



**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**



**VIABILIDADE TÉCNICO-OPERACIONAL DO EMPREGO DO PROTÓTIPO DE
LÍQUIDO GERADOR DE ESPUMA DO CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO
DISTRITO FEDERAL EM INCÊNDIO DE LÍQUIDOS INFLAMÁVEIS DERIVADOS
DE PETRÓLEO**

Luísa Gurjão de Carvalho Amaral¹²
Alisson Bernardi de Barros³

RESUMO

Este trabalho analisa a viabilidade técnico-operacional do emprego do protótipo de Líquido Gerador de Espuma do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (LGE - CBMDF), desenvolvido pela Diretoria de Investigação de Incêndio (DINVI) do CBMDF, para combate à líquidos inflamáveis do tipo hidrocarboneto. Tal abordagem se faz necessária na fase de testes do protótipo concernente ao Projeto de Pesquisa Técnico Científica nº 001/2018 a fim de validá-lo em sua utilização para o combate a incêndio em líquidos inflamáveis do tipo hidrocarboneto. O objetivo geral deste estudo é verificar a eficácia do protótipo do LGE institucional por meio de teste de fogo. O propósito deste estudo foi atingido mediante testes de fogo nas dependências da DINVI, em que foi registrada a performance do protótipo naquele tipo de combate. As características do teste foram comparadas com o solicitado pela ABNT NBR 15511, norma que estabelece os requisitos mínimos exigíveis para LGEs. O estudo demonstrou que o LGE-CBMDF é eficiente para combater esse tipo de incêndio. O protótipo também foi eficaz após teste de reignição, impedindo que o incêndio se desenvolvesse. No entanto, o tempo de drenagem do protótipo mostrou que é necessário acrescentar aditivos para evitar que a espuma seja degradada pelo combustível.

Palavras-chave: Líquido Gerador de Espuma. Líquido inflamável. Protótipo. Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal.

¹ Artigo apresentado em 8 de junho de 2020 como requisito para aprovação no Curso de Formação de Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal.

² Cadete QOBM/Comb. Luísa Gurjão de Carvalho Amaral – CBMDF. Aluna do Curso de Formação de Oficiais – Turma CFO 36. Lotada na Academia de Bombeiros Militar do Distrito Federal (ABMIL). Mestre em Recursos Florestais pela Universidade de São Paulo – USP.

³ Capitão QOBM/Comb. Alisson Bernardi de Barros - CBMDF. Chefe da Seção de Justiça e Disciplina do Centro de Formação de Praças (CEFAP - CBMDF). Bacharel e licenciado em Física pela Universidade de Brasília.

TECHNICAL-OPERATIONAL FEASIBILITY OF EMPLOYMENT OF A PROTOTYPE OF FOAM GENERATING LIQUID OF BRASÍLIA'S FIREFIGHTING DEPARTMENT IN FLAMMABLE OIL FIRES

ABSTRACT

This work analyzes the operational feasibility of using a prototype of firefighting foam made by the Brasília's Fire Department (CBMDF), in order to combat flammable liquids, class B fires. This approach is necessary in the testing phase of the prototype concerning the Scientific Technical Research Project N° 001/2018 to validate its use for fighting fires in flammable hydrocarbon liquids. The general objective of this study is to verify the effectiveness of the institutional prototype through fire testing. The purpose of this study will be achieved through fire tests at CBMDF's facilities, where the performance of the prototype in class B fires will be recorded. The test characteristics will be compared with that requested by ABNT NBR 15511, a standard that establishes the minimum requirements for firefighting foams. The study demonstrated that the prototype is efficient to combat class B fires using corporation's equipments, but it is necessary to put additives to prevent it from being degraded by the fuel.

Keywords: *Firefighting foam; Class B fires, Prototype. Federal District Fire Department.*

1 INTRODUÇÃO

A espuma mecânica surge no mercado como um aditivo para a água melhorar sua capacidade extintora. Em termos gerais, os Líquidos Geradores de Espuma (LGEs) foram desenvolvidos para se obter melhor aderência ao material em chamas, produzindo um recobrimento contínuo sobre ele (MONTAGNOLLI, 2015).

O Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF), frente a eficácia dos LGEs, adquiriu viaturas que possuem o sistema de injeção de ar comprimido, o qual é capaz de gerar espuma mecânica de alta qualidade, conhecido como *Compressed Air Foam System* (CAFS), ou simplesmente Sistema CAF. No entanto, a compra do extrato gerador de espuma é onerosa, fator que dificulta sua utilização pela corporação devido ao seu alto custo de mercado.

Dessa forma, a constante escassez de LGE na Corporação motivou o início do projeto de desenvolvimento de um protótipo de Líquido Gerador de Espuma institucional (LGE-CBMDF) pela Diretoria de Investigação de Incêndio (DINVI). Assim, o Projeto de Pesquisa Técnico Científica formalizado no ano de 2018 (PPTC nº

001/2018) apresenta em um dos seus objetivos tornar o CBMDF autossuficiente em LGE.

O cronograma de execução do PPTC nº 001/2018 apresenta em sua 2ª fase a execução de testes operacionais para a avaliação da eficiência e eficácia do protótipo de LGE. Vinculado a este objetivo, o protótipo precisa estar em consonância com a Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT (2008), a qual apresenta a Norma Brasileira (NBR) 15511, que versa sobre os testes necessários para LGEs destinados à incêndios em líquidos inflamáveis.

Frente a importância de dar seguimento ao PPTC nº 001/2018, este trabalho aborda a eficiência do protótipo institucional de LGE quando empregado em combate a incêndios em líquidos inflamáveis, contribuindo, assim, com a 2ª fase do projeto.

Diante do exposto, buscou-se responder à seguinte pergunta: O protótipo de LGE-CBMDF é viável para combater incêndios em líquidos inflamáveis do tipo hidrocarboneto?

