

# CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL DEPARTAMENTO DE ENSINO, PESQUISA, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DIRETORIA DE ENSINO ACADEMIA DE BOMBEIRO MILITAR CURSO DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS



## MECANISMO DE RESFRIAMENTO DE CÂMERAS DE FILMAGEM PARA USO EM SIMULADORES DE INCÊNDIO

Ítalo Sanglard Borel Ferraz<sup>12</sup> George Cajaty Barbosa Braga<sup>3</sup>

#### **RESUMO**

Este artigo propõe o conceito funcional, design, construção e validação de um mecanismo de resfriamento de câmeras de filmagem para uso nas simulações de incêndio no âmbito do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF). Tal mecanismo é necessário devido às altas temperaturas atingidas dentro dos ambientes de queima, evidenciados por câmeras de filmagem já danificadas em simulações anteriores. O mecanismo funciona por meio de sistema de circulação de água, mantendo a temperatura da câmera dentro do intervalo de segurança especificado pela fabricante. Sua construção é inspirada nos sistemas de resfriamento desenvolvidos pelo *National Fire Research Laboratory nos Estados Unidos* (EUA), e será utilizado para obtenção de imagens e vídeos de qualidade dos incêndios, substanciando melhores análises de dados e contribuindo para a pesquisa e o ensino na corporação. Os testes realizados com os protótipos produzidos comprovam a eficiência do mecanismo, e sua utilidade no campo de Dinâmica de Incêndio e simuladores.

**Palavras-chave:** Simuladores de incêndio. Dinâmica de incêndio. Câmeras de incêndio.

#### COOLING SYSTEMS FOR VIDEO CAMERA USE IN FIRE SIMULATIONS

#### **ABSTRACT**

This paper suggests the functional concept, design, construction, and experimental validation of a cooling system for video camera use in fire simulations executed by the

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Artigo apresentado em 08 de junho de 2020 como requisito para aprovação no Curso de Formação de Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Cadete QOBM/Comb. Ítalo Sanglard Borel Ferraz – CBMDF. Aluno do Curso de Formação de Oficiais - Turma CFO 36. Lotado na Academia de Bombeiros Militar do Distrito Federal (ABMIL). Mestre em Física pela Universidade de Brasília (2016).

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup>Coronel QOBM/Compl. George Cajaty Barbosa Braga – CBMDF. Chefe da Seção da assessoria técnica do gabinete do Comando Geral. Doutor em Física pela Universidade de Brasília (2001), especialista em Tecnologia de Combate a Incêndio pelo Building and Fire Research Laboratory do National Institute of Standards and Technology, NIST/EUA, (2011).

CBMDF. The mechanism is required due the high temperatures within the burning environments, as evidenced by cameras that were damaged in previous fire simulations. The mechanism will operate through a water cooling system, keeping the temperature of the camera within the safety interval specified by the manufacturer. Its construction is inspired by the cooling systems developed by the National Fire Research Laboratory in the USA and will be used to capture great quality images and videos of the fire, contributing to research and education in the CBMDF. The tests carried out with the produced prototypes prove the efficiency of the mechanism, and its usefulness in the field of Fire Dynamics and simulators.

**Keywords:** Fire Simulators. Fire Dynamics. Camera cooling system.

## 1 INTRODUÇÃO

Compete ao Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, de acordo com a Lei Nº 8.255 de 1991, "realizar pesquisas técnico-científicas, com vistas à obtenção de produtos e processos, que permitam o desenvolvimento de sistemas de segurança contra incêndio e pânico" (BRASIL, 1991, meio eletrônico). Nesse sentido, possui ampla estrutura física para desenvolvimento de pesquisa e ensino na área de Combate a Incêndio Urbano, como evidenciado pela recente aquisição dos módulos de simulação de incêndio, instalados no Centro de Treinamento Operacional (CETOP, 2020).

Entretanto, encontram-se dificuldades na aquisição de dados, em especial de vídeos, devido às condições extremas em ambientes de incêndio, pois a temperatura supera em muito às adequadas à operação dos equipamentos de filmagem. Tais imagens são essenciais ao desenvolvimento de pesquisa na área de Segurança contra Incêndio, além de enriquecer instruções sobre o tema com a revisão de fenômenos ocorridos durante instruções.

