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 – TURMA 35

ESTUDO SOBRE A EFICÁCIA DO PROTÓTIPO DE LÍQUIDO GERADOR DE ESPUMA DESENVOLVIDO PELO CBMDF

Rodrigo César Alaby[1]
Alisson Bernardi de Barros[2]

RESUMO

Este trabalho buscou verificar a eficácia do protótipo institucional de líquido gerador de espuma (LGE) desenvolvido pelo Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF) com potencial para ser utilizado no combate a incêndio urbano por meio de testes padronizados de queima em *pallets*. Tal abordagem se justifica pelo fato de que a Corporação necessita deste tipo de insumo químico para utilização no combate a incêndio estrutural e treinamento operacional de seus militares nas atividades relacionadas ao combate a incêndio. O objetivo geral deste estudo é comparar a eficácia do líquido gerador de espuma desenvolvido pelo CBMDF (LGE-CBMDF) em relação à água e ao LGE comercial (BIO FOR C) a partir de parâmetros obtidos no combate a incêndio em ambiente controlado. Este trabalho foi realizado mediante pesquisa de campo no qual foram realizados ensaios padronizados de queima a fim de se comparar os três agentes extintores supracitados. Neste sentido, após o término dos testes padronizados de queima, foi possível verificar e mensurar a eficácia do protótipo desenvolvido pela Corporação a partir da coleta e processamento de dados das queimas, sendo assim possível concluir a viabilidade do uso do LGE-CBMDF para treinamentos operacionais.

Palavras-chave: Espuma Mecânica. Líquido Gerador de Espuma. Combate a Incêndio Urbano. Corpo de Bombeiros do Distrito Federal.

---

[1] Cadete Alaby. Engenheiro Eletricista pelo IESB – Instituto de Educação Superior de Brasília. Aluno do Curso de Formação de Oficias – 2018.
[2] Cap. QOBM/Comb. Barros. Chefe da Seção de Justiça e Disciplina do Centro de Formação e Aperfeiçoamento de Praças. Bacharelado e Licenciado em Física pela Universidade de Brasília.

INTRODUÇÃO

Atualmente a Corporação enfrenta dificuldades com a aquisição de Líquido Gerador de Espuma (LGE) para utilização em atividades de combate a incêndio urbano e treinamento operacional.

Com o desenvolvimento de um protótipo de LGE institucional, o Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF) poderá ter a possibilidade de, em um futuro próximo, utilizá-lo nos treinamentos operacionais da tropa e nas operações de incêndio urbano realizados pela Corporação, otimizando a prestação desse serviço essencial.

Nesse contexto, o presente estudo buscou responder à seguinte pergunta: qual a eficácia do protótipo de LGE institucional no combate a incêndio em ambiente controlado quando comparado com a água e com o LGE comercial (BIO FOR C)?

Há indícios de que o protótipo de LGE institucional tenha um melhor custo-benefício para as atividades de combate a incêndio bem como para os treinamentos operacionais quando comparado a outros agentes extintores como a água e o LGE comercial.

Após diversos testes em laboratório realizados na Diretoria de Investigação de Incêndio (DINVI), a Equipe Técnica instituída pelo Boletim Geral do CBMDF nº 33/2018 conseguiu desenvolver um protótipo institucional de LGE, classe A, com propriedades físico-químicas semelhantes ao LGE BIO FOR C.

Dessa forma, esse projeto buscou verificar a eficácia deste protótipo de LGE-CBMDF com a perspectiva de ser utilizado em treinamentos e capacitações a fim de se aprimorar e refinar o uso da espuma mecânica durante as operações de combate a incêndio.

Além do uso nas operações de combate a incêndio, o LGE desenvolvido pelo CBMDF poderá trazer maior custo-benefício na utilização de recursos materiais da Corporação. O uso do LGE-CBMDF em treinamentos operacionais é de grande importância para a capacitação continuada e aprimoramento dos militares da Corporação.

Ademais, observa-se que um melhor treinamento operacional proporciona economia para a Corporação não só na aquisição de materiais e insumos, mas também no empenho de recursos humanos e na despesa com manutenção de equipamentos operacionais de combate a incêndio.

O presente trabalho de cunho científico se apropriou da pesquisa exploratória, pois buscou testar a eficácia do LGE desenvolvida pelo CBMDF a partir de testes em campo de queimas padronizadas. Assim, foram coletados dados de interesse para a comparação entre o

protótipo de LGE institucional, o LGE comercial e a água. A pesquisa ocorreu na DINVI e a coleta de dados se deu por meio de observações em testes e ensaios de queima padronizados.

O objeto da pesquisa é o estudo de campo decorrente da queima padronizada de *pallets*[3] com intuito de comparar os resultados obtidos na extinção de incêndio, utilizando os seguintes agentes extintores: água, protótipo de LGE-CBMDF e LGE comercial (BIO FOR C).

O método empregado nesse estudo foi hipotético-dedutivo, pois as hipóteses foram submetidas a testes como forma de avaliar a efetividade das espumas e a água quando utilizadas no combate a incêndio em ambiente controlado.

No decorrer deste trabalho foram discutidos os seguintes temas: os benefícios do uso do LGE no combate a incêndio, a pesquisa técnico-cientifica desenvolvida pelo CBMDF e as principais vantagens do uso do protótipo institucional de LGE.

Desta forma, o principal objetivo da pesquisa foi verificar a eficácia do protótipo de LGE institucional, a partir de teste de campo padronizado, em comparação com a água e com o LGE BIO FOR C, quando submetidos aos mesmos testes de campo.

1 OS BENEFÍCIOS DO USO DO LGE NO COMBATE A INCÊNDIO

A água sempre foi um recurso primário no combate a incêndio. Esse recurso é caro e finito e por isso cabe à Corporação – tendo em vista a sua missão de proteção de vidas, do patrimônio e do meio ambiente – buscar o aprimoramento de técnicas, táticas e equipamentos de forma a atingir sua missão institucional.

