# SISTEMA PARA REALIZAÇÃO DE TESTES E ENSAIOS DE INCÊNDIO EM ESCALA REAL

BRAGA, George Cajaty Barbosa[1], HEJTMANEK, Petr[2], BEZERRA, Luciano Mendes[3]

[1]Corpo de Bombeiros Militar do DF, Pesquisador, Doutor, e-mail: george.braga@gmail.com
[2]Universidade de Brasília, Aluno, Doutorando, e-mail: hejtmpet@fsv.cvut.cz
[3]Universidade de Brasília, Professor, Doutor, e-mail: lmbz@unb.br

## RESUMO

O incêndio sempre foi um risco muito grande para as construções. Além de fogo poder gerar perdas humanas e materiais no interior das edificações, estas também podem vir a sofrer danos estruturais, dependendo da quantidade de calor a que foram submetidas. Com vistas a analisar o comportamento do fogo e sua influência no ambiente estudado, o Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal construiu, com o apoio da FINEP/MCT, um sistema para realização de testes e ensaios de incêndio em um ou mais compartimentos em escala real. Diferente de um forno padrão, este sistema consiste em contêineres marítimos, onde podem ser realizadas queimas de materiais combustíveis classe A, seja uma quantidade padrão de madeira, seja de mobiliário normalmente encontrando em ambientes, simulando assim uma situação real de incêndio, inclusive de *flashover*. O ambiente e os materiais contidos neste espaço podem ter a temperatura monitorada por diversos sensores termopares e câmera térmica, além de ser possível a medição do fluxo de calor total e do irradiado em vários lugares ao mesmo tempo. Inicialmente pensado para a realização de testes e ensaios voltados para o combate e investigação de incêndio, o sistema tem sido também utilizado para verificar a reação ao fogo de materiais estruturais. Neste trabalho apresenta-se o sistema e como são realizadas as medições. Além disso, são mostrados alguns resultados da utilização do sistema para ensaio de incêndio real.

**Palavras chave:** Ciência do Fogo, Incêndio; Propagação do fogo.

## ABSTRACT

I fire has always been a risk for buildings. Fire can not only kill people and damage the interior of buildings, but also create a structural damage, depending on the heat. With the support of FINEP/MCT, the Federal District Fire Department built a system to study the fire behavior and its influence on the building in real scale tests. Different from a standard oven, this system is built with containers and can burn ordinary combustible (class A) materials easily found in a regular house or office to simulate a real fire situation, including flashovers. The environment and materials' temperature can be monitored using a large number of thermocouple sensors and thermal image cameras. The environment can also be set up to monitor total and irradiated heat flux gauges. Although the system was first planned for firefighting and fire investigation, it has also been used to test the fire reaction of structural materials. This article describes this system and how the monitoring is done.

**Keywords:** Fire Science, Fire, Fire propagation.

# 1. INTRODUÇÃO

O incêndio sempre foi um risco muito grande para as construções. Além de fogo poder gerar perdas humanas e materiais no interior das edificações, estas também podem vir a sofrer danos estruturais, dependendo da quantidade de calor a que foram submetidas. Por conta disso, a pesquisa em comportamento do fogo, e em especial a realização padronizados de incêndios, tem uma grande importância na definição de materiais e estruturas a serem utilizados numa construção.

Desde o início, buscou-se a criação de ensaios padronizados de resistência ao fogo para caracterização dos elementos estruturais e de acabamento. Mas a utilização apenas desses tipos de ensaios padronizados, onde é utilizada uma curva padrão tempo-temperatura, e são testados elementos de forma isolada, começou a receber algumas críticas nos últimos anos. Margaret Law [Law, 1981], já em 1981, discutiu alguns pontos importantes, como o fato da curva padrão tempo-temperatura não representar um incêndio real em um prédio.