Dessa forma, este artigo se propõe a responder a seguinte questão: é possível construir, no CBMDF, um mecanismo que permita o funcionamento correto de câmeras de filmagem em ambientes de incêndio?

Este trabalho objetiva a prototipagem e especificação de tal mecanismo.

Especificamente têm-se como objetivos: analisar o mecanismo desenvolvido pelo *National Institute of Standards and Technology* (NIST); definir e especificar o design básico e materiais construtivos de três diferentes protótipos; analisar os

resultados obtidos nos testes de viabilidade, resistência e eficiência com os protótipos construídos; documentar o uso do melhor protótipo em uma simulação realizada no CBMDF.

O trabalho se inicia descrevendo pesquisas em dinâmica de incêndio e sua importância, seguindo pelo detalhamento na metodologia do processo construtivo. Em sequência, são descritos o design, construção básica e testagem dos três protótipos, com as observações de cada teste realizado. Por fim são feitas as considerações finais sobre o tema e propõe-se um caminho a ser seguido no aprimoramento do mecanismo de resfriamento de câmeras.

## 2 PESQUISAS EM DINÂMICA DE INCÊNDIO

A área de pesquisa em dinâmica de incêndio no Brasil ainda carece de investimento em infraestrutura. Grandes agências governamentais como o *NIST*, nos EUA, já possuem grandes laboratórios voltados para a pesquisa em dinâmica de incêndios, como o *National Fire Research Laboratory* (*NFRL*). Tal investimento, embora alto, é totalmente justificado devido ao prejuízo que tais desastres podem ocasionar, como perdas materiais e humanas.

Nos EUA, entre primeiro de janeiro e 21 de dezembro de 2018 ocorreram 55.911 focos de incêndios florestais, devastando uma área de 8,6 milhões de acres (aproximadamente 35 mil km²). O prejuízo gerado pela destruição de habitações, comércios e carros pelos incêndios "Carr" e "Mendocino" somaram mais de \$ 845 milhões de dólares. De acordo com o Departamento de Seguros da Califórnia os dois incêndios juntos resultaram na perda de 8.900 casas, 329 comércios, e 800 carros particulares. (INSURANCE INFORMATION INSTITUTE, 2019).

Já no Brasil, apenas no primeiro semestre de 2018 o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) registrou 216.488 focos de incêndio, o que ilustra a dimensão do prejuízo para a população (AUGUSTO, 2019). Embora desastres com fogo sejam geralmente inevitáveis, conhecer suas dinâmicas nos ajudam a minimizar perdas. Tal conhecimento pode ser adquirido por meio de diversas metodologias de pesquisa e da análise de seus resultados.

Dentre as metodologias adotadas nos estudos de dinâmica em incêndio, os ensaios em escala real são amplamente utilizados. Estruturas inteiras são construídas para serem queimadas. Quartos, móveis e automóveis são incendiados e diversos dados são coletados durante a queima. Temperatura, fluxo de calor, composição dos gases etc. Além desses, pode-se captar imagens da queima, gerando importantes informações sobre a dinâmica dos gases, fases do incêndio, comportamentos extremos do fogo, correntes de convecção, radiação e todos os outros efeitos físicos que podem ser observados na frequência da luz visível, ou de outras frequências com a ajuda de câmeras especiais, como, por exemplo, câmeras infravermelho. Vale citar que diferentes dados são obtidos por diferentes instrumentos de medição/observação, e todas essas informações são complementares para o entendimento mais profundo do fenômeno (DEDEOGLU, 2005).

Embora alguns dados possam ser extraídos após a extinção das chamas, a maior parte dos dados fazem sentido apenas quando extraídas durante o incêndio. Tal captação de dados é então refém das altas temperaturas durante o período da queima.

# 2.1 CONDIÇÕES EXTREMAS EM AMBIENTES DE INCÊNDIO

De acordo com Braga, Lisboa Neto e Salazar (2016), em um incêndio generalizado a temperatura próxima ao teto pode chegar facilmente a 800 °C. Em simulações de incêndios reais feitas no CBMDF, controladas e medidas com diversos sensores, foi possível aferir a temperatura durante um incêndio em diferentes alturas dentro de um mesmo andar. A variação na temperatura chega a mais de 500 °C entre 0,9 m e 1,5 m. De acordo com Lawson (2009) os gases presentes em um cômodo no início da ocorrência de um *flashover* chegam a mais de 400 °C, podendo chegar a mais de 1000 °C durante a generalização do incêndio.