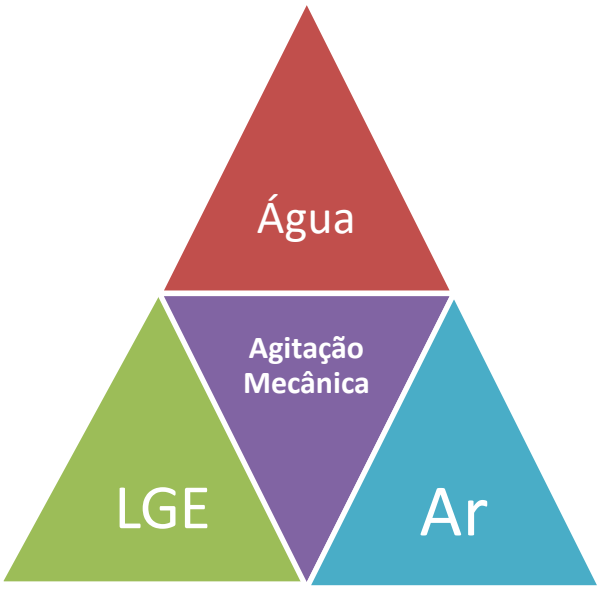
Assim, com intuito de otimizar o uso da água, desenvolveu-se a espuma mecânica de combate a incêndio formada a partir da pré-mistura de uma parte de água, outra de LGE e a injeção final de ar comprimido. Dessa forma, o sistema é constituído por uma fase contínua líquida e uma dispersão gasosa formando um aglomerado de várias células (bolhas). Devido as bolhas possuírem alta área superficial, possuem alta energia livre tornando-se termodinamicamente instáveis (FIGUEREDO; RIBEIRO; SABADINI, 1988, p. 126-127).

As espumas mecânicas utilizadas no combate a incêndio pelo CBMDF são formadas pela adição de uma dosagem de solução aquosa tensoativa (LGE) na água e em seguida o ar pressurizado é introduzido na mistura. Após isto, o composto passa por uma agitação mecânica onde os elementos são misturados para a formação da espuma mecânica.

[3] *Pallet*: estrutura de madeira sobre a qual se coloca carga empilhada a fim de ser transportada em grandes blocos.

A formação da espuma é realizada pela composição de 4 (quatro) elementos que formam o tetraedro da espuma. Na falta de um desses elementos não haverá formação de espuma ou, se estiver na proporção errada, haverá uma baixa qualidade no produto final proporcionando menor efetividade a espuma gerada. Segundo Landin (2007, p. 18), "a mistura entre estes elementos é capaz de extinguir as chamas de uma maneira rápida, econômica e ambientalmente segura".

Figura 1: Tetraedro da espuma



Fonte: Adaptado de Torquato (2014)

O objetivo do uso da espuma mecânica é formar uma manta de bolhas sobre a superfície em chamas, resfriando-a e abafando-a.

A espuma mecânica tem a característica de sempre apresentar densidade menor que a água e combustíveis, como a gasolina e o óleo, devido as bolhas de ar constituintes de sua formação (ABNT, 2008, p. 6).

Por criar uma película sobre a superfície em chamas a espuma mecânica é utilizada para extinguir incêndios por abafamento e resfriamento. A espuma mecânica também previne a reignição por suprimir vapores inflamáveis (ABNT, 2008, p. 6). Nesse contexto, desde 2013, o CBMDF vem utilizando o LGE no combate a incêndio urbano (MMA, 2016, p.32).

As espumas de combate a incêndio foram desenvolvidas para obter melhor aderência ao material em chamas tendo em vista sua maior viscosidade. Devido a sua baixa densidade

espalham-se sobre a superfície do material abafando e isolando o combustível do contato com o comburente (oxigênio presente no ar atmosférico).

Por essas razões, a espuma é mais eficiente do que a água no combate a incêndio. O abafamento e o resfriamento do material proporcionado pela espuma não permitem, muitas vezes, a reignição das chamas.

Para que seja eficiente, algumas características físicas devem estar presentes na espuma, tais como (CBPMESP, 2006):

- Fluidez: a espuma deve cobrir rapidamente toda a superfície em chamas para que seja possível atuar por abafamento, além de ser capaz de conter os vapores inflamáveis reduzindo a chance de reignição;
- Densidade baixa: para incêndios classe B, a espuma deve ficar na parte superior do líquido em chamas de forma a proporcionar uma cobertura no líquido;
- Resistência ao calor: por atuar diretamente nas chamas, a espuma deve ser capaz de resistir aos efeitos do calor gerados pelo incêndio;
- Resistência ao combustível: a composição química da espuma deve apresentar característica que não permita sua dissolução quando em contato com o material combustível;
- Dupla ação de combate a incêndio: a espuma atua por abafamento ao cobrir o objeto em chamas. Dessa forma, o contato entre do combustível (pirólise ou volatilização de gases) e o comburente é rompido atuando em favor da extinção do incêndio. Além disso, a espuma atua por resfriamento retirando calor do objeto através da água presente na composição da mesma.

Outrossim, a espuma permite menor exposição dos militares aos efeitos nocivos do calor e da volatilização de gases causada pela degradação térmica.

Ao atuar por abafamento, resfriamento e bloquear a radiação térmica emitida pelo material combustível aquecido, a manta de espuma aumenta a sobrevida das vítimas que estão no ambiente e facilita a operação de combate dos bombeiros.

Segundo Landin (2007, p.17):

> Na década de 80 foi desenvolvido um extrato de espuma sintética para incêndios Classe A que podia ser aplicado em baixas concentrações, de 0,1 (zero virgula um) a 1% (um por cento). Esse fato tornou a espuma mais viável do ponto de vista econômico e, consequentemente, fez com que fosse reconsiderada como um agente extintor de incêndios Classe A admissível aos corpos de bombeiros.

A espuma deve ser eficiente ao ponto de impedir que os vapores inflamáveis liberados pelo material em combustão entrem em contato com o comburente. Além disso, evita a pirolise por atrasar a reignição conforme apresentado na Figura *2*: Esquema da espuma formada.

Figura 2: Esquema da espuma formada

Fonte: Oswaldo, 2018

Segundo Silva (2018), existem 3 (três) variações para o uso da espuma, são elas: Seca (alta expansão), Molhada (média expansão) e Água molhada (baixa expansão).

A espuma seca é empregada para a proteção dos materiais e áreas que não foram atingidas pelas chamas. Nesse tipo de espuma, utiliza água em menor concentração. Dessa forma o composto se torna mais leve e adere com maior facilidade às superfícies (Silva, 2018).

A concentração de LGE comercial (BIO FOR C) nesse extrato é de 0,5% ou de 1% para o protótipo de LGE institucional.