Outros trabalhos, em especial alguns realizados no NIST ([Grosshandler, 2002] e [Almandet al., 2004]), mostraram algumas dificuldades existentes com os ensaios padrões utilizando forno, bem como algumas deficiências dos métodos que estipulam a exposição padrão tempo-temperatura que, apesar de permitirem uma boa comparação entre o desempenho dos componentes estruturais, não mostram o desempenho numa situação de incêndio real. Vários outros trabalhos vem sendo realizados nas últimas décadas, mostrando o quanto este assunto ainda merece ser discutido. Mais recentemente, Bisby e outros [Bisbyet al., 2013] publicaram um artigo mostrando o quanto este assunto ainda está em voga. Neste artigo, Bisby faz uma revisão dos testes de incêndio em tamanho real não padronizados e apresenta as deficiências e os caminhos que as pesquisas na área de engenharia de proteção contra incêndio deveriam tomar, em especial na área de estruturas. Ele também sugere diversos tópicos que deveriam ser mais pesquisados, entre eles: efeito da deformação estrutural na compartimentação e propagação do fogo; comportamento da fase de resfriamento e capacidade residual após o incêndio; causa, prevenção e impacto do *spalling* explosivo; e desenvolvimento de dados que são possíveis de utilização na calibração, validação e verificação de modelos.

Com vistas a responder alguns desses problemas, em especial em analisar o comportamento do fogo e sua influência no ambiente, o Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF) construiu, com o apoio da FINEP/MCT, um sistema para realização de testes e ensaios de incêndio, em escala real, em um ou mais compartimentos. Diferente de um forno padrão, este sistema consiste em contêineres marítimos, onde podem ser realizadas queimas de materiais combustíveis classe A, visando análise da reação dos materiais ao calor quando submetidos a um incêndio real.

## 2. DESENVOLVIMENTO

A criação de um sistema que possibilite a realização de ensaios reais de incêndio partiu da premissa de utilizar materiais que fossem de fácil adaptação e durabilidade. Como os sistemas feitos de contêineres marítimos são de fácil aquisição, além de permitirem uma grande adaptabilidade e possuírem grande durabilidade, esse foi o material escolhido para ser utilizado. Além desses fatores, os contêineres são relativamente baratos.

### 2.1 Sistema de contêineres

O sistema existente no CBMDF é feito com quatro contêineres marítimos padrões, sendo dois de 12 metros e dois com 6 metros de comprimento. Um dos contêineres de 12 metros encontra se isolado e os outros três formam um sistema integrado e interligado por portas de 90 cm de largura (Figura 1). Os contêineres foram adquiridos sem nenhuma diferença dos que são utilizados para transporte de materiais, e todo o sistema foi inteiramente adaptado pelo próprio CBMDF. Entre as mudanças existentes, está a criação de portas e janelas, bem com a integração entre três deles. Desta forma, podem-se simular diversas situações de incêndio, inclusive com controle da ventilação no ambiente, por exemplo.

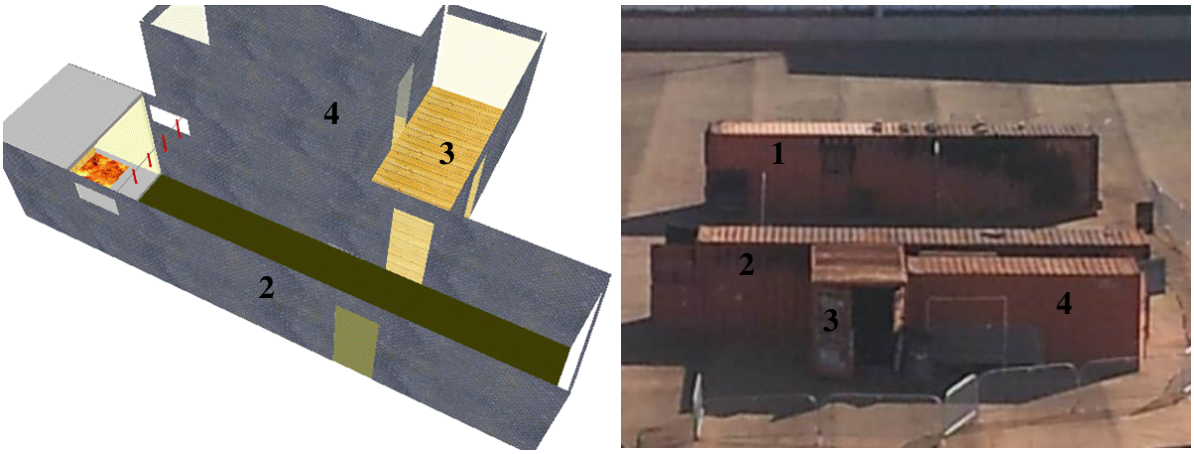



Figura 1 - Sistema integrado para teste e ensaio de incêndio

Este sistema vem sendo utilizado intensivamente para realização de pesquisas e desenvolvimento de procedimentos nas áreas de combate e investigação de incêndio, pois permite que sejam criados incêndios reais, mas em um ambiente controlado. Além disso, nos últimos anos, o sistema vem sendo adaptado para utilização na área de prevenção, em especial para estudos da reação de materiais ao calor.