As condições extremas citadas acima dificultam o trabalho de quem quer realizar medições dentro de um ambiente em chamas. Uma câmera da marca GoPro, capaz de obter filmagens subaquáticas, para de funcionar automaticamente quando sua temperatura atinge 51,5 °C (GOPRO, 2019). Diversos outros instrumentos de medição utilizados na aquisição de dados encontram limitações parecidas.

No âmbito do CBMDF, duas câmeras já foram perdidas devido às grandes temperaturas em simuladores de incêndio, gerando grande prejuízo matérial, além de perda de dados sobre a experimento (Imagens 1 e 2). As duas câmeras eram da marca Polaroid, modelo XS100. Consta em sua especificação que possui vedação a prova d'água até 10 metros, além de ter revestimento anti-choque. No manual da câmera encontra-se a indicação:

Do not leave the camera in places where the temperature may rise significantly such as inside a car. High temperatures may adversely affect the case or internal parts of the camera. (POLAROID, 2012, p. 3).

Ou seja, em tradução livre, "não deixe a câmera em locais onde a temperatura pode aumentar significativamente, como dentro de um carro. Altas temperaturas podem causar danos no revestimento externo ou nas partes internas da câmera".

As imagens abaixo mostram as câmeras após as simulações. Nota-se que a parte frontal foi significativamente mais afetada, pela exposição direta à alta temperatura. As câmeras foram colocadas próximas ao solo, onde as condições são mais amenas, a fim de prevenir dano por exposição ao calor. Como vemos nas imagens, tal precaução não foi suficiente, tendo ocorrido danos significativos ao material.



Imagem 1 - Visão frontal das câmeras utilizadas em nos ensaios prévios.

Fonte: Arquivo pessoal do Cel. George Cajaty.



Imagem 2 - Visão superior das câmeras utilizadas em nos ensaios prévios.

Fonte: Arquivo pessoal do Cel. George Cajaty.

Uma alternativa para sanar as limitações de temperatura foi divulgada pelo *NIST*, por meio de vídeo institucional. É apresentando um mecanismo de resfriamento para a câmera de filmagem, com troca de calor por circulação de água. O sistema utiliza uma bomba inundada, que faz a troca da água de um Béquer resistente a altas temperatura, no qual a câmera fica submersa (NIST, 2017b).

Aspirando franquear a captação de imagens de alta qualidade durante as simulações e instruções realizadas no âmbito da corporação, propõe-se o conceito funcional, design básico além da construção e validação de um sistema de resfriamento de câmeras de filmagem, solucionando assim um problema técnico limitante, até então em aberto no CBMDF.

Tal mecanismo viabilizará a filmagem de simulações de incêndio e instruções operacionais que envolvam altas temperaturas, captando imagens de todas as suas fases (inicial, crescente, totalmente desenvolvido e final) com grande qualidade, sem atingir a temperatura crítica de funcionamento da câmera. Essas filmagens poderão ser utilizadas como material didático em instruções sobre Combate a Incêndio Urbano e Dinâmica de Incêndio no âmbito do Departamento de Ensino, Pesquisa e Tecnologia do CBMDF (DEPCT). Além disso, o mecanismo de resfriamento será adicionado aos recursos disponíveis para realização pesquisa em Incêndio na Diretoria de

Investigação de Incêndio (DINVI), setor que agrega tais atribuições no âmbito do Corporação.

#### **3 METODOLOGIA**

Este trabalho narra, através de processo metodológico descritivo, procedimento experimental e abordagens tanto qualitativas quanto quantitativas, a construção e funcionamento de três protótipos. Cada modelo foi idealizado visando a melhoria do anterior, com o primeiro apresentando modificações relativas ao design do sistema americano, desenvolvido pelo NIST. Após a descrição básica dos sistemas, são apresentados os testes realizados com cada modelo, cujas conclusões subsidiam as modificações incorporadas no próximo protótipo, retroalimentando o ciclo metodológico do projeto. (Imagem 3).

Imagem 3 – Ciclo metodológico.