Parte-se da hipótese que o protótipo apresenta eficiência ao combater incêndio em líquidos inflamáveis do tipo hidrocarboneto, haja vista sua propriedade de isolar o combustível do contato com a atmosfera.

Posto isso, têm-se como objetivo geral analisar a viabilidade técnico-operacional do emprego do protótipo de Líquido Gerador de Espuma do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (LGE-CBMDF) para combater incêndios em líquidos inflamáveis do tipo hidrocarboneto.

Para a consecução do objetivo geral, o trabalho apresenta os seguintes objetivos específicos: verificar os métodos de extinção de incêndio; compreender o Sistema CAF e sua utilização na Corporação; identificar a performance do protótipo de LGE-CBMDF no combate a incêndio em líquidos inflamáveis como parte da 2ª fase do PPTC nº 001/2018; registrar os custos associados à compra do LGE comercial e ao desenvolvimento do protótipo institucional; verificar os parâmetros da ABNT NBR 15511 e conhecer a utilização do LGE por outras corporações.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A técnica de combate a incêndio é baseada no ataque a um dos pilares do tetraedro do fogo, o qual é formado por calor, combustível, comburente (oxigênio) e pela reação em cadeia entre eles (CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL, 2013).

Os agentes extintores devem ser usados de forma criteriosa, minimizando os efeitos danosos do próprio método. Os mais utilizados possuem baixo custo e um bom rendimento operacional, como água, pós químicos e gases inertes (CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESPÍRITO SANTO, 2014).

Nos tópicos seguintes, conceitos do combate a incêndio urbano e os métodos mais utilizados serão discutidos. Também serão apresentados o PPTC nº 001/2018 do CBMDF e os custos de compra do LGE comercial.

2.1 PRINCIPAIS MÉTODOS DE EXTINÇÃO DE INCÊNDIO

O NFPA-10 (*NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION*, 2013), documento feito pela associação referência em pesquisa com fogo, traz classificações dos materiais combustíveis e seus métodos de extinção.

Quadro 1 - Classificação utilizada no Brasil dos materiais combustíveis e os principais métodos de extinção.

Categoria	Materiais	Método de extinção
Classe A	Madeira, tecido, papel, borracha, plástico	Resfriamento – Água, Espuma, Pó Químico Seco, CO ₂
Classe B	Líquidos inflamáveis, gases e graxas	Abafamento – Espuma, Pó Químico Seco, CO ₂
Classe C	Materiais elétricos	Abafamento – pó químico seco, CO ₂
Classe D	Elementos pirofosfóricos	Abafamento – pó químico seco

Fonte: (CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL, 2013)

Percebe-se no Quadro 1 que a água é indicada apenas para incêndios classe A. A eficácia da água vem da sua alta capacidade térmica específica, a qual diz respeito a grande quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de um grama de água em um grau Celsius. Após o processo de elevação da temperatura da

água líquida, é necessária outra grande quantidade de calor para romper as ligações de hidrogênio a fim de que passem para o estado gasoso (CANZIAN, 2016). Essa energia utilizada para realizar a mudança de estado físico é chamada de calor de vaporização, sendo o da água em torno de 540 cal/g a 100°C (MONTAGNOLLI, 2015).

No entanto, a água apresenta características que a tornam menos eficaz no combate a incêndios pertencentes às outras classes indicadas pelo Quadro 1, como incêndios em líquidos inflamáveis e em grandes volumes de sólidos.

Pode-se citar sua baixa viscosidade, que provoca escoamento rápido pelas superfícies adjacentes, dificultando o resfriamento do objeto em chamas devido ao seu espalhamento. Há também sua tensão superficial, por ser elevada retarda a extinção do incêndio ou favorece que haja outra ignição, pois dificulta a penetração do líquido no material (CARULA, 2000).

Uma terceira desvantagem é relacionada a sua densidade relativamente alta ($\mu = 1 \text{ g/cm}^3$), a qual prejudica o combate a combustíveis líquidos, dado que em sua maioria os líquidos inflamáveis são menos densos que a água, e por isso flutuarão sobre ela (CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL, 2013).

Os combustíveis líquidos sofrem vaporização em diferentes temperaturas. Essa característica determina quais serão categorizados como líquido inflamável, os que liberam vapores na temperatura ambiente, ou líquido combustível, sendo os que precisam ser aquecidos para liberar vapor em quantidade suficiente para manterem a queima (CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESPÍRITO SANTO, 2014).

Esses vapores em contato com o oxigênio formam uma mistura inflamável, que na presença de uma fonte de calor se inflama. Dessa forma, combustíveis líquidos tem a característica de não queimarem em profundidade, pois são os vapores desprendidos da sua superfície que entram em combustão. Os combustíveis quando derivados de petróleo são chamados de hidrocarbonetos, como a gasolina e o querosene (CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DE GOIÁS, 2016).

Por conseguinte, surge no mercado o líquido gerador de espuma, também chamado de extrato gerador de espuma, que produz em sua fase final a espuma mecânica. Esse produto surge como um método mais eficiente que a água para a aplicação no combate a incêndio às classes A e B.

Segundo Breda (2010) a formulação desses extratos é muito importante no Brasil, devido ao grande volume de etanol estocado, ressalta também sua eficiência no combate a incêndios envolvendo derivados de petróleo.

2.2 LÍQUIDO GERADOR DE ESPUMA

Para combater algumas das desvantagens da água, adicionam-se substâncias umectantes. O agente umectante reduz a tensão superficial da água, tornando-a mais adequada ao combate. A água dessa forma é chamada de “água molhada”, e assim surgem no mercado os líquidos geradores de espuma para combate a incêndio (CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESPÍRITO SANTO, 2014).