Desta forma, tem-se um ambiente onde é possível colocar fogo real e analisar o seu comportamento em situações que um forno padrão não consegue simular, como um ambiente

com mudança nas condições de ventilação, situação de generalização de incêndio (*flashover*), ou mesmo em situações onde o combate a incêndio é realizado pelo Corpo de Bombeiros.

**2.2 Sistema de medição**

Para que o sistema possa ser utilizado para pesquisa em prevenção, combate e investigação de incêndio, é necessária a utilização de sensores e medidores. O sistema existe no CBMDF tem condições de medir temperatura e fluxo de calor, além da utilização de câmeras normais e térmicas para o acompanhamento dos ensaios de incêndio.

As medições de temperatura no ambiente são realizadas com sensores termopar tipo k de alta temperatura (até 1.335 ºC), de desconexão rápida e proteção Super OMEGACLAD® XL (Figura **2**). Em geral, são colocados 20 sensores de temperatura em um contêiner de 12 metros, mas existe a capacidade de medir mais de 64 pontos ao mesmo tempo. Além das hastes, podem ser utilizados fios termopares tipo k com isolamento de PVC, para pontos de mais baixa temperatura e, com isolamento em fibra de vidro, para pontos com temperaturas mais altas.

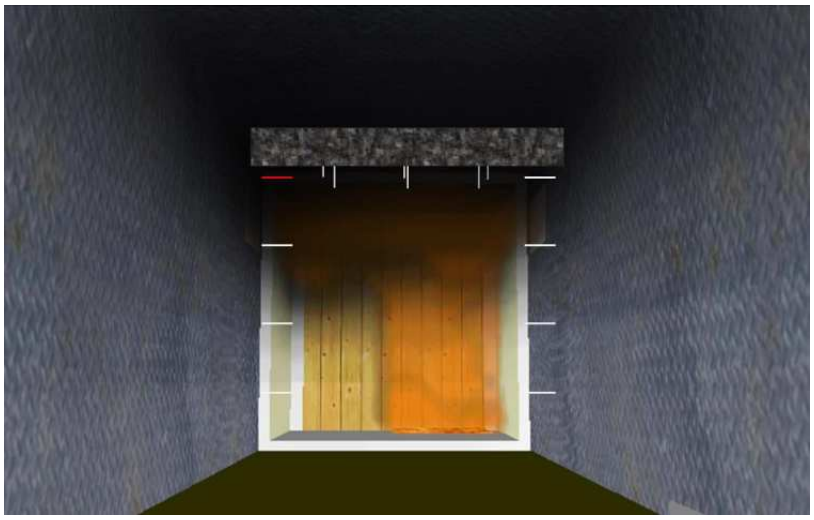


Figura 2 - Representação gráfica dos sensores de temperatura (hastes brancas e vemelhas)

As medições de fluxo de calor são realizadas com a utilização de medidores de calor total e irradiado do tipo Schmidt-Boelter. Os medidores são resfriados a água e permitem a medição de fluxos de calor de até 100 kW/m$^2$.

Além desses dispositivos, é possível agregar ao sistema outros tipos de medidores, como os de pressão diferencial, que permitem também serem usados para medir a velocidade do ar, e balanças, para medir a perda de massa quando da queima de algum material.