Prototipagem

Avaliação e conclusões

Testagem

## 3.1 ANÁLISE DO MECANISMO DE RESFRIAMENTO DO NIST

Os mecanismos de resfriamento construídos são baseados no exposto em vídeo institucional do NIST, intitulado "How NIST captures great fire vídeo footage" (NIST, 2017a). Nesse vídeo, os pesquisadores demonstram como suas câmeras são mantidas resfriadas durante as filmagens dos grandes ensaios de queima. Em poucas palavras, o mecanismo funciona como um radiador de carro, fazendo circular água com uma bomba, entre um reservatório frio, externo ao ambiente da queima, e um béquer de vidro resistente à altas temperaturas, que fica dentro do incêndio, no solo, sobre uma travessa de alumínio (Imagem 4). O béquer é mantido inundado, recebendo um fluxo contínuo de água, a qual extravasa e cai na travessa, retornando por uma tubulação secundária ao reservatório frio. A câmera fica imersa no béquer, encostada em uma de suas paredes, apontando para a queima. As fotos abaixo exemplificam o sistema utilizado pelo NIST.



Imagem 4 - Sistema de circulação e resfriamento de água utilizado pelo NIST.

Fonte: NIST (2017a).

#### 4 DESENVOLVIMENTO E TESTAGEM

Embora efetivo, o mecanismo deixa espaço para melhorias. Ao longo deste projeto foram construídos três protótipos de sistema de resfriamento para câmeras, em colaboração com a DINVI. Seguindo o fluxo metodológico descrito, são elencadas as principais características físicas de cada um dos protótipos construídos, os testes realizados com cada um, além de suas conclusões. Todos os protótipos são fundamentalmente modulares, o que facilita a montagem e desmontagem em diferentes locações.

#### 4.1 PROTÓTIPO 1

No sistema utilizado pelo NIST a água não é resfriada ativamente durante o retorno para o reservatório frio, dependendo apenas do volume de água no sistema para manter a temperatura baixa. Quanto mais água no reservatório, mais lento será o aumento da temperatura do sistema como todo. Levando-se em consideração tais fatos, foi construído um resfriador composto, com refrigeração por circulação de água e ventilação.

A refrigeração à água, de forma similar aos sistemas construídos no NIST, é composta por um reservatório de água (reservatório frio), uma bomba d'água, uma travessa de alumínio, um béquer, onde é colocada a câmera de filmagem, e das tubulações de cobre e de plástico. Os materiais utilizados em todos os protótipos serão especificados em detalhe no Anexo A deste trabalho.

O sistema de resfriamento por ventilação é composto por uma serpentina e um cooler. A serpentina fica encapsulada por um cano de PVC de 100 mm (raio), e o cooler fica lateralizado, formando um túnel de vento. O sistema então resfria a água logo antes de entrar na bomba hidráulica, evitando possíveis falhas na bomba, já que esta não é projetada para funcionamento com água quente, e poderia vir a falhar, comprometendo a integridade da câmera de filmagem (Imagem 5).

Área do incêndio

Béquer

Travessa de alumínio

Cooler

Serpentina

Area externa

Imagem 5 – Diagrama de funcionamento do Protótipo 1.

Nas imagens abaixo temos em detalhe a bomba, serpentina e cooler do protótipo 1 (Imagem 6) e o béquer com a travessa de alumínio (imagem 6). A serpentina foi construída com uma tubulação de cobre de diâmetro 1 cm, com 1,5 m de comprimento.



Imagem 6 - Bomba e serpentina (Protótipo 1).



Imagem 7 – Béquer e travessa de alumínio (Protótipo 1).

A parte interna do sistema, que ficará exposto ao incêndio quando montado, ficará envolta por uma manta de fibra cerâmica. Esse composto, geralmente utilizado em forjas de aço, pode sustentar temperaturas de até 815 °C, suficiente para o espectro de temperatura na altura que o sistema de resfriamento será instalado.

#### 4.1.1 Teste do Protótipo 1

O protótipo 1 foi testado sem uso de chamas. Ou seja, apenas o sistema de resfriamento e circulação de água foram verificados. A observação do funcionamento levou a questionamentos sobre a eficiência do mecanismo em questão. Com o sistema funcionando em aberto, a possível evaporação de água do béquer e da travessa de alumínio poderia acarretar aumento indesejado da temperatura ambiente, interferindo com a simulação que tenciona avaliar. Ademais, não foram encontradas mudanças significativas na temperatura atribuídas a adição do sistema de resfriamento a ar, em comparação ao sistema de resfriamento por circulação de água. Por conseguinte, o sistema de ventilação não se faz necessário nas simulações em que se vislumbrou a utilidade do sistema.