A espuma molhada por sua vez é utilizada nas operações de combate a incêndio (ataque direto[4]) e também nos locais onde não foram incendiados, mas que estão sob forte influência do calor (ataque indireto[5]) (CBMDF, 2012).

Este tipo de concentração tem maior capacidade de resfriamento e também utiliza a concentração de 0,3% de LGE (BIO FOR C) e 0,7% para o protótipo de LGE institucional.

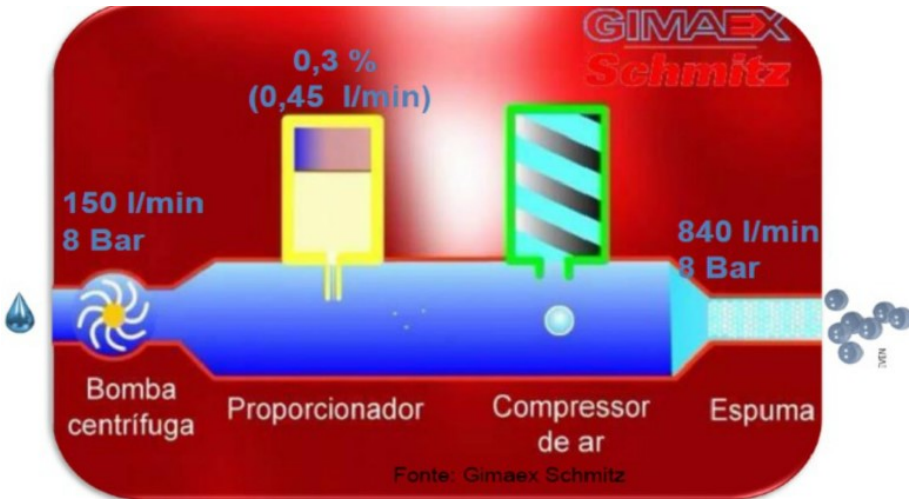
[4] Ataque direto é a aplicação de água diretamente sobre o foco onde se desenvolve o fogo, resfriando o material abaixo de sua temperatura de ignição (Manual de Combate Incêndio, Módulo 3, pag. 161).
[5] Ataque indireto é aplicado água nas paredes e no teto aquecidos pelo incêndio, para formar uma grande quantidade de vapor quente e úmido que reduz as chamas e, em alguns casos, chega a extinguir a base do fogo (Manual de Combate Incêndio, Módulo 3, pag. 163).

Já a água molhada é empregada normalmente em operações de rescaldo. Apenas 0,1% de LGE (BIO FOR C) é utilizado nesta configuração. Já para o LGE institucional a proporção utilizada é de 0,3%. Nesta variação de espuma, devido à falta de ar comprimido, não se chega a formar uma camada de espuma, atuando apenas como agente que diminui a tensão superficial da água possibilitando a penetração nos sólidos combustíveis em maior profundidade.

Estas três variações de espuma são obtidas a partir de configurações realizadas pelo condutor e operador de viaturas no proporcionador do sistema CAF *(Compressed Air Foam)* das viaturas de combate a incêndio do CBMDF.

Este sistema utiliza um compressor de ar que expande a espuma, melhora seu alcance na operação e proporciona economia de água.

Figura 3: Esquema de funcionamento do sistema CAF



Fonte: Silva, 2018.

O sistema CAF é composto por uma moto-bomba, compressor de ar e pelo proporcionador de concentrado de espuma. Uma bomba centrifuga é utilizada para retirar água do reservatório da viatura que será utilizada na formulação da mistura.

O proporcionador injeta a quantidade definida de LGE, de acordo com o tipo de utilização, e então a mistura sofre a injeção de ar comprimido por meio do compressor de ar para formação final da espuma mecânica.

O uso do sistema CAF permite economia de água proporcionando um uso racional desse bem e melhorando a eficiência no combate a incêndios classe A e B, em especial nos incêndios de grande e médio porte.

O sistema de produção de espuma utilizado nos testes desse trabalho foi realizado com o uso da bomba MACAW *Backpack* da fabricante Intelagard. De acordo com o fabricante, esta bomba portátil utiliza cilindros de ar comprimido para formação da espuma final e possui um reservatório de 19 litros. Segundo o fabricante, a bomba possui pressão de operações de 6,9 bar (INTELAGARD, 2017).

Figura 4: Bomba MACAW

Fonte: Edarley.com

Cabe ressaltar a baixa eficiência na geração de espuma da bomba Macaw quando comparada ao sistema CAF das viaturas que possuem maior pressão de ar para a formação da espuma. Nesse sentido, espera-se um melhor resultado dos dados quando empregada nas viaturas de combate a incêndio equipadas com o sistema CAF.

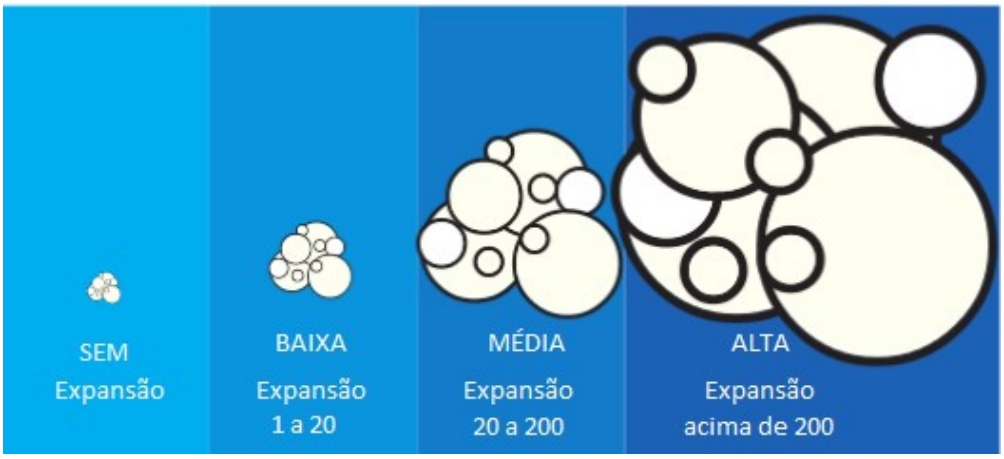
A taxa de expansão da espuma é a proporção final produzida a partir do volume do extrato depois de expandido pelo gerador. A NFPA 11 classifica a espuma em três tipos de taxa de expansão: baixa, média e alta expansão (KIDDE, 2008, p. 6).