## 3. RESULTADOS

Quando da realização de ensaios de incêndio dentro do contêiner, foi possível verificar o comportamento da curva de temperatura em diversas situações de incêndio real. No gráfico abaixo, é possível ver o comportamento da temperatura quando de um incêndio feito com apenas material classe A (madeirite). Inicialmente, o incêndio tinha apenas uma área de aproximadamente 1,4 $m^2$ de abertura para entrada de ar. Quando da abertura das portas, aumentou-se a área total das aberturas para algo em torno de 4,2 $m^2$. Isso fez com que a temperatura, estável na faixa de 500º C a 600º C nos sensores 1, aumentasse rapidamente para valores entre 700º C e 800º C, um aumento de quase 200º C em aproximadamente 1 min. Considerando que a partir dos 300 segundos os bombeiros começaram a realizar atividades de retirada de calor da camada de fumaça com o uso do jato atomizado próximo aos sensores 3, é possível verificar uma flutuação na temperatura perto desses sensores A, que apresentam queda de temperatura a partir dos 600 segundos, possivelmente relacionada ao combate realizado pelos bombeiros no foco do incêndio, afetando não apenas a temperatura próximo aos sensores 3, mas também aos sensores 1.

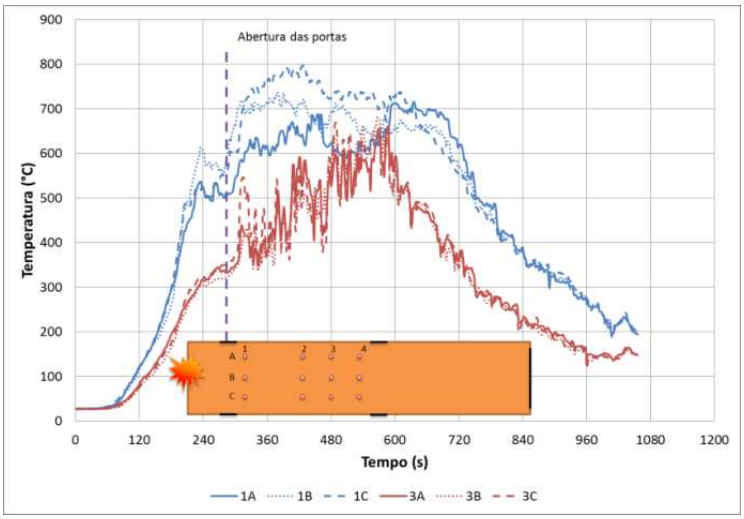



Figura 3 - Medição de temperatura em um ensaio de incêndio real dentro do contêiner

O comportamento da temperatura durante outro ensaio real no contêiner, onde foi simulado um incêndio em local confinado [Braga et al., 2013], pode ser visto na figura a seguir (Figura **4**). O fogo foi composto do mesmo material e quantidade usada no ensaio anterior e, após 7 min do seu início, todas as portas foram fechadas. Depois de passado 1 min, os bombeiros efetuaram as técnicas de acesso ao ambiente por uma porta lateral que permitia o acesso do contêiner menor para o maior. Desconsiderando o combate realizado pelo bombeiro a partir dos 480 segundos (8 minutos), pode-se verificar quão diferente foi o comportamento do

incêndio quando comparado ao teste anterior. Neste caso, ao invés de se aumentar a abertura no local, o ambiente foi totalmente fechado após 7 min, o incêndio atingiu temperaturas de no máximo 600$^{o}$ C, a mesma obtida no outro ensaio (Figura **3**), quando as condições de abertura eram semelhantes. Por outro lado, em nenhum momento a temperatura chegou nem perto dos 800$^{o}$ C, ocorridos após a abertura da porta no outro ensaio, pois as condições de ventilação não se repetiram.

