFD, foi realizado um experimento real no chiqueiro, onde foram instalados sensores e colhidos os dados pertinentes. Na etapa seguinte do estudo, foram confrontados os resultados da simulação e da experiência real. Como os resultados foram semelhantes, o modelo de CFD utilizado por Sabino (2015) para o estudo da ventilação do chiqueiro foi validado.

No exemplo acima, surge uma indagação se é compensador realizar duas experiências para um mesmo fim. Ou seja, à primeira vista, bastaria realizar a experiência real sem a necessidade de se realizar uma simulação computacional. No entanto, no mesmo estudo, Sabino (2015, p. 37) propôs que uma “[...] grande vantagem dos modelos baseados em CFD é permitir a redução do número de repetições dos experimentos e aperfeiçoar instalações a partir da validação dos dados experimentais [...]”. No estudo realizado, após a validação do modelo, a autora simulou diversas disposições de entrada de ar e exaustores no chiqueiro, chegando a uma situação ideal, fato que seria inviável simular em escala real.

A necessidade de validação dos resultados não significa que todas simulações devem ser acompanhadas de um experimento real. Esta situação é sim a mais indicada, entretanto podem existir simulações cujos experimentos reais podem ser difíceis, inviáveis ou impossíveis de se realizar. Nestes casos, de acordo com Versteeg e Malalasekera (2007), o usuário do programa poderá validar seu estudo embasado em experiências prévias, comparar as análises com simulações similares ou comparar com soluções de problemas e experimentos parecidos publicados em literatura pertinente.

2.4 FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL APLICADA À ANÁLISE DE INCÊNDIOS

Oh (2012) afirma que é possível utilizar o CFD para calcular passo a passo as reações químicas, transferência de calor e modelos de turbulência das chamas, sendo viável portanto estudar e prever o comportamento de um incêndio. Para Lazaro et al (2008), a fluidodinâmica computacional tem se mostrado uma poderosa ferramenta no estudo da dinâmica dos incêndios, com capacidade de produzir informações científicas sobre estes eventos em áreas como, design de sistemas de segurança, investigações, treinamento de bombeiros, gerenciamento de emergências e análise de risco.

Segundo Liu, Moser e Sinai (2004), pesquisas sobre a propagação de incêndios tem atraído cada vez mais atenção da comunidade científica, por causa da grande capacidade destrutiva dos mesmos. Para comprovar a eficiência de um modelo de CFD para a previsão do comportamento de um incêndio de duração de 20 minutos em um compartimento, os autores realizaram uma simulação através do software CFD ANSYS, comparando os resultados com um experimento prático similar.

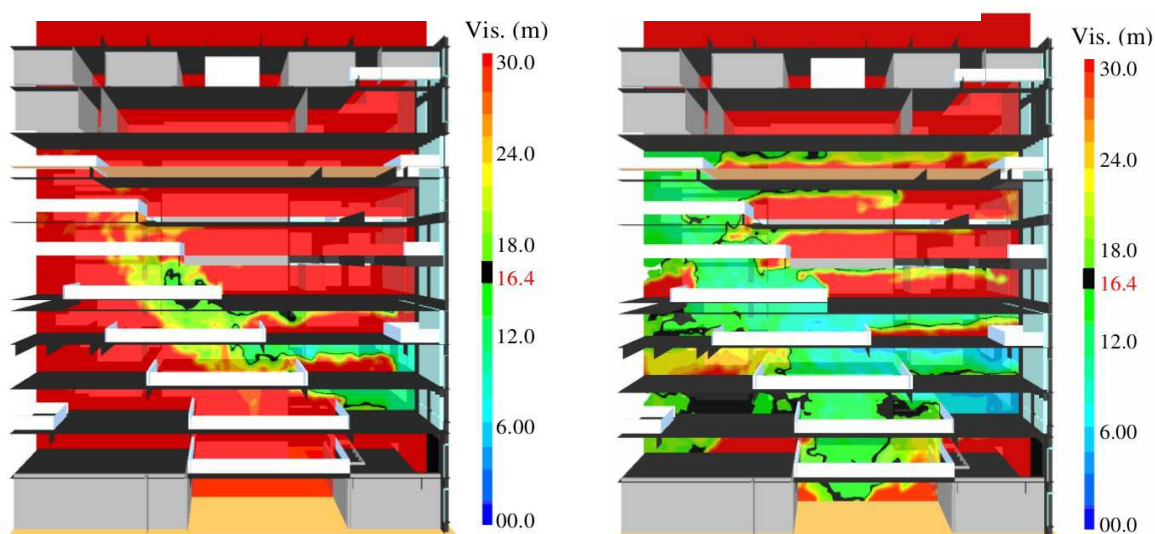
O experimento foi realizado em uma sala de alvenaria com tijolos de 10cm de espessura, com 6 metros de comprimento, 4 metros de largura e 4,5 metros de altura, com uma abertura de 0,65m x 0,65m. Após a simulação e validação dos resultados no CFD, Liu, Moser e Sinai (2004) obtiveram as seguintes conclusões:

- 1) aproximadamente 70% do calor gerado pelo fogo foram depositados nas paredes, teto e chão do compartimento, os outros 30% foram concentrados no ar. Isso mostra que o calor conduzido e armazenado nas paredes não pode ser ignorado em uma simulação, caso contrário os resultados não serão adequados;
- 2) a radiação desempenha um importante papel no processo de transferência de calor. A radiação emanada pelos gases do ambiente é tão significativa quanto à radiação emanada pelas superfícies;
- 3) a distribuição da temperatura no compartimento, especialmente na fase inicial do incêndio, não é relevante para a temperatura externa da parede. Durante os primeiros vinte minutos do incêndio, o calor gerado no cômodo penetrou apenas 3 cm na parede, deixando a temperatura da face exterior dos tijolos de 10cm inalterada, ou seja as condições de contorno externas não influenciaram os resultados do teste;
- 4) o software ANSYS-CFX mostrou-se uma ferramenta útil para modelagem de incêndio.

Guigay (2008) desenvolveu um estudo onde foram demonstrados dois exemplos da utilização do CFD para o estudo dos incêndios: (1) incêndio em um edifício de escritórios com 11 andares, com um átrio interligando o 1º e 9º andares e; (2) um galpão de armazenamento com 7200 m², com dez escotilhas instaladas no teto da edificação para exaustão da fumaça em caso de incêndio.

No primeiro exemplo, o incêndio foi simulado no primeiro andar da edificação. O combustível previsto foi material plástico, com significativa produção de fuligem e monóxido de carbono. A Figura 1 mostra a visibilidade no local após 6 e 8 minutos, respectivamente.

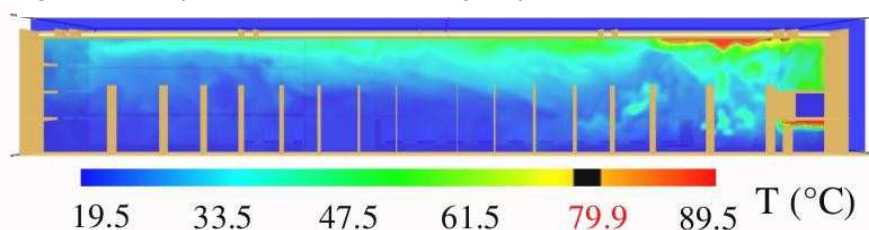
Figura 1 – Visibilidade dentro do edifício após 6 e 8 minutos



Fonte: Guigay (2008, p.126).

Na segunda situação simulada por Guigay (2008), foi considerado que as escotilhas para exaustão da fumaça foram abertas 5 minutos após o início do incêndio, e todas as portas da edificação permaneceram abertas durante a simulação. O local de início do fogo e os materiais combustíveis foram escolhidos de forma a possibilitar uma grande produção de fumaça e a sua propagação rápida. Na Figura 2 é possível verificar a distribuição da temperatura no ambiente 5 minutos após o início do incêndio.

Figura 2 – Temperatura dentro da edificação após 5 minutos.



Fonte: Guigay (2008, p.128).