## 4.2 PROTÓTIPO 2

Após testes preliminares com o protótipo 1, foram realizadas melhorias significativas em estrutura (Imagem 7), design e funcionalidade: as tubulações foram aumentadas; foi instalada uma conexão anexa para medição de temperatura da água de retorno por termopar; a bomba submersa JAD/BOYU FP-58 foi substituída por uma bomba de pressurização, UPRIGHT UP – 7000; o béquer e a travessa de alumínio foram substituídos por um sistema fechado, com entrada e retorno no mesmo vasilhame de vidro (vidro não temperado), com suporte de altura regulável (Imagens 8, 9 e 10).

Além das mudanças estruturais, o sistema de resfriamento por ventilação foi retirado. Foram feitos testes sem sua ativação e verificou-se que, o sistema de circulação de água com um grande reservatório (em torno de 40 litros), em conjunto com a nova bomba com capacidade superior (capaz de trabalhar com vácuo), são suficientes para manter a temperatura dentro do desejável, como será mostrado nos resultados.

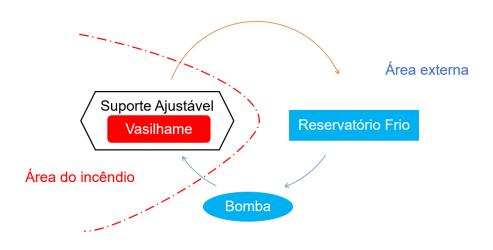


Imagem 8 - Diagrama de funcionamento do Protótipo 2.

Imagem 9 – Vasilhame e tubulação de ida e retorno (Protótipo 2).





Imagem 10 – Suporte metálico com vasilhame e câmera instalada (Protótipo 2).

Um motivador para a construção de um segundo protótipo com sistema de circulação parcialmente fechado foi a contaminação da água do béquer com fuligem, quando da realização dos testes de queima. A fuligem se depositava na superfície e exterior do béquer, fixando-se em frente à câmera, atrapalhando a aquisição de imagens. Embora o vasilhame de vidro utilizado no protótipo 2 não seja adequado para altas temperaturas, o sistema de circulação é suficientemente eficiente para manter a dilatação térmica controlada e evitar a quebra da estrutura.

## 4.2.1 Teste do Protótipo 2

A eficiência do protótipo 2 foi avaliada com a medição da temperatura em diferentes pontos do sistema, como mostra a imagem abaixo (Imagem 11 e 12). Foram dispostos termopares nos seguintes pontos:

- 1. Na tubulação de cobre de retorno, aferindo a temperatura da água;
- 2. Na área externa entre o vasilhame e o fogo, aferindo a temperatura a que o vidro esteve exposto;
- 3. Na guarita montada para concentrar as chamas, a cerca de 30 centímetros das chamas;
- 4. Em frente ao foco, próximo das chamas.



Imagem 11 – Disposição dos termopares.



Imagem 12 – Disposição dos termopares – visão lateral.

O gráfico abaixo mostra a evolução temporal da temperatura nos pontos citados acima.



Gráfico 1 – Evolução temporal da temperatura (Protótipo 2).

Nota-se que a temperatura aferida pelo termopar localizado na guarita, atingiu temperaturas da ordem de 200 °C. A temperatura no vidro e na água não ultrapassou os 35 °C em nenhum momento durante a queima (em torno de 20 minutos).

Os resultados encontrados com o teste do protótipo 2 validam sua estrutura e funcionamento, possibilitando a filmagem em ambiente incendiado.

#### 4.3 PROTÓTIPO 3

Em sua terceira versão foram feitos avanços em tecnologia dos materiais. Foi obtido um vidro especial resistente a fogo, capaz de resistir a temperaturas superiores à 1000 °C (PECKRUHN, 2020). Foi construída uma estrutura metálica em forma de cubo, com uma lâmina do vidro em cada face, formando um aquário, onde a câmera é colocada (Imagem 13). A vedação do aquário foi feita com silicone acético de alta temperatura, com resistência até 315 °C.



Imagem 13 - Aquário (protótipo 3).

Em comparação com o vasilhame de vidro do protótipo 2 o aquário possui maior resistência intrínseca a altas temperaturas, além de não distorcer a imagem devido a curvatura do vidro, como no caso anterior.