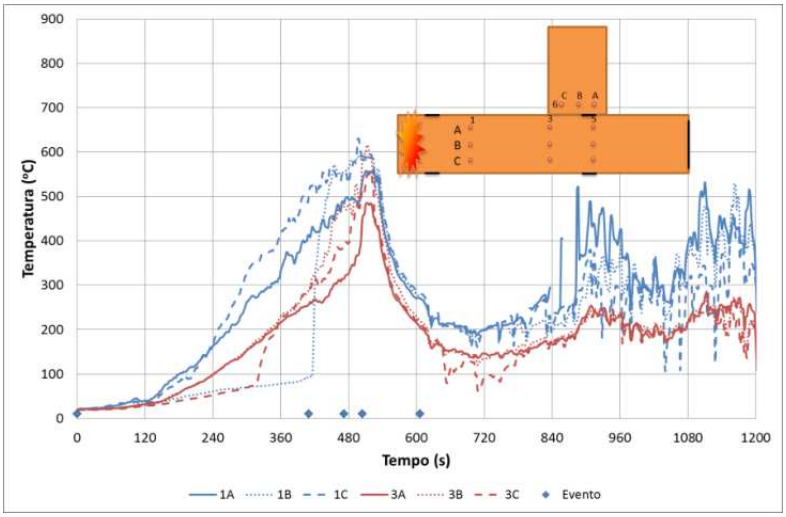



Figura 4 - Medição de temperatura em um ensaio de incêndio real em ambiente confinado

Outro exemplo da importância da realização de ensaios reais de incêndio para verificação do comportamento do fogo em estruturas pode ser visto nos testes realizados para avaliar o comportamento de *decks* de madeira quando submetidos a um incêndio. Neste caso, foi montada uma estrutura do lado de fora do contêiner para submeter *decks* de diversos tipos de madeira à radiação térmica proveniente de um incêndio de dentro do contêiner. O incêndio foi realizado por meio da queima de 300 kg de madeira próximo a porta onde o *deck* estava montado. Foi realizada a medição de temperatura no ambiente, como forma de monitorar a queima, bem como foram colocados cinco sensores no próprio *deck*, e mais 12 em um madeirite colocado na lateral externa do contêiner, para simular uma parede de uma casa próxima ao *deck*. Além da medição de temperatura, foram utilizados 2 sensores de fluxo de calor para medir a radiação térmica total proveniente da queima de dentro do contêiner e um outro perpendicular ao contêiner, para medir a radiação térmica proveniente da queima do próprio *deck*, caso isso acontecesse.

Quando a construção foi realizada com as madeiras no sentido do maior comprimento, paralelo ao contêiner (ver Figura **5**), a propagação foi menor do que quando o *deck* possuía as

madeiras no sentido do menor comprimento, perpendicular ao contêiner. Esse comportamento provavelmente teve uma grande influência das condições do incêndio e do ambiente, incluindo a o comportamento do fogo, que é bem diferente de um forno padrão, por exemplo, e de ventilação em todo o *deck*, bem ;distinto de um ensaio em tamanho reduzido, com o uso, por exemplo, de um painel radiante.



Figura 5 - Ensaio de incêndio em deck de madeira (pinus)

## 4. CONCLUSÃO

É consolidado que a utilização de ensaio padrões de incêndio propicia uma melhor comparação entre diversos elementos construtivos, pois eles são submetidos ao mesmo tipo de teste. Mas, cada vez mais, verifica-se a necessidade de utilizar ensaios que simulem uma situação de incêndio real para uma melhor verificação do comportamento ao fogo dos elementos estruturais e construtivos.

A utilização de um sistema como o contêiner permite a realização de diversos ensaios reais de incêndio, submetendo os elementos a diversas situações de incêndio diferentes dos obtidos com os ensaios padrões, permitindo verificar como esses elementos, de fato, se comportariam quando submetidos a um incêndio real.

## 5. REFERÊNCIAS

ALMAND K, PHAN L, MCALLISTER T., STARNES M., GROSS J., ***NISTIR 7133: SFPE Workshop for Development of a National R&D Roadmap for Structural Fire Safety Design and Retrofit of Structures***. *NationalInstituteof Standards and Technology*, Gaithersburg, 2004.

BRAGA, G.C.B., ROSA, L.M., LANDIM, H.R.O., SIGNALE, V., LISBOA NETO, J., SALAZAR, H.F., **A pesquisa como ferramenta para a melhoria do combate a incêndio**, Anais das 3as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos, Coimbra, Portugal, 2013

GROSSHANDLER W.L., **NISTIR 6890 –*Fire Resistance Determination and Performance Prediction Research Needs Workshop***.*National Institute of Standards and Technology*, Gaithersburg, 2002.

LAW M., ***Designing fire safety for steel – recent work***.*Proceedings of the ASCE Spring Convention. American Society of Civil Engineers*, NovaYork, 11–15 maio 1981

BISBYL., GALES J., MALUK C.***A contemporary review of large-scale non-standard structural fire testing***, *Fire Science Reviews* 2013, 2:1