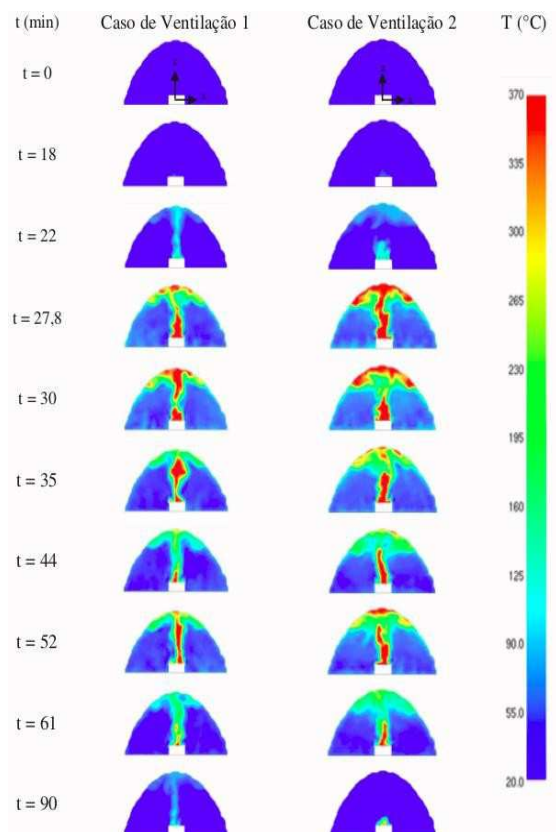
A temperatura manteve-se aceitável durante toda a simulação, com exceção de zonas próximas ao foco de incêndio. A simulação no CFD demonstrou que as escotilhas para exaustão de fumaça foram úteis para manter a temperatura interna aceitável para a entrada dos bombeiros para o combate direto ao fogo (GUIGAY, 2008).

Carvalho (2013), estudou a aplicação do CFD para análise da segurança de túneis rodoviários sob incêndio. A autora aborda o tema através do estudo de caso de um incêndio simulado em um veículo médio sedam no Túnel Rebouças, na cidade do Rio de Janeiro. Foram analisados, dentre outros, a evolução da temperatura por convecção e a concentração da fumaça em função do tempo no interior do túnel. As análises foram realizadas considerando duas formas diferentes de ventilação: (1) ventilação nula; e (2) ventilação forçada, através de ventiladores instalados no teto do túnel, com velocidade constante de 3,14 m/s. O software CFD utilizado para a simulação foi o FDS (Fire Dynamics Simulator).

A Figura 3 demonstra os resultados obtidos na análise da variação da temperatura por convecção, com perspectiva frontal. Conforme esperado, os fluidos com maiores temperaturas encontram-se na parte central superior do túnel. Na Figura 4 verifica-se a concentração de fumaça no teto do túnel, com os dois tipos de ventilação. Constata-se que “a fumaça está concentrada somente na região superior do túnel, exceto na região onde ocorre o incêndio. Em relação aos diferentes casos, percebe-se que para o segundo, a fumaça ocupa maior área da seção transversal” (CARVALHO, 2013, p. 44).

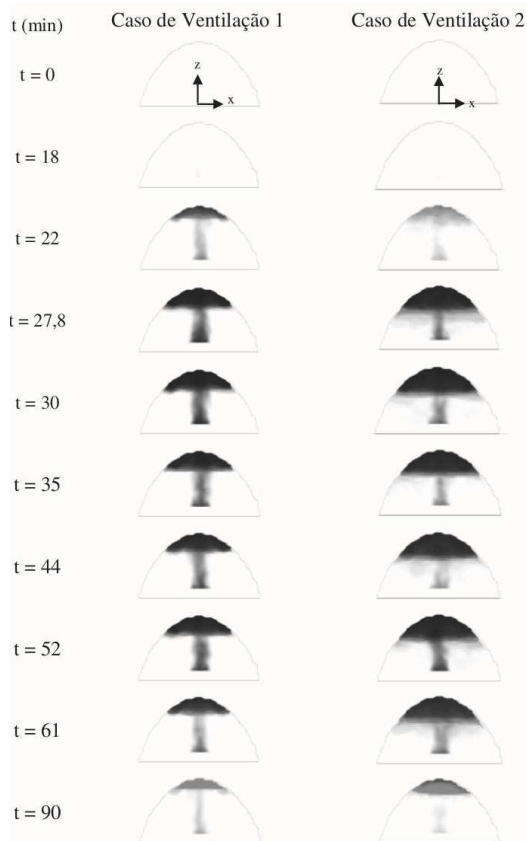
Apesar do senso comum estabelecer que a ventilação em um túnel rodoviário seria benéfica para a dispersão dos gases e diminuição da temperatura em caso de incêndio, não foram essas as conclusões da simulação. Sobre esta situação, Hurley (2016) faz um importante apontamento, citando que em caso de incêndios em túneis rodoviários, a velocidade da ventilação forçada deve ser estudada e definida de acordo com as características de cada túnel, pois o dimensionamento incorreto do sistema de ventilação poderia potencializar o sinistro, ao invés de amenizar seus danos. A aplicação do CFD para definição destes parâmetros tem obtido excelentes resultados.