A sistema de circulação de água também foi melhorado. O fluxo, antes realizado por uma bomba, passou a ser produzido por duas bombas idênticas, uma para ida e outra para retorno (Imagens 14 e 15). Esse aprimoramento garante uma circulação mais eficiente, mantendo uma maior taxa de troca de calor entre o aquário e o reservatório frio, que se encontra fora do ambiente em alta temperatura. Esse efeito pode ser explicado pela lei de Fourier:

$$\frac{dQ}{dt} = h \cdot A \cdot \Delta T(t)$$

Onde  $\frac{dQ}{dt}$  é a taxa temporal de troca de calor; h é o coeficiente de transferência de calor (depende da densidade do fluído, dentre outras variáveis); A é a área de transferência de calor; T é a temperatura da superfície do objeto;  $T_{env}$  é a temperatura ambiente. A equação exemplifica que quanto maior a diferença de temperatura, maior é a troca de calor. Com 2 bombas é possível expor durante um menor intervalo de tempo a água que vem do reservatório frio ao ambiente interno dos simuladores, o que maximiza o termo  $\Delta T(t)$  ao longo da queima.

Não houve mudanças significativas no sistema de tubulações e conexões.



Imagem 14 - Reservatório frio, bombas e conexões (protótipo 3).

Aquário Reservatório Frio

Área do incêndio

Bomba 2

Imagem 15 – Diagrama de funcionamento do Protótipo 3.

#### 4.3.1 Teste do Protótipo 3

Em conjunto com os militares da DINVI foi possível realizar um teste funcional do protótipo 3. Foi realizada uma queima controlada no módulo de treinamento 5 no CETOP, por ocasião da última aula de combate a incêndio do 11º Curso de Habilitação de Oficiais (CHO 11) (Imagens 15, 16 e 17). Sob a vigilância dos instrutores de Combate a Incêndio foi montada a estrutura do sistema de resfriamento, além de termopares para aferir a temperatura. Foram realizadas medidas durante toda a queima, além da filmagem utilizando o sistema em questão.

Foram dispostos termopares nos seguintes pontos (Imagens 15,16 e 17):

- 1. À 4 metros do foco, 1,60 m acima do solo (alto frente);
- 2. À 4 metros do foco, ao solo (solo);
- 3. Parte externa do aquário (aquário ext);
- 4. Dentro do aquário (aquário int);
- 5. Dentro do reservatório de água (reservatório).



Imagem 15 – Interior do módulo 5 e disposição dos termopares.



Imagem 16 – Interior do módulo 5 e disposição dos termopares.



Imagem 17 – Disposição do termopar no reservatório.

Os gráficos 2 e 3 mostram a evolução temporal da temperatura nos citados:

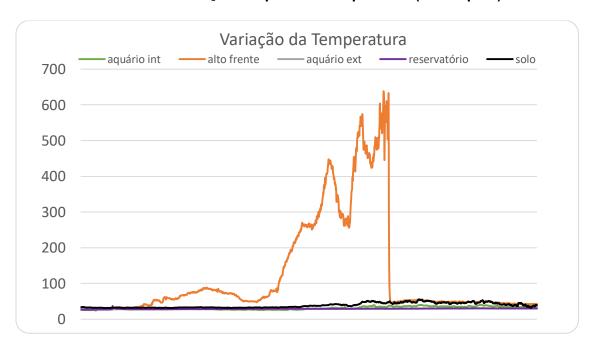


Gráfico 2 – Evolução temporal da temperatura (Protótipo 3).

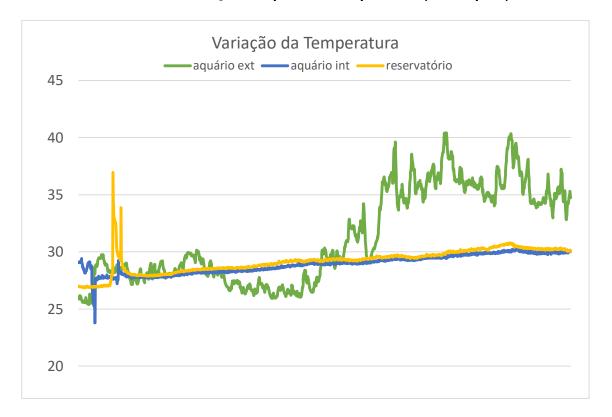


Gráfico 3 – Evolução temporal da temperatura (Protótipo 3).