Na baixa expansão, conhecida no CBMDF como água molhada, a taxa é de 1 a 20 e é muito utilizada em líquidos inflamáveis de classe A e B onde se pretende que a solução penetre no sólido.

Espuma de média expansão, espuma molhada, utiliza taxa de 20 a 200. Este tipo é muito utilizado para abafar a vaporização de químicos inflamáveis.

Já a espuma de alta expansão, espuma seca, maior que 200, são empregadas em ambientes confinados.

Figura 5: Taxa de expansão da espuma



Fonte 1: KIDDE, 2008

A NBR 15511/2008 estabelece os requisitos mínimos para que o LGE seja utilizado no combate a incêndio em líquidos combustíveis. Esta norma conceitua o LGE como "líquido que, quando diluído em água e aerado, gera espuma para a prevenção e extinção de incêndios em combustíveis líquidos" (ABNT, 2008, p. 2).

Além disso, a norma também divide a espuma em 3 (três) classes: A, B e B-AR. Os extratos para classe A devem ser utilizados na proporção de 0,3% para espuma molhada ou seca e 0,1% para água molhada. Conforme publicado em Boletim Geral do CBMDF nº 53 de 19 de março de 2015, estas proporções devem ser empregadas apenas em incêndios classe A, ou seja, em sólidos que queimam em superfície e profundidade.

Também segundo o Boletim Geral supracitado, os extratos classe B devem ser utilizados na proporção de 0,5% e são empregados no combate a líquidos combustíveis que queimam apenas em superfície.

A classe B-AR é utilizada na proporção de 0,6% e é manipulada no combate às chamas em líquidos combustíveis polares, ou seja, são resistentes ao contato direto com álcool.

2 A PESQUISA TÉCNICA-CIENTÍFICA DESENVOLVIDA PELO CBMDF

No ano de 2018, testes iniciais realizados pelos militares da DINVI mostraram que a espuma mecânica produzida pelo CBMDF apresentava certa eficiência nas operações de combate a incêndio. Porém, o estudo necessitava de mais etapas para a comprovação da eficácia no protótipo de LGE institucional (LGE-CBMDF). Nesse sentido, a equipe técnica

instituída pelo Boletim Geral do CBMDF nº 33/2018 iniciou os testes para desenvolvimento do LGE institucional.

O estudo consistiu em três fases. Na primeira fase a equipe realizou o estudo da patente do LGE comercial. Por serem patentes da década de 80, 90 e 2000 foi possível analisar os insumos utilizados na produção e adequar à realidade do CBMDF.

Diversos compostos não são necessários como, por exemplo, validade estendida e ante congelantes. Isso se dá porque o uso do LGE-CBMDF é para consumo imediato ou de pequeno prazo e as condições climáticas do DF não são extremas. O marco para o fim dessa fase foi o desenvolvimento de um protótipo com características semelhantes ao LGE comercial.

A segunda fase desse projeto foi à aquisição de insumos para produção em larga escala do protótipo bem como a realização de testes operacionais. Este trabalho encontra-se nesta fase, no qual ao término será produzido um relatório. Outros trabalhos e testes padronizados estão sendo executados em paralelo para se juntar a este.

A terceira fase consiste na confecção do relatório final do projeto a partir da compilação de todos os testes e ensaios executados. Também serão executados testes toxicológicos e ecotoxicológicos como forma de avaliar o impacto que o LGE-CBMDF pode trazer para o meio ambiente.

Esse foi o objeto deste estudo que buscou dar um passo a mais na pesquisa realizada pela DINVI avaliando a eficácia do protótipo de espuma produzida pela Corporação em incêndios classe A, por meio de testes padronizados de queima em *pallets*.

A DINVI é um órgão setorial subordinada ao Departamento de Segurança Contra Incêndio (DESEG). Conforme expresso na Portaria do CBMDF nº 34 de 01 de novembro de 2017 em seu artigo 18 inciso XI, entre suas atribuições encontra-se:

> XI - Estabelecimento da Diretoria de Investigação de Incêndio (DINVI) como órgão executor de programas de pesquisas técnico-científicas, com vistas à obtenção e desenvolvimento de produtos e processos voltados para a segurança contra incêndio e pânico, motivados por análises de pós-sinistro de incêndio.

Nesse mesmo sentido, a Lei 8.255, de 20 de novembro de 1991, em seu artigo 2º inciso V, estabelece a competência do CBMDF "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).

Dessa forma, evidencia-se a competência do CBMDF em desenvolver pesquisas técnico-cientificas em sua área de atuação para aprimoramento da capacitação de seus militares e aprofundamento do seu conhecimento técnico-científico.

O protótipo de LGE desenvolvido pela Corporação custa cerca R$ 400,00 (preço de varejo) enquanto o LGE comercial custa, em média, R$1.200,00, tendo em vista a última aquisição por meio de licitação. Essa redução de 70% no valor apresenta maior custo-benefício desse tipo de agente extintor podendo trazer diversas vantagens para Corporação, além da possibilidade de investimento em outras áreas e novas pesquisas.

Além disso, o LGE proporcionará diversas outras funcionalidades operacionais. Por ter menor custo, poderá ser utilizada nos treinamentos operacionais dos militares, principalmente nos cursos de formação e especialização que, devido ao ingresso permanente de alunos necessita constantemente desse insumo químico para realização de instruções e treinamentos operacionais.

Investir no melhor treinamento da tropa não só traz economia na aquisição de materiais, mas também torna o combate mais efetivo. Dessa forma, pode-se utilizar menos água durante as operações tendo em vista a melhor efetividade no uso das técnicas e maior eficiência dos militares nas operações de combate a incêndio.

Além do mais, um combate mais rápido proporciona maior tempo de vida útil dos equipamentos e viaturas, redução da necessidade de manutenção bem como o menor desgaste dos militares na atividade.

O desenvolvimento de tecnologia própria proporciona uma cultura de pesquisa técnico-científica voltada para resolver problemas imediatos do CBMDF, com a participação de todos os órgãos competentes da Corporação.

A possibilidade de se tornar autossuficiente em relação ao acesso do LGE classe A poderá tornar o CBMDF uma referência nacional na difusão dessa tecnologia. Dessa forma, garantirá também o acesso às formas de desenvolvimento do protótipo de LGE nas demais Corporações do Brasil.