Figura 3 – Evolução da temperatura em função do tempo, vista frontal.



Fonte: Carvalho (2013, p.37).

Figura 4 – Concentração dos gases em função do tempo, vista frontal.

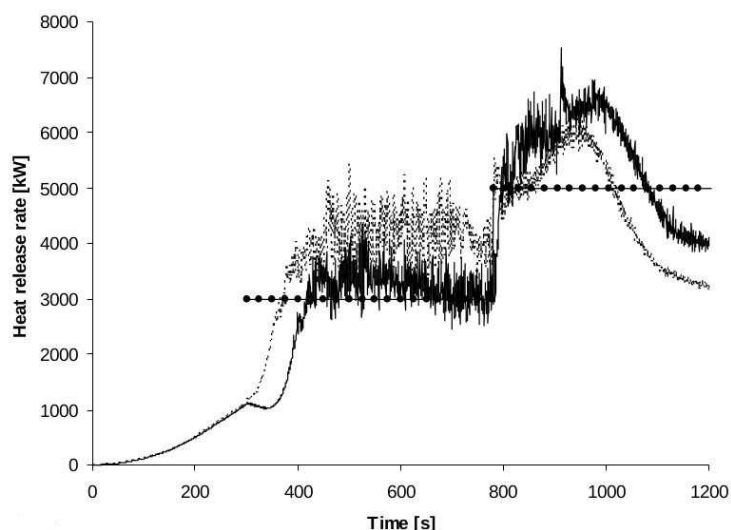


Fonte: Carvalho (2013, p.42).

Lazaro et al (2008) realizou um estudo científico com o objetivo de avaliar a capacidade da fluidodinâmica computacional para prever um flashover em um incêndio confinado. Para validação do modelo computacional utilizado, foram utilizados dados de um experimento real de incêndio chamado de Dalmarnock, realizado pela universidade de Edimburgo, em um edifício na cidade de Glasgow, Escócia. Neste experimento, um incêndio foi gerado em um apartamento, no quarto pavimento do condomínio, onde foram colhidos e registrados diversos dados. Dentre estes, destaca-se que o flashover foi observado após 300 segundos do início do incêndio e uma janela foi quebrada propositalmente aos 780 segundos.

Foi utilizado o software FDS para a simulação computacional. Foram testadas duas malhas diferentes, uma com células cúbicas de 10 x 10 x 10 cm e outra de 5 x 5 x 5 cm. A Figura 22 demonstra os resultados da taxa de calor liberado no ambiente (heat release rate) durante a simulação, onde a linha em negrito represente a malha com células de 5 cm e a linha pontilhada representa a malha com células de 10 cm (LAZARO et al, 2008).

Figura 5 – Taxa de liberação de calor simulada no CFD.



Fonte: Lazaro et al (2008, p. 1383).

A comparação entre os dados experimentais e os resultados do FDS (Figura 5) são muito semelhantes com relação ao tempo em que o flashover aconteceu (300 segundos) e a resposta do incêndio à abertura da janela aos 780 segundos, quando o incêndio desenvolveu-se completamente, com a entrada de oxigênio no ambiente. Comprovou-se a capacidade deste software para a simulação e o estudo da evolução de incêndios confinados (LAZARO et al, 2008).

Guigay et al (2009), desenvolveu uma pesquisa com o objetivo de mostrar como a fluidodinâmica computacional pode se integrar com os procedimentos práticos adotados pelas equipes de resposta ao chegar em um local de incêndio, e auxiliar estas equipes na tomada de decisões em situações de *backdraft*. O FDS foi utilizado para simular uma situação de *backdraft* em uma moradia com três quartos.