Existem basicamente dois tipos de espumas: as espumas mecânicas, obtidas por um processo mecânico de mistura de LGE, ar e água; e as espumas químicas, obtidas pela reação química entre dois produtos. Este último tipo caiu em desuso, sobretudo devido à sua fraca eficiência e pelos riscos associados ao armazenamento e manuseamento dos produtos químicos necessários à sua formação (CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESPÍRITO SANTO, 2014).

As espumas mecânicas foram desenvolvidas por volta de 1937 na Europa devido a necessidade de melhores agentes extintores. Por ser um agente tensoativo de baixa densidade, as espumas são empregadas para diminuir a tensão superficial da água favorecendo seu espalhamento e percolação no material, abafando-o e isolando-o do contato com o oxigênio atmosférico (FIGUEREDO e SABADINI, 1999).

Segundo Montagnolli (2015), as espumas atuam com maior aderência ao material em chamas, agindo por abafamento (isolamento) e secundariamente por resfriamento, retirando o contato da superfície em chamas com o oxigênio atmosférico.

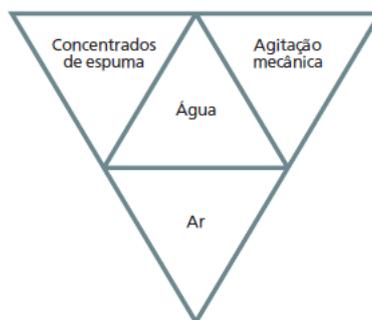
O manual do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo (2006) explica quais devem ser as características físicas das espumas. O manual explicita que a espuma deve possuir fluidez, ou seja, deve recobrir com sua película toda a superfície em chamas; deve possuir resistência ao calor, pois deve ser capaz de resistir aos efeitos destrutivos do calor irradiado; deve realizar a contenção de

vapores, de tal forma que a cobertura produzida deva ser capaz de conter os vapores inflamáveis, provocando uma selagem do combustível; deve possuir densidade baixa, assim a espuma ficará por cima do combustível para exercer seu papel de abafamento; e, por fim, deve ter dupla ação de combate a incêndio, visto que a extinção do incêndio é feita por meio de abafamento e resfriamento.

Em relação ao seu processo de formação, a espuma é produzida em dois estágios: o proporcionamento e a formação. Durante o proporcionamento, o extrato é introduzido no fluxo de água com dosagem controlada. A formação da espuma ocorre no estágio final quando ocorre a introdução de ar no esguicho lançador (FIGUEREDO e SABADINI, 1999).

Em suma, para obtenção da espuma de combate a incêndio, é necessário água, ar, agitação mecânica e LGE como esquematizado na Figura 1 abaixo.

Figura 1 - Tetraedro da espuma



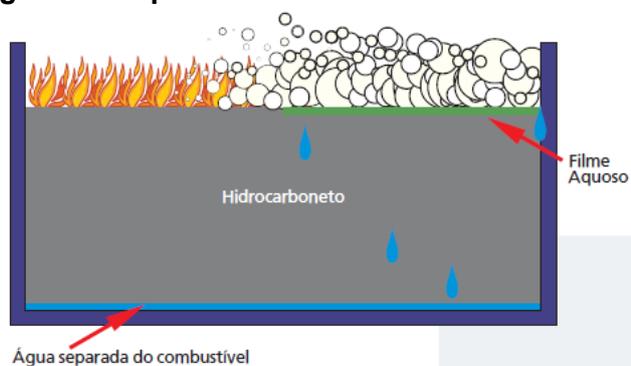
Fonte: Kidde (2005, p.5)

Para aplicação em solventes polares ou nos derivados de petróleo foram formulados concentrados chamados de AFFF, *Aqueous Filme-Forming Foam* ou espuma formadora de filme aquoso, pois conforme a espuma é drenada produz-se uma membrana polimérica. Essa membrana protege o filme aquoso e a espuma da destruição pelo solvente, mantendo por mais tempo sua função de abafamento e aumentando sua resistência à reignição (FIGUEREDO e SABADINI, 1999).

O filme aquoso gerado pela espuma, menos denso que o combustível, sela a emissão de vapores e evita outra ignição, abafando e resfriando o local, como mostrado da Figura 2. Por serem menos viscosas essas espumas apresentam maior fluidez e alta velocidade de extinção (BREDA, 2010). Esses concentrados têm a

propriedade de espalhar-se rapidamente sobre regiões não totalmente recobertas pela espuma (FIGUEREDO e SABADINI, 1999).

Figura 2 - Espuma atuando em hidrocarboneto



Fonte: Kidde (2005, p.7)

Diferentes equipamentos hidráulicos são capazes de produzir espuma. As viaturas Auto Bomba Tanque (ABT) e Auto Salvamento e Extinção (ASE) do CBMDF possuem um dos sistemas mais eficientes produzidos pela empresa *One Seven*, o qual é chamado de CAFS, *Compressed Air Foam System*, Sistema de Espuma por Ar Comprimido ou Sistema CAF. Tal eficiência se justifica por ser um sistema de proporção eletricamente movido e eletronicamente controlado. O sistema CAF apresenta em sua estrutura uma motobomba, um compressor de ar e um proporcionador de extrato formador de espuma (MARTINS, 2018).

O Boletim Geral de número 100 de 30 de maio de 2016 trouxe orientações para a utilização dos LGEs classes A e B. Nesse documento é estabelecido que o percentual a ser calibrado na bomba CAFS das viaturas ABT e ASE deverá ser de 0,5% (volume de LGE / volume de água) para o LGE Classe B (CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL, 2016).

Essa proporção é de uma magnitude 10 vezes menor que a proporção utilizada em outras viaturas ou equipamentos. Há no CBMDF a viatura Auto Busca e Salvamento Leve – ABSL, que traz um tipo simplificado de CAFS, acionado apenas por compressão por um cilindro de ar comprimido. Esse sistema é composto por um tanque, em que se mistura manualmente o LGE e a água, e um cilindro que pressuriza essa mistura. A proporção utilizada de LGE nesse caso é de 3 a 6% para classe B de incêndio.