Nesse sentido, espera-se, com o fomento à pesquisa, transformar o CBMDF em um centro de referência nacional no desenvolvimento de protótipos e na inovação em pesquisa de segurança contra incêndio e pânico além de reduzir os custos operacionais gerados com a aquisição comercial de LGE para treinamento operacional.

Atualmente, a espuma utilizada pela Corporação é a BIO FOR C, produzida pela empresa BIO EX. Esse composto é um aditivo umectante e espumante para incêndios florestais, urbanos e industriais. Ao se utilizar a água com o composto, a mistura penetra nos

sólidos em profundidade, aumentando a eficácia extintora da água e impedindo a reignição do fogo (EMERGÊNCIA 911, 2018).

A espuma gerada pelo LGE BIO FOR C acelera a velocidade de extinção sobre incêndios florestais, veiculares, residências e materiais classe A. Com utilização de LGE BIO FOR C, se minimiza o consumo de água permitindo assim a pronta limpeza do local sinistrado, reduzindo o grau de destruição do recinto. Ademais, o LGE BIO FOR C não prejudica o meio ambiente e é totalmente biodegradável (EMERGÊNCIA 911, 2018).

Dessa forma, apontaremos as principais vantagens que o protótipo de LGE institucional poderá trazer ao CBMDF.

3 AS PRINCIPAIS VANTAGENS DO PROTÓTIPO INSTITUCIONAL DE LGE

O CBMDF, no ano de 2015, assumiu o compromisso com o meio ambiente e a sustentabilidade aderindo ao programa da Agenda Ambiental na Administração Pública (A3P) do Ministério do Meio Ambiente.

A A3P busca englobar os princípios da responsabilidade socioambiental na Administração Pública. Para tanto foi criada uma comissão para implementação da A3P na Corporação tendo como um de seus objetivos: “Promover a economia de recursos naturais e redução de gastos institucionais” (CBMDF, 2016).

O uso da espuma no combate a incêndios urbanos levou o CBMDF a ganhar o prêmio nacional de sustentabilidade e tornar-se referência no país no uso racional de recursos hídricos (SARMENTO, 2016).

O uso desse sistema no combate a incêndio traz inúmeros benefícios para a Corporação (CBMDF, 2016), tais como:

- Menor uso da água no combate a incêndios. O uso do LGE no combate a incêndio representa um avanço no uso racional da água. Estudos indicam que o uso da espuma nas operações de combate a incêndio utiliza cerca de seis vezes menos água;
- Menor poluição atmosférica. O sistema diminui a poluição gerada em incêndios, na medida em que a espuma cobre e impede a liberação de gases tóxicos (incluindo os cancerígenos) na atmosfera e meio ambiente. Além disso, a espuma é biodegradável e em seu pior caso (Classe B-AR) ocorre à degradação em até 30 dias;

- Menor poluição pluvial. O combate com água faz com que essa escorra para a rede de águas pluviais levando consigo materiais tóxicos provenientes da queima. Ao usar a espuma, ela fixa os resíduos evitando sua dispersão;
- Menor risco na atividade de combate. O sistema traz inúmeras vantagens, pois reduz o tempo de exposição do militar no combate diminuindo o desgaste físico e aumentando a sobrevida das vitimas presentes no ambiente sinistrado;
- Atua por abafamento e resfriamento. Isola o combustível do comburente dificultando a permanência das chamas no material combustível além de retirar calor do material com maior facilidade visto sua alta viscosidade que permite maior aderência à superfície.

Diferentemente do combate às chamas com o uso de água, o combate com a espuma visa o ataque aos materiais sólidos que estão emitindo calor evitando assim efeito chamado *feedback* radioativo (SILVA, 2018).

Esse fenômeno acontece devido ao retorno da radiação térmica proveniente do aquecimento dos materiais inflamáveis que aumentam a pirólise e a propagação das chamas sobre a superfície aquecida, que possui maior massa de energia quando comparada à fumaça.

Entende-se por pirólise, ou decomposição térmica, o desprendimento de gases proveniente da quebra de moléculas que compõem uma substância em partículas menores devido ao calor do ambiente. Se não houver interferência, caso a queima seja em local confinado, o ambiente poderá se aquecer favorecendo a generalização do incêndio.

Segundo Torquato (2014), a água é o principal agente extintor utilizado pelos Corpos de Bombeiros. A eficiência da água nos incêndios deve-se ao efeito de resfriamento em virtude do seu alto calor de vaporização, 40,66 $kJ.mol^{-1}$. Dessa forma, é possível retirar calor do material e remover o calor da combustão. Já a espuma possui calor de vaporização de 121,98 $kJ.mol^{-1}$ gerando um ganho significativo quando comparado ao agente extintor convencional.

Por possuir água em sua composição, deve-se ter precaução no uso da espuma em objetos energizados. Em último caso, recomenda-se manter uma distância de segurança para aplicação dos jatos de espuma de 4 (quatro) metros para equipamentos energizados com 35.000V (trinta e cinto mil volts) e de 1 (um) metro para equipamentos com 230V (duzentos e trinta volts) (LANDIM, 2007).

Alguns tipos de espumas possuem capacidade corrosiva quando aplicada sobre alguns materiais e também merecem atenção durante sua aplicação. Além disto, o seu uso pode trazer

irritação para pele e olhos e por isso deve-se sempre ser aplicada com uso de Equipamentos de Proteção Individuais (EPIs) (UNITED STATES FIRE ADMINISTRATION, 1996).

Com o desenvolvimento do LGE institucional, a Corporação poderá reduzir os custos operacionais além de trazer maior eficiência nas operações de incêndio. Os testes que foram realizados comparando o protótipo de LGE do CBMDF com o LGE comercial e a água serão tratados no tópico a seguir.

4 METODOLOGIA

Segundo Gil (2002, p. 41), o objetivo da pesquisa exploratória é proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses. Assim, este trabalho de cunho científico teve como objetivo buscar avaliar, por meio de testes padronizados, a eficácia do protótipo de LGE desenvolvido pela Corporação em comparação ao uso de água e ao LGE comercial.

Ainda sobre Gil (2002, p. 99), "quando é realizada em laboratório, a possibilidade de controle das variáveis é bem maior, já que o ambiente pode ser preparado de forma que permita a maximização do efeito das variáveis independentes". Neste sentido, o objeto da pesquisa é o estudo de campo visto que a coleta de dados se deu por meio de observações em queimas padronizadas ocorridas na DINVI.