Nota-se que a temperatura aferida pelo termopar localizado em frente, próximo ao teto, atingiu temperaturas da ordem de 600 °C, caindo abruptamente em seguida. Esta diminuição abrupta foi atribuída a queda do termopar, captando a temperatura ao nível do solo a partir de então. A temperatura no sensor ao solo, em frente ao foco apontou temperaturas de aproximadamente 55 °C.

Como pode ser observado no gráfico 3, a temperatura na área externa ao aquário atingiu os 40 °C. Por outro lado, a temperatura dentro do aquário manteve-se no intervalo 28 °C – 30 °C, aproximadamente a mesma aferida dentro do reservatório de água, que estava ao ar livre, do lado de fora do simulador de incêndio.

Ademais, o protótipo 3 foi utilizado durante experimento realizado pela Diretoria de Investigação de Incêndio em novembro de 2019, com sucesso na obtenção de imagens numa queima que ultrapassou 200 °C ao nível da câmera. O mecanismo possibilitou a captação de imagens mesmo em condições extremas durante simulações como a generalização do incêndio (imagem 17) e em condições menos extremas, durante instruções de Combate a Incêndio Urbano (imagem 18). A

integridade da câmera foi mantida em todos os testes, e as imagens obtidas não sofreram efeitos de distorção relevantes.



Imagem 17 – Generalização do incêndio durante filmagem.

Fonte: o autor.



Imagem 18 – Filmagem durante instrução do CHO 11.

# 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da análise do mecanismo utilizado pelo NIST, e da metodologia prototipagem – teste – melhoria, foi possível elaborar o design, construir e testar três protótipos de resfriadores para uso no CBMDF. Foi elaborado um produto útil, com característica modular e resistente às condições extremas de um incêndio, permitindo a filmagem em alta qualidade das simulações, tanto para uso em pesquisa quanto ensino.

Foi realizada a análise do mecanismo americano, através do qual foram elaborados três protótipos, com mudanças nas características construtivas. Todos foram testados e em particular a resistência dos modelos 2 e 3 foi aferida através de medidas de temperatura. Foi verificado que estes protótipos cumprem a expectativa de funcionalidade e eficiência térmica, permitindo o uso das câmeras dentro do intervalo de temperatura especificado pelos fabricantes. Foi demonstrada ainda a propriedade modular do sistema, como observado nas imagens 12, 13 e 17, o que permite sua adaptação aos demais contêineres de treinamento e simulação recém adquiridos pelo CBMDF.

Embora a possiblidade de filmar as queimas para pesquisa científica tenha sido a principal motivadora do projeto, observou-se durante os testes que a utilidade do sistema se desdobra para outros setores, com destaque para as divisões de ensino e instrução de combate a incêndio urbano, onde o sistema poderá ser utilizado para filmagem das simulações, provas, ensaios e demonstrações. Essas imagens enriquecem as instruções, e possibilitam revisitar o ocorrido através das filmagens, tornando-se uma poderosa ferramenta didática no ensino das disciplinas ligadas ao combate ao fogo.

O design do sistema continua em evolução, e soluções para o problema de acúmulo da fuligem no vidro durante a generalização do incêndio foram propostas. As modificações propostas devem ser implementadas em breve pela Diretoria de Investigação de Incêndio.

## **REFERÊNCIAS**

AUGUSTO, Otávio. Em 2018, programa do Inpe já registrou 216.488 focos de incêndio no Brasil. Brasília, 2019. Disponível em:

https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/brasil/2018/06/27/internabrasil,691195/em-2018-programa-do-inpe-ja-registrou-216-488-focos-de-incendio.shtml. Acesso em: 27 jun. 2019.

BRAGA, George Cajaty; LISBOA NETO, Joaquim Pereira; SALAZAR, Helder de Farias. A Temperatura e Fluxo de Calor em uma situação de Incêndio e as consequências para os Bombeiros. **Revista FLAMMAE**. Recife-PE, v. 2, n. 04, p. 9-28, 2016.

BRASIL. **Lei nº 8.255, de 20 de novembro de 1991**. Dispõe sobre a organização básica do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, 1991. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil\_03/Leis/L8255.htm. Acesso em: 26 mai. 2020.