Uma terceira técnica pouco utilizada no CBMDF é o misturador entre linhas. Seu funcionamento se baseia no sistema Venturi, em que o recipiente do extrato de LGE é conectado, por meio de um pescador, à mangueira que correrá água para o combate (CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL, 2013). Assim, o LGE é aspirado devido a diferença de pressão gerada pela velocidade da água que está sendo bombeada por meio da viatura de incêndio. Da mesma forma, mas em momentos distintos, o ar é aspirado no esguicho devido a diferença de pressão causada pela velocidade da mistura de água e LGE, desencadeando na expansão da espuma. Nesse sistema, a proporção de LGE e água também varia de 3 a 6%.

2.3 PROJETO DE PESQUISA TÉCNICO-CIENTÍFICA Nº 001/2018

A Lei Federal nº 8.255/1991 (BRASIL, 1991, meio eletrônico) dispõe sobre a organização básica do CBMDF, a qual versa em seu Artigo 2º sobre suas competências e traz o seguinte inciso:

Art. 2º Compete ao Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal:
V - Realizar pesquisas técnico-científicas, com vistas à obtenção de produtos e processos, que permitam o desenvolvimento de sistemas de segurança contra incêndio e pânico.

Amparado pela Lei Federal citada acima e motivado pela indisponibilidade de fornecimento do LGE - situação exposta em Boletim Geral da Corporação de número 16, de 28 de janeiro de 2018 - houve a formalização do primeiro projeto de pesquisa técnico-científico elaborado e desenvolvido pela DINVI para a geração de um protótipo de LGE para utilização no âmbito interno do CBMDF (CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL, 2018a).

A formalização do Projeto de Pesquisa Técnico Científica (PPTC nº 001/2018) foi publicada no Boletim Geral da Corporação de número 33, de 19 de fevereiro de 2018 como ato do diretor de investigação de incêndio (CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL, 2018b).

O projeto de pesquisa em questão se baseou nas patentes de LGE que caíram em domínio público após completar o prazo de 20 anos, e assim, puderam ser

utilizadas sem licença ou autorização. A análise dessas formulações das patentes abertas viabilizou que o Laboratório de Química da DINVI desenvolvesse o protótipo de LGE próprio e exclusivo.

Nesse contexto, o presente trabalho é parte da 2ª fase do cronograma de execução do PPTC Nº 001/2018 que tem como objetivo a realização de testes de queima padronizado e a avaliação de eficiência e eficácia do LGE-CBMDF em ambiente controlado para avaliar sua aplicabilidade em incêndios classe B.

2.4 PROCESSO DE COMPRA DE LGE COMERCIAL E DE INSUMOS PARA O DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO INSTITUCIONAL (LGE-CBMDF)

A compra do LGE é feita através de licitação por intermédio da Diretoria de Materiais e Serviços do CBMDF. No processo licitatório⁴ usado como exemplo e apresentado no Quadro 2 foram solicitados 14.400L de LGE Classe A além de 2.160L de LGE Classe B.

Quadro 2 - Preço do extrato de LGE, classes A e B, para compra

	Classe A		Classe B	
	Bombona (20L)	Valor unitário (L)	Bombona (20L)	Valor unitário (L)
Empresa A	R\$ 1.400,00	R\$ 70,00	R\$ 5.400,00	R\$ 270,00
Empresa B	R\$ 1.300,00	R\$ 65,00	R\$ 5.600,00	R\$ 280,00
Empresa C	R\$ 1.050,00	R\$ 52,50	R\$ 5.040,00	R\$ 252,50
Empresa F	R\$ 1.440,00	R\$ 72,00	R\$ 5.283,00	R\$ 264,15
Empresa E	R\$ 1.080,00	R\$ 54,00	R\$ 1.080,00	R\$ 54,00

Fonte: O autor

Dentre os requisitos mínimos solicitados podem-se citar: a capacidade de combater incêndios em combustíveis sólidos comuns (se Classe A); a capacidade de combater incêndios em combustíveis líquidos (se Classe B); não ser corrosivo ou abrasivo; ter compatibilidade total com o CAFS das viaturas do CBMDF; possuir garantia mínima, *shelf life*, de 10 (dez) anos.

⁴ O processo licitatório em que as informações foram retiradas se encontra no Processo SEI nº 00053-00060646/2019-01.

Em contraposição à compra de LGE, o PPTC 001/2018, com a finalidade de adquirir insumos e equipamentos necessários para o desenvolvimento do protótipo, lançou um edital de licitação por meio do Pregão Eletrônico Nº 31/2019⁵ ocorrido em 11 de julho de 2019 no valor aproximado de 50 mil. Com esses insumos e equipamentos foi possível produzir o protótipo em quantidade suficiente para os testes.

A princípio, o protótipo desenvolvido reduziu o valor para 40% do seu valor comercial, o que possibilitaria sua utilização em treinamento operacional e posteriormente no serviço operacional (BARROS, 2020). O mesmo autor conclui que o custo estimado por litro do protótipo de LGE institucional é de R\$21, apresentando um decréscimo de 60% do valor comercial do LGE. Cabe ressaltar que nesse valor do protótipo não está embutido a montagem do laboratório, mas apenas a compra dos insumos para a sua produção.

3 METODOLOGIA

Este trabalho aborda a eficiência do protótipo institucional quando utilizado para combate a incêndio Classe B. Pretende-se responder a seguinte pergunta: O uso do protótipo de LGE gera uma espuma eficaz para a extinção de incêndio classe B do tipo hidrocarboneto? Parte-se da seguinte hipótese: A utilização do protótipo de LGE é eficiente para extinção de incêndio classe B do tipo hidrocarboneto.

A pesquisa é quantitativa e tem natureza de trabalho científico original, pois visa testar o protótipo do LGE-CBMDF em líquidos inflamáveis e registrar sua eficiência, contribuindo para o desenvolvimento do LGE institucional.