O método a ser empregado no estudo foi hipotético-dedutivo, pois os agentes extintores em análise foram submetidos a testes comparativos como forma de comparar o protótipo de LGE institucional com o LGE comercial (BIO FOR C).

Os testes práticos de combate às chamas foram realizados em engradados de madeira – *pallets* – utilizando a espuma mecânica formada pelos dois LGE's supracitados.

A metodologia foi similar à utilizada durante o trabalho de conclusão do Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais (CAO) – da Ten-Cel. Helen em 2007, porém utilizando o combate com água, BIO FOR C e o protótipo de LGE do CBMDF.

A carga de incêndio utilizada nos testes consistiu em 3 (três) engradados de madeira, *pallets*, posicionados verticalmente um sobre o outro e foram submetidos a uma pré-queima de 5 (cinco) minutos.

Figura 6: Disposição dos três pallets para queima

Fonte: Autor

Porções de estopas foram embebidas em uma quantidade de 200 mL de líquido inflamável (gasolina), sendo utilizadas como agente ignitor para o início das chamas até atingir a generalização do incêndio nos *pallets*.

Figura 7: Porção de estopa utilizada de isca para a queima

Fonte: Autor

Finalizado o tempo de pré-queima, o combate foi efetuado com ataque direto em forma de Z na parte superior do material combustível, *pallets,* bem como nas laterais dos mesmos.

O tempo total de aplicação da espuma mecânica foi de 40 (quarenta) segundos. Após o término deste tempo, aguardou-se um novo tempo de 10 (dez) minutos com intuito de verificar se haveria reignição das chamas.

Figura 8: Bomba MACAW e *Pallet* em chamas.

Fonte: Autor

Para todos os testes a bomba Macaw foi empregada em sua plena capacidade, 19 litros, e com cilindros cheios com cerca de 270 ± 10 bar de ar comprimido.

Cada cilindro foi utilizado no máximo em 2 (dois) testes padronizados buscando sempre manter o máximo de 75% da pressão inicial do reservatório.

Foi mensurado o tempo de combate empregado para cada agente extintor. Além disso, após a aplicação dos agentes, foi verificado o volume presente na bomba MACAW como forma de mensurar a quantidade real de mistura utilizada no combate.

Ademais, por meio de tabela própria, foi comparada a eficácia do protótipo de LGE institucional tanto com o LGE comercial quanto com a água.

4.1 RESULTADOS

Para análise dos dados foram realizadas 4 (quatro) queimas para cada agente extintor (protótipo de LGE, LGE comercial e água).

Em todos os testes foram coletados o tempo até o término das chamas, após o combate, e a quantidade de agente extintor empregado na extinção do incêndio. Como forma de manter uma padronização nos testes, a aplicação dos agentes extintores teve duração total de 40 (quarenta) segundos.

Finalizado o combate, após os 40 (quarenta) segundos, o material combustível ficou em observação por 10 (dez) minutos (tempo de espera de reignição) com o intuito de avaliar a possibilidade de reignição das chamas.

Ao término do tempo de espera, o volume restante no interior do reservatório da bomba MACAW foi medido para mensurar a quantidade da mistura que fora utilizada em cada combate.

Devido às propriedades do protótipo institucional, a proporção utilizada no combate foi de 0,7% para o tipo espuma molhada. Os testes foram realizados a uma temperatura ambiente de 25ºC e umidade de 41% conforme site Clima Tempo consultado no dia do teste.

Dessa forma foram coletados os seguintes dados conforme apresentado na tabela abaixo.

Tabela 1: Dados coletados com protótipo de LGE a 0,7%.

Teste	Quantidade de LGE	Tempo total de combate	Reignição	Vol. de mistura utilizado no combate (±0,5ml)	Tempo para término das chamas
1	133 ml	40s	Não	9.5l	19.8s
2	133 ml	40s	Não	8.5l	20.9s
3	133 ml	40s	Não	8.0l	22.1s
4	133 ml	40s	Não	8.5l	20.2s

Fonte: Autor.

Devido à bomba MACAW possuir um volume total de 19 litros, foi utilizado à quantidade de 133 ml de LGE-CBMDF para formação da mistura.

Em todos os testes realizados não houve reignição para esse agente extintor. Assim, fica evidente o papel da espuma em retirar o calor do material combustível bem como abafar o mesmo evitando contato com comburente presente no ambiente.

O tempo médio para cessar as chamas no material foi de 20,7 segundos. Já a média de consumo utilizado para o combate foi de 8,6 litros de mistura.

No teste 4 (quatro) houve o aparecimento de uma chama após 3 minutos e 22 segundos do término do combate. Porém, a chama não chegou a reignir o material combustível e rapidamente se extinguiu.

Dando continuidade aos testes, foram realizados combate com o BIO FOR C a 0,5% conforme recomendação do fabricante para a produção de espuma molhada. Seguindo a proporção, foi utilizado 95 ml de extrato de BIO FOR C para o volume total da bomba

MACAW. Esses testes foram realizados a uma temperatura ambiente de 25ºC e umidade de 51% conforme informações retiradas do site Clima Tempo no dia dos testes. Os dados coletados são apresentados na tabela abaixo.

Tabela 2: Dados coletados com BIO FOR C a 0,5%.

Teste	Quantidade de LGE	Tempo total de combate	Reignição	Vol. de mistura utilizado no combate (±0,5ml)	Tempo para término das chamas
1	95 ml	40s	Não	9,5l	16.5s
2	95 ml	40s	Não	8,0l	18,2s
3	95 ml	40s	Não	8,5l	17,8s
4	95 ml	40s	Não	8,5l	17,4s

Fonte: Autor.

Durante a execução dos testes também não houve reignição do material combustível. O tempo médio para término das chamas foi de 17,4 segundos e o consumo médio da mistura foi de 8,6 litros. O consumo apresentado foi o mesmo para o protótipo, porém com menor tempo para término das chamas.

Em apenas um dos testes houve um aumento fora do comum das chamas que pode ter sido causado devido à diferença entre os elementos de madeira e os ventos que, no momento deste teste em específico, ficaram mais fortes. A fim de se manter o padrão para as queimas este teste foi descartado.

Por último, foram executadas as queimas tendo como agente extintor a água. Neste teste foram utilizados os mesmos parâmetros e equipamentos como forma de seguir a padronização dos testes. Os dados coletados são apresentados na tabela abaixo.