CETOP (Brasília). **Aniversário do Centro de Treinamento Operacional**. 2020. Disponível em: https://www.cbm.df.gov.br/6168-aniversario-do-centro-de-treinamento-operacional?highlight=WyJzaW11bGFkb3JlcyJd. Acesso em: 26 maio 2020.

DEDEOGLU, N. et al. Real-time fire and flame detection in video. **IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2005.** IEEE, 2005. p. ii/669-ii/672 Vol. 2.

GOPRO. **FAQ - Quais são as temperaturas de operação da câmera em ambientes quentes e frios para a HD HERO Original?**. Brasil, 2019. Disponível em: https://pt.gopro.com/help/articles/question\_answer/Hot-and-Cold-Operating-Temperatures-for-the-HD-HERO-Original. Acesso em: 11 abr. 2019.

INSURANCE INFORMATION INSTITUTE. **Facts + Statistics: Wildfires:** Wildland fires. United States of America, 2019. Disponível em: https://www.iii.org/fact-statistic/facts-statistics-wildfires#top. Acesso em: 19 fev. 2019.

LAWSON, James R. Fire Facts. **NIST Special Publication 1102**. EUA, n. 1102. Aug 2009.

NIST. **How NIST Captures Great Fire Video Footage**. 2017b. Disponível em: https://www.nist.gov/video-category/fire. Acesso em: 11 abr. 2019.

NIST. **Video Collection: Fire.** 2017a. Disponível em: https://www.nist.gov/video-category/fire. Acesso em: 11 abr. 2019.

PECKRUHN, Georg. **Fire protection in a new design**. 2020. Disponível em: https://www.schott.com/innovation/en/fire-protection-in-a-new-design/. Acesso em: 08 maio 2020.

POLAROID. **Polaroid HD Professional Action Camera XS100: USER MANUAL**. 2012. 22 p. Disponível em: http://polaroidaction.com/sg\_userfiles/XS100\_UM\_2012-11-2\_B.pdf. Acesso em: 11 abr. 2019.

## ANEXO A - ESPECIFICAÇÃO DOS MATERIAIS

Abaixo encontram-se descrições sobre os materiais utilizados na construção dos três protótipos. Os considerados não essenciais ao funcionamento do sistema foram omitidos, por simplicidade.

Os materiais foram escolhidos de acordo com suas propriedades físicas, térmicas, mecânicas, e por seu custo-benefício financeiro. O intuito da especificação é manter a simplicidade e facilidade na reparação dos componentes, caso ocorram avarias. Todos os componentes podem ser substituídos e/ou modificados, de acordo com a necessidade.

#### a. BOMBA SUBMERSA JAD/BOYU FP-58 2500L/H

Bomba submersa compacta de alta tecnologia e desempenho, de voltagem 220v. Esta bomba possui um sistema de regulagem de vazão na extremidade do protetor da bomba, permitindo utilização em diversas situações. Vazão máxima de 2500 litros por hora, potência de 41 W e podendo ser utilizada com uma coluna d'água de até 1600 mm.

#### b. BOMBA UPRIGHT UP - 7000

Bomba de pressurização (0 ~ 110 psi). Vazão de 9,5 L/hora. Massa 2 kg e 65 VDC. Bomba utilizada para osmose reversa. Possui certificação europeia CE.

#### c. MANTA DE FIBRA CERÂMICA

Lã de cerâmica, leve e flexível, cujas fibras são multidirecionadas e entrelaçadas. Pode ser utilizada em temperaturas de até 815 °C. Densidade de 64Kg/m³. Totalmente inorgânica.

# d. TUBULAÇÃO DE COBRE

Tubo de cobre semiflexível 3/8", para fluxo de água quente.

## e. TRAVESSA DE ALUMÍNIO

Travessa simples, para água da coleta do transbordo da água do béquer.

#### f. SILICONE NEUTRO DE ALTA TEMPERATURA

Silicone acético para altas temperaturas, para vedação em tubulações. Temperatura máxima de 315 °C.

## g. BÉQUER DE BOROSILICATO

Copo béquer berzelius (UNIGLAS), forma alta, graduado, com bico vertedor. Vidro borosilicato.

## h. COLLER GC METÁLICA

Coller para refrigeração. Dimensões: 120x120x38MM, corrente: 0,24 A.

## i. VIDRO CERÂMICO SCHOTT PYRAN®

Placas de vidro cerâmico, feito de borossilicato, com resistência de até 1037 °C por pelo menos 90 minutos.