De acordo com os critérios de classificação quanto aos objetivos é uma pesquisa exploratória, pois procuram-se maiores informações de como o protótipo reage com combustível líquido inflamável do tipo hidrocarboneto.

⁵ O pregão eletrônico se encontra no processo SEI nº 00053-00046018/2019-13.

A pesquisa é classificada quanto ao objeto como sendo de laboratório, pois os testes serão provocados e reproduzidos em ambiente controlado pelos pesquisadores.

Quanto aos procedimentos técnicos, o estudo é classificado como pesquisa experimental, pois serão realizados testes de fogo para verificar a eficiência do protótipo no combate a líquidos inflamáveis do tipo hidrocarboneto.

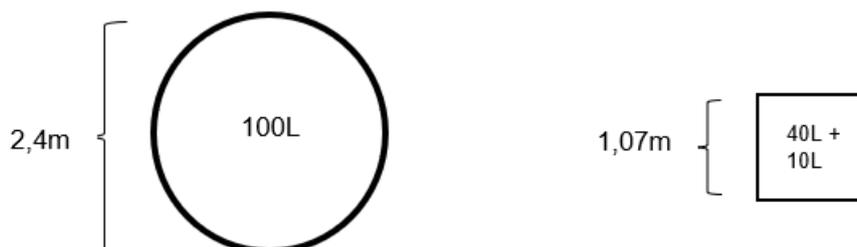
A pesquisa colabora com a 2ª fase do PPTC 001/2018 que diz respeito aos testes que o protótipo de LGE deve ser submetido para ser aceito por normas reguladoras. O método utilizado teve como referência a ABNT NBR 15511 que versa sobre “Líquido Gerador de Espuma (LGE), de baixa expansão, para combate a incêndios em combustíveis líquidos”.

A norma faz menção a três classes de combustíveis líquidos, porém neste trabalho só foi analisada a eficiência do LGE para extinção de incêndios em hidrocarbonetos, devido a limitação de recursos financeiros.

A ABNT NBR 15511 determina que seja utilizado 100L de querosene comum como combustível líquido. No entanto, devido à falta de recursos, os testes foram realizados com 10L de querosene e 40L de gasolina em momentos distintos.

A norma estipula que o experimento seja feito em tanque de seção circular com diâmetro interno de 2,4m e 0,25m de profundidade. No entanto, o experimento foi feito em um tanque de seção quadrada com lado de 1,07m e profundidade de 0,3m. Ambos os testes de fogo foram realizados na Diretoria de Investigação de Incêndio (DINVI), local em que já havia tanques destinados a testes.

Figura 3 - Esquema comparando as dimensões do tanque determinado pela norma (à esquerda) e o tanque em que foi realizado o teste (à direita).



Fonte: O autor.

A norma em questão não fixa qual sistema pressurizador deveria ser utilizado. No entanto, ela determina que a vazão deva ser de 11L/min. Não foi possível trabalhar com essa vazão estipulada, pois para o experimento apenas a Bomba Macaw e uma viatura de porte leve foram disponibilizadas.

O primeiro teste foi feito com a bomba Macaw, nome comercial MACAW Intelegard System - CAF. Esse sistema portátil consiste em um tanque com capacidade para 19L integrado a um cilindro de ar comprimido de 6L com pressão de 300 bar, sendo regulável a pressurização do sistema.

Figura 4 - Bomba Macaw utilizada no experimento.



Fonte: Intelagard (2020, meio eletrônico)

Devido à falta de recursos para a montagem do experimento de acordo com a norma, a segunda fase de testes deste trabalho utilizou gasolina como combustível. A vantagem de se utilizar gasolina é que os testes puderam ser feitos em maior escala, devido ao seu valor de compra ser inferior ao do querosene.

Com a finalidade de se aproximar da realidade do serviço operacional do CBMDF, o sistema pressurizador utilizado na segunda fase dos testes foi a viatura Auto Busca e Salvamento Leve - ABSL.

A viatura ABSL possui uma unidade portátil para uso de espuma para o combate a incêndio. Esse sistema é acionado por compressão por meio de um cilindro de ar comprimido de 6 litros a uma pressão de 300 bar. O sistema é composto por um reservatório de água construído em aço inoxidável ou metal não corrosivo, com capacidade para 113 litros. O esguicho que a viatura possui é do tipo pistola e apresenta a possibilidade de regular a vazão do jato.

Figura 5 - Interior do ABSL, tanque e cilindro utilizados na pressurização do sistema



Fonte: O autor

Figura 6 - Protótipo do LGE-CBMDF desenvolvido pela DINVI.



Fonte: O autor.

3.1 TESTE A – COMBUSTÍVEL QUEROSENE

O combustível utilizado na primeira etapa foram 10 litros de querosene, o qual foi misturado a 50 litros de água.

A bomba Macaw foi o sistema pressurizador. A bomba apresentava 10 litros de água. A solução de LGE-CBMDF e água foi de 1%. Ou seja, 100 mililitros de LGE-CBMDF em 10 litros de água.

3.2 TESTES COM GASOLINA

O combustível utilizado foi gasolina e o sistema pressurizador o CAFS da viatura ABSL. Nessa fase, o líquido inflamável foi submetido a repetições e testes de reignição, totalizando 40 litros utilizados. O teste fora subdividido da seguinte forma:

Teste B - Teste base em que 5 litros de gasolina queimaram livremente com o objetivo de se obter o tempo de extinção do combustível;

Teste C - Para se obter o tempo de extinção com o LGE-CBMDF, 10 litros de gasolina foram queimados. Após 30 segundos de queima livre, para que houvesse desenvolvimento total, houve o combate;

Teste D - A fim de se repetir o teste de combate com LGE-CBMDF, foram queimados 15 litros de gasolina e após 30 segundos de queima livre, o incêndio foi combatido.