Tabela 3: Dados coletados com água.

Teste	Quantidade de mistura	Tempo total de combate	Reignição	Vol. utilizado no combate (±0,5ml)	Tempo para término das chamas
1	-	40s	Sim	7,5l	29,7s
2	-	40s	Não	8,0l	22,9s
3	-	40s	Não	9,0l	23,5s
4	-	40s	Sim	18,5l	28,3s

Fonte: Autor.

Durante a execução dos testes, 2 (duas) das 4 (quatro) queimas apresentaram reignição dentro do tempo de 10 (dez) minutos. Os testes foram realizados a uma temperatura ambiente

de 25ºC e umidade de 51% conforme informação do site Clima Tempo acessado no momento dos ensaios.

No teste 4 (quatro) ocorreram 2 (duas) reignições dentro da janela de espera. Após finalizado o combate da primeira reignição um novo tempo de 10 (dez) minutos foi aguardado onde novamente as chamas surgiram. O volume de água considerado para este teste foi o total empregado nos 3 (três) combates.

O tempo médio para o término das chamas foi de 26,1 segundos e o consumo de água foi de 10,7 litros.

Outro ponto a destacar foi que em todos os testes, para esse agente extintor, pôde-se perceber maior pirólise do material combustível o que facilitou a reignição das chamas nos engradados de madeira.

5 DISCUSSÃO

Finalizados os testes, pôde-se perceber a principal vantagem do uso da espuma durante as operações de combate a incêndio. Devido às propriedades de abafamento e resfriamento do material combustível a espuma proporciona maior vantagem no combate a incêndio quando comparadas com a água.

O uso da espuma evita maior desgaste das guarnições de incêndio principalmente nas operações de rescaldo devido dificuldade de reignição do material combustível. Dessa forma, a espuma proporciona melhores condições de trabalho durante as operações bem como evita o retrabalho em caso de reignição.

A tabela 4 apresenta a média das quatro queimas realizadas para cada agente extintor onde os principais fatores em análise foram o tempo para término das chamas e o consumo, em litros, do agente extintor testado.

Tabela 4: Comparativo da média das quatro queimas.

Fator	Protótipo CBMDF	BIO FOR C	Água
Término das chamas (segundos)	20,7	17,4	26,1
Consumo de agente extintor em litros (±0,5ml)	8,6	8,6	10,7

Fonte: Autor

Após análise dos dados percebe-se que o tempo para o término das chamas é menor quando utilizado o extrato de BIO FOR C. Isso ocorre devido a maior tecnologia empregada na sua produção e em seu desenvolvimento tornando esse agente extintor mais eficiente que os outros em análise.

Tendo em vista que a principal utilidade do protótipo institucional neste estudo é a capacitação e o treinamento dos militares em cursos de formação ou especialização, o LGE institucional se mostrou eficiente. As propriedades físicas se mostraram semelhantes ao extrato industrializado tornando possível a utilização deste para a finalidade idealizada.

Militares melhores capacitados com o uso desse agente extintor durante as atividades de combate a incêndio proporcionam melhor emprego do recurso reduzindo assim o tempo de exposição às chamas que acarreta menor desgaste físico dos bombeiros, equipamentos e viaturas.

Dessa forma, é possível reduzir os custos operacionais nas atividades não só com relação aos equipamentos, mas também da saúde dos militares empregados.

Cabe ressaltar que, segundo o corpo de instrutores, o protótipo foi utilizado durante a especialização dos militares do Curso de Operações em Incêndio – COI/2019 – tanto durante a execução das instruções quanto nos simulados de combate a incêndio.

A limitação desse projeto foi a baixa carga de incêndio proporcionada pelos elementos de madeira. Além disso, a baixa eficiência do sistema MACAW não favorece a produção de espuma mecânica de qualidade.

Alguns pontos podem ter favorecido divergências na execução dos testes. Tais como:

- *Pallets*: a maioria dos *pallets* possuía a mesma estrutura aparente, porém divergências no tipo de madeira e a presença de resíduos sobre o material combustível pode ter gerado diferença nas queimas;
- Diferente carga de incêndio: apesar de ter sido utilizado a mesma quantidade de pallets na queima, as divergências apontadas no item anterior podem ter favorecido para diferenças de carga de incêndio nos testes;
- Condições meteorológicas: a umidade relativa do ar e a temperatura ambiente podem ter interferido nas condições de queima, vindo a afetar o tamanho das chamas e a generalização do incêndio. Outro fator relevante foram os ventos que constantemente sofriam mudança de direção e velocidade interferindo no aporte de oxigênio durante a queima;
- Pressão dos cilindros: a marcação de pressão dos cilindros não era precisa. O manômetro de pressão não possuía muitas marcações o que dificultava a precisão durante das recargas. Essa diferença de pressão interfere na espuma tanto na sua formação quanto na dispersão sob o material combustível.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi realizar testes padronizados com o protótipo de LGE como forma de testar a eficácia no desempenho do mesmo a fim de ser utilizado em treinamentos operacionais dos militares da corporação. Assim, como produto final desse estudo, um relatório técnico foi produzido complementar aos estudos realizados no Projeto de Pesquisa Técnico-Científica n° 01/2018, publicado no Boletim Geral do CBMDF n° 33/2018.

A hipótese apresentada foi respondida tendo em vista que os testes realizados apresentaram resultados positivos em relação à eficácia do protótipo de LGE institucional quando comparado a outros agentes extintores como a água e o LGE comercial. Neste sentido, percebe-se a capacidade que o protótipo tem em realizar sua proposição.

O uso do extrato gerador de espuma em treinamentos operacionais tem muito a contribuir para o avanço da maleabilidade e melhores resultados durante as operações de incêndio. Outrossim, por ter menor custo de produção torna possível o emprego do LGE-CBMDF em treinamentos operacionais em larga escala.

Cabe ressaltar o alto custo com a manutenção do sistema CAF das viaturas de combate a incêndio. É sabido que a falta do uso de qualquer equipamento mecânico não o exime de manutenções além de gerar outros problemas como, por exemplo, ressecamento de mangueiras e componentes internos comprometendo-o devido à falta de uso.

Atualmente, diversas viaturas que possuem corpo de bombas com o sistema CAF necessitam de reparos tornando o custo operacional maior em virtude das constantes manutenções.