A simulação inicia considerando a chegada dos bombeiros no local e a detecção de anormalidade no ambiente, sugerindo uma possível situação de *backdraft*. A primeira ação dos bombeiros foi abrir a porta cuidadosamente, permanecendo agachados e ao lado da abertura, procedimento operacional padrão na Suécia, país que foi utilizado como referência das técnicas utilizadas para a situação pelas equipes de resposta. A partir de então, o autor pesquisou seis cenários de atuação dos bombeiros: nenhuma ação é tomada após a abertura da porta; os bombeiros precisam entrar no local para resgatar uma pessoa, então dois blocos são colocados na porta, simulando a influência que dois bombeiros podem causar no fluxo de ar dentro do ambiente; realiza-se uma ventilação natural no local, abrindo a janela dos fundos; é realizada uma ventilação por pressão positiva, utilizando-se para isso um ventilador na porta principal e abertura da janela dos fundos; a utilização de um ventilador na porta principal sem a abertura da janela dos fundos; utilização da técnica 3DWF.

As conclusões de Guigay et al (2009) foram as seguintes:

1) a ventilação por pressão positiva pode ser utilizada para a eliminação dos gases de um ambiente confinado. O risco de ignição aumenta

bastante nos primeiros instantes, mas diminui rapidamente. É importante que se tenha convicção de que o caminho entre as duas aberturas esteja desobstruído, caso contrário os riscos de ignição permanecerão altos por um longo período;

2) comprovou-se que o uso da ventilação natural para a eliminação dos gases do ambiente é eficaz, porém o tempo para eliminar os gases inflamáveis do local é maior que o tempo no cenário onde foi utilizada a ventilação forçada;

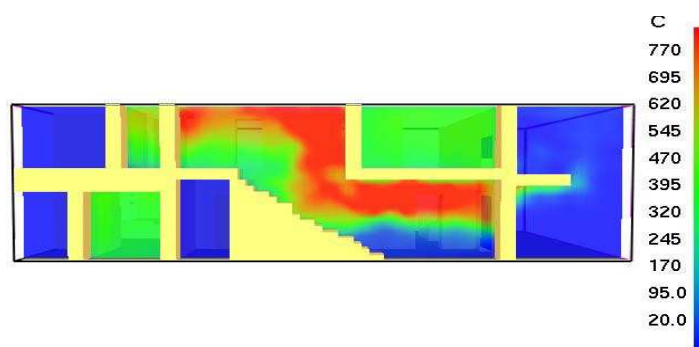
3) a técnica de utilização de jatos de água neblinada também mostrou-se efetiva na diluição dos gases inflamáveis, além de contribuir para a diminuição da temperatura do ambiente;

4) o CFD mostrou-se eficiente para avaliar a efetividade de diferentes técnicas de combate a incêndio em situações de backdraft, sendo útil para recomendações e treinamentos nesta área.

A fluidodinâmica computacional também pode ser utilizada para o estudo de incêndios em vegetação. Mell et al (2007) utilizou o software WFDS, que é uma extensão para vegetação do programa FDS, para simular 16 configurações de incêndio em vegetação rasteira, com quatro diferentes linhas de ignição e quatro diferentes velocidades do vento. Os resultados comparados entre os experimentos práticos reais e as simulações foram satisfatórios. Foi possível prever no CFD a posição da frente principal ou cabeça do incêndio, em função do tempo, velocidade do vento e tamanho do foco inicial. O WFDS mostrou-se uma excelente ferramenta para estudo do comportamento de incêndios em vegetação.

Madrzykowski, Forney e Walton (2002), utilizaram o programa FDS para reconstituir e investigar um incêndio ocorrido no ano de 1999, no estado de Iowa, nos Estados Unidos. O incêndio ocorreu em uma residência de dois pavimentos e vitimou três crianças e três bombeiros. O incêndio iniciou no fogão da cozinha, que ficava no primeiro pavimento. Os resultados da investigação comprovaram que o evento crítico foi a ocorrência do *flashover* na cozinha, que ocorreu após 491 segundos após a ignição. Após 60 segundos da ocorrência do *flashover*, as chamas e gases quentes se espalharam rapidamente para outros cômodos. A temperatura dos gases aumentou de 200° C/300° C para mais de 600° C em vários locais da edificação, em menos de dois minutos.

Figura 6 – Demonstrativo da temperatura interna na residência, 605 segundos após o início do incêndio e 114 segundos após o *flashover*



Time: 605.0

Fonte: Madrzykowski, Forney e Walton (2002, p. 22).

Ignis: revista técnico científica do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, Florianópolis, v. 2, n. 1, maio/out. 2017.