Teste E - Em seguida, a reignição do combustível foi conduzida a fim de se obter quão eficaz é a camada polimérica da espuma.

Elaborou-se um questionário a fim de coletar informações acerca da realidade de outras Organizações Bombeiro Militar (OBM) relacionadas ao combate com LGE. O instrumento de pesquisa utilizado para o levantamento desses dados foi um formulário composto de 4 perguntas, sendo elas discursivas e de múltipla escolha. O formulário é apresentado no Apêndice A.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Teste A, o qual utilizou como combustível o querosene e como sistema pressurizador a Bomba Macaw, levou 40 segundos para combater o foco a uma vazão de 5L/min.

Figura 7 - Combate com LGE-CBMDF utilizando a bomba Macaw



Fonte: O autor.

O teste em tanque com formato quadrado mostrou que os focos nas quinas perduraram mais tempo para serem abafados, como mostra a figura abaixo. A manta de espuma não recobriu imediatamente essas regiões. A ABNT NBR 15511 sugere que o tanque seja circular, o que provavelmente evitaria essa situação.

Figura 8 - Foco nas quinas



Fonte: O autor.

Após 5 minutos que o combate havia sido finalizado, percebeu-se que o querosene havia degradado cerca de 70% da camada de espuma, vide Figura 9. Visto tal fato, entende-se que deve haver uma reformulação do protótipo para que se acrescente aditivos formadores de camada polimérica entre a manta de espuma e o combustível, a fim de aumentar o tempo de drenagem.

Figura 9 - Decomposição do LGE-CBMDF por querosene



Fonte: O autor.

A segunda parte dos testes analisou a eficiência e a eficácia do LGE-CBMDF ao combater gasolina utilizando a viatura ABSL. Verificou-se, além da capacidade de extinção do foco, a resistência à reignição.

O Teste B iniciou-se com a queima livre de 5 litros de gasolina. A finalidade foi analisar quanto tempo a carga combustível levaria para ser esgotada sem interferência de qualquer método de extinção. Esse dado garante, que em futuros combates, o fogo se extinguirá não por falta de combustível, mas sim pela eficiência do agente extintor. A queima durou 2 minutos e 30 segundos.

Figura 10 - Queima livre de 5L de gasolina.



Fonte: O autor.

O Teste C analisou quanto tempo de combate seria necessário para extinguir um incêndio em 10 litros de gasolina com a utilização da viatura ABSL. Antes do combate ser iniciado, esperou-se 30s para que o incêndio estivesse totalmente desenvolvido. O protótipo institucional extinguiu as chamas em 9 segundos.

A vazão estimada utilizada pelo ABSL foi de 25L/min. A viatura não possui sistema eletrônico capaz de fixar uma vazão específica ou de mostrar qual vazão está sendo utilizada.

Figura 11 - Combate utilizando o mangotinho da viatura ABSL.



Fonte: O autor.

O Teste D visou reproduzir o teste anterior, mas com carga combustível maior, incêndio em 15 litros de gasolina. Os resultados mostraram que foram necessários 17 segundos de combate para que as chamas cessassem.

Para a realização do Teste E, um espaço na manta de espuma foi aberto, logo após o combate do teste anterior, com a finalidade de provocar a reignição do combustível. O Teste E visou analisar o grau de resistência à reignição.

Percebeu-se que a camada de espuma não foi degradada como aconteceu quando o combustível era a querosene. O tanque apresentou chamas pequenas, mas não houve desenvolvimento do incêndio.

Figura 12 - Chamas provenientes do teste de reignição.



Fonte: O autor.

A eficiência do protótipo foi comprovada, pois foi possível realizar o combate em combustíveis classe B do tipo hidrocarboneto. Agrega-se valor ao fato de o tempo de combate ter sido inferior ao interposto pela ABNT NBR 15511. A eficácia do LGE-CBMDF é verificada devido ao teste de reignição, pois a manta de espuma impediu que o incêndio se desenvolvesse.

As características gerais dos testes, tipo e volume de combustível, concentração de LGE, vazão e tempo de combate são mostradas no Quadro 3.

Quadro 3 - Características dos testes realizados

	Teste A	Teste B	Teste C	Teste D e E
Combustível	Querosene	Gasolina	Gasolina	Gasolina
Quantidade de combustível	10L	5L	10L	15L
Término das chamas	40s	150s*	9s	17s
Teste de reignição	-	-	-	Sim
Concentração de LGE	1%	-	1,50%	1,50%
Vazão	5L/min	-	25L/min	25L/min
*O teste é referente à queima livre do combustível.				

Fonte: O autor

A ABNT NBR 15511 aceita o LGE se o tempo de extinção não for superior a 120 segundos, utilizando uma vazão de 11L/min. Considerou-se assim, que o protótipo é eficiente no combate a líquidos inflamáveis a uma proporção de 1% e 1,5%, pois mesmo a uma vazão menor do que a estipulada, o tempo de combate foi inferior ao determinado pela norma.

As principais diferenças entre os testes realizados e as recomendações da norma são mostradas no quadro abaixo.

Quadro 4 - Comparativo entre os pré-requisitos estabelecidos pela ABNT NBR 15511 e testes realizados com o protótipo institucional (LGE-CBMDF).

ABNT NBR 15511	Teste A	Testes B - E
100L de querosene	10L de querosene	10L e 15L de gasolina
100L de água	50L de água	50L de água
Tanque de seção circular	Tanque de seção quadrada	Tanque de seção quadrada
Material: Aço inoxidável	Material: concreto	Material: concreto
Área: 4,51m ²	Área: 1,14m ²	Área: 1,14m ²
Vazão: 11,4 L/min	Vazão Macaw: 5L/min	Vazão ABSL: 25L/min
Tempo de combate: 120s	Tempo de combate: 40s	Tempo de combate: 9s e 17s

Fonte: O autor

As diferentes proporções dos métodos de utilização do LGE devem ser levadas em consideração ao se fazer uma análise de viabilidade econômica. Por conseguinte,

experimentos com o LGE-CBMDF devem ser realizados a fim analisar proporções ótimas de combate para os diferentes tipos de classe de incêndio. Dessa forma, torna-se possível compara-lo a uma espuma comercial de alta qualidade, que utiliza de 0,3% a 0,6% ou a uma espuma AFFF que utiliza de 3% a 6%.