A Corporação tem a competência de realizar o desenvolvimento e o fomento às pesquisas para obtenção de processos e produtos relacionados à segurança contra incêndio e pânico.

Nesse sentido, pesquisas como esse protótipo visam afirmar este compromisso do CBMDF tornando-o referência nacional na difusão dessa tecnologia e propiciando o acesso a produção de LGE por outras Corporações em seus treinamentos e, futuramente, nas operações de combate a incêndio.

Sugere-se para trabalhos futuros a realização de testes com outros materiais combustíveis e de maior carga de incêndio como forma de se avaliar a eficiência do protótipo de LGE institucional em incêndios de médio e grande porte.

Também se propõe testar o protótipo formado a partir do sistema CAF o qual se espera uma produção de melhor qualidade, com possibilidade de melhores resultados e onde se

almeja que seja utilizado, futuramente, durante as atividades de treinamento e capacitação. Apesar da sua compatibilidade com o sistema CAF, o LGE-CBMDF ainda precisa de autorização do Centro de Manutenção de Equipamentos e Viaturas (CEMEV) para ser empregado nas viaturas.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Pedro Henrique Vilela de. **Vantagens do uso de espuma no combate a incêndios classe a, no âmbito do corpo de bombeiros militar do estado de goiás.** 2014. 27 f. TCC (Graduação) - Curso de Formação de Oficiais. CBMGO. Goiânia. 2014. Disponível em: <http://abmgo.com/tcc-cfo>. Acesso em: 17 jun. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9443**: Extintor de incêndio classe A – Ensaio de fogo em engradado de madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 2002

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.

A3P, COMISSÃO. **O CBMDF conquista o 1º lugar no 6º prêmio de boas práticas de sustentabilidade A3P.** Disponível em: < https://www.cbm.df.gov.br/3263-o-cbmdf-conquista-o-1-lugar-no-6-premio-de-boas-praticas-de-sustentabilidade-a3p >. Acesso em: 26 jun. 2018.

A3P, COMISSÃO. **A Comissão de Sustentabilidade A3P do CBMDF orienta todos os militares quanto aos objetivos da A3P**. Disponível em: <https://www.cbm.df.gov.br/2305-o-que-%C3%A9-a3p>. Acesso em: 28 jun. 2018.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. **Boletim Geral 053/2015. Brasília, 2015.**

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. **Boletim Geral 033/2018. Brasília, 2018.**

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. **Manual básico de combate a incêndio: comportamento do fogo.** 2ª edição. Brasília, 2012.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. **Manual básico de combate a incêndio: técnica de combate a incêndio.** 2ª edição. Brasília, 2012

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de emprego de espuma mecânica no combate a incêndios.** 1ª edição. São Paulo. 2006.

EDARLEY. **Macaw Backpack**. Disponível em: < https://www.edarley.com/macaw-backpack/>. Acessado em: 06 nov. 2019.

EMERGÊNCIA 911. **Líquido gerador de espuma bio for c - aditivo umectante 0,1 - 0,3% e espumante 0,3 - 0,5%.** Disponível em: <https://www.911emergencia.com.br/p-2151987-Liquido-Gerador-de-Espuma-BIO-FOR-C---Aditivo-Umectante-0,1---0,3-e-Espumante-0,3---0,5>. Acesso em: 17 jun. 2018.

FIGUEREDO, Rita C. R.; RIBEIRO, Fabiana A. L.; SABADINI, Edvaldo. **Ciência de espumas - aplicação na extinção de incêndios**. **Química Nova.** Campinas, p. 126-130. 01 jun. 1998. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v22n1/1146.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2018.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002

IBRAM**. Revista Técnica de Biodiversidade e Qualidade Ambiental**. Brasília. 2018. Disponível em:< http://www.ibram.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/03/Revista-Biodiversidade.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2018

INTELAGARD. **Operator Manual. MACAW® Backpack Compressed Air Foam System (CAFS).** Lafayette, Colorado. 2017. Disponível em: < https://www.darley.com/documents/equipment/intelagard/Macaw-Manual-2017.pdf >. Acesso em: 07 dez. 2019.

KIDDE. **Guia de Espuma para Bombeiros e Brigadistas**. Ago 2008. Disponível em: <www.kidde.com.br/Documents/GuiaBrigadista.pdf>. Acesso em: 08 dez 2018.

LANDIN, Helen Ramalho de Oliveira. **O estudo da espuma como agente extintor de incêndios classe A**. 2007. 71p. TCC Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais (CAO). CBMDF. Brasília

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. **NFPA 11: Standard for Low-, Medium-,and High-Expansion Foam**. 2005. Disponível em: <https://www.nfpa.org/assets/files/AboutTheCodes/11/TIA11-05-1.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2019.

MMA. **6º prêmio A3P: melhores práticas de sustentabilidade.** Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Articulação Institucional e Cidadania Ambiental. Departamento de Produção e Consumo Sustentáveis. Brasília: MMA, 2016.

OSWALDO, BOMBEIRO. **Introdução Espuma de Combate**. Disponível em: <http://bombeiroswaldo.blogspot.com/2015/06/introducao-espuma-de-combate-incendio.html> Acesso em: 03 out. 2018.

SARMENTO, Larissa. **Economia no uso de água dá a Bombeiros do DF prêmio nacional de sustentabilidade.** 2016. Disponível em: <https://www.agenciabrasilia.df.gov.br/2016/11/13/economia-no-uso-de-agua-da-a-bombeiros-do-df-premio-nacional-de-sustentabilidade/>. Acesso em: 28 jun. 2018.

SILVA, Guilherme Messias da. **Técnicas de combate a incêndio com uso de espuma e câmera térmica.** Brasília: CBMDF, 2018. Slides utilizados em instruções de combate a incêndio.

TORQUATO, Daniel Elias. **Estudo sobre os líquidos geradores de espuma no combate a incêndios classe "B". Uma avaliação acerca dos conhecimentos técnicos entre os bombeiros do 1º e 10º batalhões de bombeiros militares de Santa Catarina.** 2014. 77p. TCC (Graduação) - Curso de Formação de Oficiais. CBMSC. Florianópolis.2014. Disponível em: <http://biblioteca.cbm.sc.gov.br/biblioteca/index.php/component/docman/search_form>. Acesso em: 17 dez 2018

UNITED STATES FIRE ADMINISTRATION**. Compressed air foam for structural fire fighting: a field test**. Boston, Massachusetts. USFA-TR-074. January,1994.