Os três bombeiros, que perderam suas vidas no incêndio, estavam dentro da edificação quando houve o *flashover* na cozinha. O aumento súbito da temperatura em várias partes da edificação, após o *flashover*, ocasionou a ignição de vários outros focos de incêndio em outros cômodos da residência. Estas mudanças repentinas foram determinantes para encerrar os profissionais, que sucumbiram aos efeitos extremos do ambiente interno (MADRZYKOWSKI; FORNEY; WALTON, 2002).

2.5 REQUISITOS PARA UTILIZAÇÃO DE UM SOFTWARE CFD

Para a utilização da fluidodinâmica computacional, basicamente são necessários três itens: um programa, um computador e um operador. Uma excelente opção de software de CFD é o FDS – *Fire Dynamics Simulator*, desenvolvido pela NIST, dos Estados Unidos da América. O programa FDS é indicado para análise de modelos de incêndio, envolvendo a combustão, transferência de calor e o comportamento dos gases (MCGRATTAN, 2016). Para o estudo de incêndios, o FDS pode ser considerado uma excelente opção de software CFD, possuindo uma boa reputação internacional, além de ser um software livre.

O programa FDS pode ser obtido no site oficial do desenvolvedor: <https://pages.nist.gov/fds-smv>. Neste site, é possível obter também todos os manuais técnicos do programa, manuais de instalação e utilização, bem como um guia com vários estudos já validados no FDS.

Segundo McGrattan (2016), os requisitos computacionais para rodar o FDS são relativos, dependendo do tipo da simulação, número de variáveis e quantidade de células dentro do domínio. O FDS pode ser instalado nos sistemas operacionais Windows, Linux ou MAC OS X. É recomendável que o computador possua um bom processador, no mínimo 4 GB de memória RAM e bastante espaço em HD. Quanto maior a capacidade do processador, menor será o tempo de simulação, e simples simulações costumam gerar mais de 1 GB de dados que serão armazenados no HD.

Podem haver casos em que seja necessário utilizar vários computadores em rede (cluster) para realizar uma simulação, devido à complexidade do problema. Todavia, em muitas situações rotineiras, um notebook comercial é suficiente para rodar uma simulação dentro do FDS (MCGRATTAN, 2016). Ou seja, não são necessários investimentos significativos em computadores e softwares para se utilizar a fluidodinâmica computacional.

Segundo Versteeg e Malalasekera (2007), além de considerar a obtenção de hardwares, softwares e licenças, deve-se ter consciência que é necessário um profissional capacitado para operar e entender os resultados do CFD. Para atuar na fluidodinâmica computacional, o operador precisa possuir várias habilidades específicas, dentre estas destacam-se os conhecimentos sobre a física, química e matemática envolvidas no problema, além da sua própria experiência na utilização do programa. Sem estas habilidades, é bem improvável que o profissional consiga extrair do CFD os melhores resultados.

3 CONCLUSÃO

A fluidodinâmica computacional é uma ciência que utiliza recursos computacionais para simular eventos e solucionar equações da mecânica dos fluidos, transferência de calor e reações químicas. Após o estudo de um caso específico e a definição da abordagem teórica necessária, os dados são lançados em um software de CFD, o qual realizará o processamento dos mesmos e fornecerá os resultados ao pesquisador. Os resultados podem ser demonstrados através de gráficos, tabelas, imagens e animações.

Esta ciência mostrou-se uma excelente ferramenta para o estudo dos incêndios. Comprovou-se sua capacidade de analisar os mais variados aspectos deste fenômeno, tais como: comportamento e propagação de incêndios estruturais e florestais; estudo de fenômenos específicos dos incêndios confinados, tais como *backdraft* e *flashover*; transferência de calor; as temperaturas do ambiente, fogo e gases; e o comportamento da fumaça em incêndios.

Através destas possibilidades, a fluidodinâmica computacional tem potencial para ser utilizada em estudos e pesquisas que visem o aprimoramento de atividades relacionadas à segurança contra incêndio (elaboração e aplicação das normas), combate e perícia em incêndios. Foram pesquisados e expostos neste trabalho, estudos realizados através do uso de CFD, comprovando sua efetividade e capacidade em contribuir nestas áreas.

Devido ao avanço da capacidade de processamento e armazenamento dos computadores atuais, não são necessários supercomputadores ou grandes laboratórios para se realizar uma simulação, ou seja, não é necessário a aquisição de computadores específicos para esta finalidade. Outro aspecto importante é a existência de softwares livres de CFD, os quais possuem desempenho técnico satisfatório a custo zero.