Em testes realizados por Alaby e Barros (2019) foi verificado que o LGE-CBMDF é eficiente ao combater incêndios em *pallets*, classe A. No trabalho citado, o combate foi realizado utilizando a bomba MACAW a uma concentração de 0,7% de LGE. Outros agentes extintores foram testados, como o LGE comercial BIO FOR C a 0,5% e água. Cabe ressaltar que apenas no combate com água houve reignição.

Barros (2020), em seu trabalho de conclusão do Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais do CBMDF, realizou pesquisa junto aos instrutores e condutores de viaturas de combate a incêndio urbano sobre a percepção desses profissionais em relação a espuma gerada pelo LGE-CBMDF. Constatou-se que o protótipo de LGE apresenta o mínimo de características físicas necessárias para que a espuma seja utilizada em treinamento operacional.

Para a construção do cenário atual de utilização de LGE por outras Organizações Bombeiro Militar, contou-se com a participação dos corpos de bombeiros do seguintes estados: Maranhão, Amapá, São Paulo, Minas Gerais, Amazonas, Santa Catarina, Pará, Sergipe, Bahia, Paraná, Rio Grande do Norte, Pernambuco e Mato Grosso do Sul.

Em relação ao tipo de utilização do LGE, a Figura 12 mostra que na maior parte das OBMs o LGE não é apenas utilizado no serviço operacional, mas também em treinamento operacional.

Figura 13 – Gráfico sobre os tipos de utilização de LGE pelas OBMs

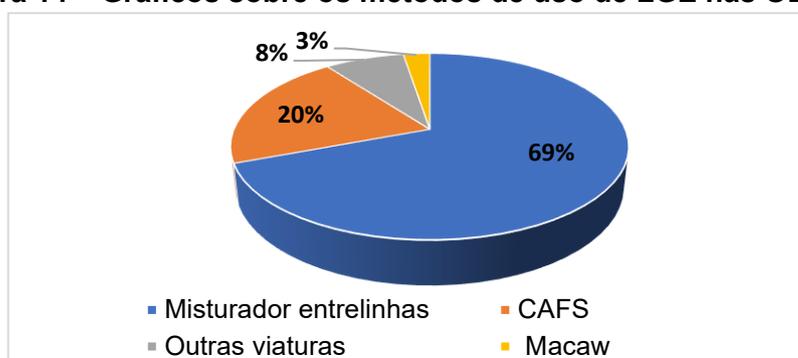


Fonte: O autor.

A consulta realizada com as OBMs ressaltou a importância do desenvolvimento de um protótipo próprio que corresponda ao contexto de cada Corporação. Como abordado anteriormente, o LGE comercial é um produto que apresenta atributos que geram uma espuma de alta qualidade devido ao CAFS de viaturas como o ABT e o ASE. Assim, se o extrato comercial não for utilizado nesse sistema, o valor agregado a esse produto não será totalmente usufruído.

A Figura 14 mostra que o método mais amplamente utilizado é o misturador entrelinhas entre as OBMs.

Figura 14 – Gráficos sobre os métodos de uso de LGE nas OBMs.



Fonte: O autor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho se dispôs a responder se o protótipo de LGE-CBMDF é viável para combater incêndios em líquidos inflamáveis do tipo hidrocarboneto. Partiu-se da hipótese de que o protótipo apresenta eficiência para combater incêndios em líquidos inflamáveis.

Conclui-se assim, que o protótipo de LGE institucional desenvolvido pela DINVI por meio do Projeto de Pesquisa Técnico Científica – PPTC nº 001/2018 é eficiente ao combater incêndio em combustível líquido, classe B, do tipo hidrocarboneto. Por conseguinte, a hipótese do trabalho foi confirmada.

O objetivo geral desta pesquisa foi analisar a viabilidade técnico-operacional do emprego do protótipo de LGE-CBMDF para combater incêndios em líquidos inflamáveis do tipo hidrocarboneto.

O objetivo foi alcançado, pois a pesquisa possibilitou verificar que o LGE-CBMDF é menos denso que o combustível e assim, é capaz de abafar os gases inflamáveis que são liberados durante o incêndio. O protótipo também foi resistente aos testes de reignição, corroborando sua capacidade de abafamento.

No entanto, o protótipo deve passar por uma reformulação que possibilite um tempo de drenagem maior, ou seja, a formação de uma camada polimérica mais resistente e duradoura sobre o combustível líquido a fim de atender aos diferentes tipos de combustíveis.

Os testes realizados nas dependências da DINVI utilizaram equipamentos operacionais do CBMDF, como a viatura ABSL e a bomba Macaw. Dessa forma, foi possível verificar que o protótipo apresenta eficácia quando utilizado com os equipamentos da instituição. Cabe ressaltar que as viaturas do tipo ABT e ASE, que possuem sistema CAF eletrônico, apresentam o potencial de produzir uma espuma de melhor qualidade com o mesmo protótipo. Assim, o LGE institucional possui o potencial de tirar da subutilização o sistema CAF presente nas viaturas da Corporação.

Como visto, os elevados custos relacionados a compra do LGE comercial são um impeditivo para a aquisição desse produto para o suprimento das viaturas com sistema CAF. Porém, por meio do PPTC nº001/2018, a equipe técnica responsável é capaz de desenvolver o protótipo apresentando custos referentes a 40% do custo de LGE comercial.