A utilização efetiva da fluidodinâmica computacional exige dos usuário que operarão o programa conhecimentos significativos das teorias do problema a ser estudado, além do conhecimento e experiência na utilização do programa. Resultados confiáveis dependerão destas variáveis e também da validação dos resultados, que podem ser realizados através de experimentos práticos e busca de modelos semelhantes já validados pela literatura. Ou seja, operar um software de CFD e obter resultados confiáveis não é uma tarefa simples, pois exigirá do operador ou operadores bastante pesquisa, dedicação e empenho na atividade.

REFERÊNCIAS

BLAZEK, Jiri. **Computational Fluid Dynamics: Principles and Applications**. 3. ed. Kidlington: Elsevier, 2015. 447 p.

CARVALHO, Julia Epichin Cheroto. **Aplicação de fluidodinâmica computacional para análise de segurança de túneis rodoviários sob incêndio**. 2013. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <http://www.coc.ufrj.br/index.php/component/docman/cat_view/1-mestrado/117-2013?start=15>. Acesso em: 18 abr. 2016.

GUIGAY, Georges. **A CFD and experimental investigation of under-ventilated compartment fires**. 2008. 230 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engineering And Natural Sciences, Department Of Civil And Environmental Engineering, University Of Iceland, Reykjavik, 2008. Disponível em: <http://skemman.is/stream/get/1946/3439/10659/1/Thesis_Georges_Guigay_fixed.pdf> . Acesso em: 18 abr. 2016.

GUIGAY, Georges et al. The Use of CFD Calculations to Evaluate Fire-Fighting Tactics in a Possible Backdraft Situation. **Fire Technology**. [s. L.], p. 287-311. June, 2009.

LAZARO, Mariano et al. Numerical Simulation of Fire Growth, Transition to Flashover, and Post-Flashover Dynamics in the Dalmarnock Fire Test. In: FIRE SAFETY SCIENCE, 9., 2008, Reykjavik, Islândia. **Proceedings of the Ninth International Symposium**. Reykjavik: International Association For Fire Safety Science, 2008. v. 1, p. 1377 - 1388.

HURLEY, Morgan J. (Ed.). **SFPE Handbook of Fire Protection Engineering**. 5. ed. New York: Springer, 2016. 3493 p.

KEVIN MCGRATTAN. National Institute Of Standards And Technology - NIST. **Fire Dynamics Simulator: User's Guide**. 2016. Disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/0B-W-dkXwdHWNHk5aE9yV0F6TE0/view>>. Acesso em: 16 abr. 2016.

LIU, Yunlong; MOSER, Alfred; SINAI, Yehuda. Comparison of a CFD fire model against a ventilated fire experiment in an enclosure. **International Journal Of Ventilation**. [s. L.], p. 169-181. September, 2004.

MADRZYKOWSKI, Daniel; FORNEY, Glenn P.; WALTON, William D. **NISTIR 6854: Simulation of the Dynamics of a Fire in a Two-Story Duplex – Iowa**, December 22, 1999. Gaithersburg: National Institute Of Standards And Technology, 2002. 24 p.

MELL, William et al. A physics-based approach to modelling grassland fires. **International Journal Of Wildland Fire**. [s. L.], p. 1-22. February, 2007.

Ignis: revista técnico científica do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, Florianópolis, v. 2, n. 1, maio/out. 2017.

Disponível em: <<http://www.publish.csiro.au/paper/WF06002.htm>>. Acesso em: 23 maio 2016.

OH, Hyoung Woo (Ed.). **Applied Computational Fluid Dynamics**. Rijeka: Intech, 2012. 344 p.

PORCIÚNCULA, Cleiton Bittencourt. **Simulação Fluidodinâmica Computacional de Processos de Separação por Membranas**. 2007. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Fenômenos de Transporte e Operações Unitárias, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/11808>>. Acesso em: 05 abr. 2016.

SABINO, Luana Araújo. **Estudos da distribuição da temperatura em instalações para a criação de fêmeas suínas em fase de gestação com o uso da fluidodinâmica computacional (CFD)**. 2015. 89 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Centro Tecnológico, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015. Disponível em: <www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000953807>. Acesso em: 05 abr. 2016.

VERSTEEG, H. K.; MALALASEKERA, W. **An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method**. 2. ed. England: Pearson Education Limited, 2007. 503 p.