Os resultados desse estudo trouxeram a importância em se investir em estrutura para a realização de testes conforme padrões estipulados pela ABNT NBR 15511 a fim de que seja obtida uma permissão para a produção em escala do LGE institucional. Possuir esse produto na Corporação gera possibilidade em ser utilizado em treinamento operacional, viabilizando o aprimoramento de técnicas mais adequadas e mais seguras.

Sugere-se ainda, apoio financeiro para esse tipo de pesquisa, pois os testes devem ser repetidos e as proporções de LGE testadas, a fim de criar procedimentos operacionais padrões para as diferentes classes de incêndio.

O CBMDF, baseado e amparado por uma de suas competências, tem o potencial de fomentar a pesquisa científica em estudo. O protótipo não traz apenas vantagens para o combate a incêndio, mas também possui o potencial de colocar a corporação como referência nacional devido a uma possível autossuficiência no treinamento e no combate operacional.

REFERÊNCIAS

- ALABY, Rodrigo César. **Estudo sobre a eficácia do protótipo de líquido gerador de espuma desenvolvido pelo CBMDF**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Formação de Oficiais) – Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, Brasília, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15511: Líquido gerador de espuma (LGE), de baixa expansão, para combate a incêndios em combustíveis líquidos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- BARROS, Alisson Bernardi de. Pesquisa técnico-científica: **Utilização de protótipo institucional de Líquido Gerador de Espuma (LGE-CBMDF) para treinamento operacional**. 2020. Trabalho de Conclusão de curso (Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais) – Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, Brasília, 2020
- BRASIL. **Lei 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: 21 fev. 2020.
- BREDA, Inês Lousinha Ribeiro. **Proposta de uma ferramenta de Organização e Gestão para o Combate ao Incêndio Urbano**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto, 2010.
- CANZIAN, Wesley Pintor. **Análise de Técnicas de Combate a Incêndios em Plantios de Eucalipto**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2016.
- CARULA, Karoline. **Estudo do recobrimento de espumas de combate a incêndio sobre a superfície de líquidos inflamáveis**. 2000. Dissertação (Mestrado em química) – Universidade de Campinas, Campinas, 2000. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/250150/1/Carula_Karoline_M.pdf. Acesso em: 4 set. 2018.
- CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de emprego de espuma mecânica no combate a incêndios**. 1. ed. v. 43, 48p. São Paulo, 2006.
- CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. **Boletim Geral nº 016, 19 de fevereiro de 2018a**. Brasília: CBMDF, 2018.
- CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. **Boletim Geral nº 033, 19 de fevereiro de 2018b**. Brasília: CBMDF, 2018.
- CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. **Boletim Geral nº 100, 30 de maio de 2016**. Brasília: CBMDF, 2016.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. Departamento de Administração Logística e Financeira. **Ata de Registro de Preços Nº 05/2019/DICOA/DEALF/CBMDF**. Brasília: CBMDF, 5 nov. 2019. Processo eletrônico SEI: 00053-00060646/2019-01.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. Departamento de Administração Logística e Financeira. **Pregão Eletrônico Nº 31/2019/DICOA/DEALF/CBMDF**. Brasília: CBMDF, 3 jun. 2019. Processo eletrônico SEI: 00053-00046018/2019-13.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. **Manual básico de combate a incêndio urbano do Corpo de Bombeiros do Distrito Federal – comportamento do fogo**, Brasília, 2. ed. v.1, 160p, 2013.

CORPO DE BOMBEIRO MILITAR DO ESPÍRITO SANTO. **Manual Técnico de Combate a Incêndio Urbano**, Vitória, 2014.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DE GOIÁS. **Fundamentos de Combate a Incêndio – Manual de Bombeiros**, Goiânia, 1. ed: 2016.

FIGUEREDO, R.; SABADINI, R. Ciência de Espumas: Aplicação na extinção de Incêndios. **Química Nova**, Campinas, v.22, n.2, p. 126-130, 1999. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v22n1/1146.pdf>. Acesso em: 4.set.2018

KIDDE. **Guia de Espuma para Bombeiros e Brigadistas**. [São Paulo], 2005. 36 p.

MARTINS, Alisson Rangel Moura. **A importância do uso do Sistema de Espuma por Ar Comprimido – CAFS – No Combate a Incêndio Urbano**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Formação de Oficiais) – Comando da Academia e Ensino Bombeiro Militar, Goiânia, 2018.

MONTAGNOLLI, Renato Nallin. **Incêndios de petróleo e petroquímicos: biorremediação de áreas afetadas**. 2015. Tese (Doutorado em Biociências) – Universidade de São Paulo, Rio Claro, 2015.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. **NFPA 10 – 2013**. [s. /], Disponível em: <http://www.eq.ufrj.br/docentes/cavazjunior/estagio1i.pdf> . Acesso em: 1 set. 2018.

APÊNDICE A – FORMULÁRIO DE UTILIZAÇÃO DE LGE PELAS ORGANIZAÇÕES BOMBEIRO MILITAR.

- 1) A qual Organização Bombeiro Militar pertence?
- 2) Utiliza-se LGE na sua corporação?
 - a) Em treinamento operacional e no serviço operacional
 - b) Apenas no serviço operacional
 - c) Não é utilizado LGE
- 3) Qual a maior dificuldade em gerir uma viatura com sistema CAF?
 - a) Falta de LGE devido ao seu elevado custo
 - b) Falta de manutenção específica no sistema CAF
 - c) falta de LGE e de manutenção específica no sistema CAF
 - d) Não possui viatura com sistema CAF
- 4) Há algum projeto em andamento relacionado ao desenvolvimento de protótipo de LGE na sua corporação?

As respostas coletadas irão ajudar na discussão do trabalho, pois apresentarão os recursos e as dificuldades que as demais corporações apresentam no contexto do combate a incêndio urbano e do treinamento operacional utilizando LGE.