

**CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL
DEPARTAMENTO DE ENSINO, PESQUISA, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DIRETORIA DE ENSINO
ACADEMIA DE BOMBEIRO MILITAR
“Coronel Osmar Alves Pinheiro”
CURSO DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS**

Cadete BM/2 **NÚBIA** LORENA FREIRE DA SILVA



**HISTÓRICO DA EVOLUÇÃO DA PESQUISA DO PROTÓTIPO DE
LÍQUIDO GERADOR DE ESPUMA DESENVOLVIDO PELO CBMDF**

BRASÍLIA
2023

Cadete BM/2 **NÚBIA** LORENA FREIRE DA SILVA

HISTÓRICO DA EVOLUÇÃO DA PESQUISA DO PROTÓTIPO DE LÍQUIDO GERADOR DE ESPUMA DESENVOLVIDO PELO CBMDF

Trabalho apresentado à disciplina de Metodologia Científica como requisito para conclusão do Curso de Formação de Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal.

Orientador: Maj. QOBM/Comb. ALISSON BERNARDI DE **BARROS**

BRASÍLIA
2023

HISTÓRICO DA EVOLUÇÃO DA PESQUISA DO PROTÓTIPO DE LÍQUIDO GERADOR DE ESPUMA DESENVOLVIDO PELO CBMDF

Artigo científico apresentado à disciplina Trabalho de conclusão de curso como requisito para conclusão do Curso de Formação de Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal.

Aprovado em: 17/11/2023.

BANCA EXAMINADORA

THIARA **ELISA** DA SILVA – Cap. QOBM/Comb.
Presidente

RAFAEL COSTA **GUIMARÃES** – Cap. QOBM/Compl.
Membro

ROBSON FRANCISCO DOS SANTOS – 2º Ten. QOBM/Comb.
Membro

ALISSON BERNARDI DE **BARROS** – Maj. QOBM/Comb.
Orientador

RESUMO

Esse trabalho consistiu em realizar um estudo sobre as pesquisas que abrangeram o desenvolvimento do protótipo de líquido gerador de espuma do Corpo de Bombeiros do Distrito Federal (LGE-CBMDF) e, a partir disso, elaborar um histórico da evolução das pesquisas realizadas. Os principais objetivos foram gerar uma base para pesquisas futuras e analisar e comparar a evolução do LGE da corporação através dos resultados de ensaios laboratoriais realizados na FIREMETRIA Laboratório de Ensaios e Análises, em Valinhos - São Paulo, obtidos nessa pesquisa com os resultados obtidos em TCC anterior. A forma de abordagem utilizada na pesquisa foi qualitativa e o procedimento metodológico utilizado foi comparativo, no qual os resultados da revisão sistemática foram analisados e comparados em relação a todas as pesquisas incluídas. Até o momento, essas investigações proporcionaram descobertas e contribuições significativas para o Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF). Estudos concluíram que o protótipo, por possuir características de LGE, é mais eficaz e eficiente que a água no combate a incêndios em líquidos inflamáveis (classe B). O último ensaio laboratorial mostrou uma melhora, no entanto, ainda não foi suficiente para comprovar a eficiência no desempenho do LGE-CBMDF em incêndios classe B. Enfatizou-se que o estudo e o desenvolvimento contínuo do LGE da Corporação são cruciais para diminuir os custos da utilização de espuma e aumentar seu uso nos combates a incêndios.

Palavras-chave: Líquido gerador de espuma. Protótipo. Pesquisa. Combate a incêndio. Testes operacionais. Histórico.

HISTORY OF THE EVOLUTION OF THE RESEARCH OF THE FOAM GENERATING LIQUID PROTOTYPE DEVELOPED BY CBMDF

ABSTRACT

This work consisted of conducting a study on the research related to the development of the foam-generating liquid prototype of the Fire Department of the Federal District (LGE-CBMDF), and from this study, to create a historical record of the evolution of the conducted research. The main objectives were to establish a foundation for future research, analyze and compare the evolution of the department's LGE through the results of laboratory tests performed at FIREMETRIA Laboratory of Tests and Analysis in Valinhos - São Paulo, obtained in this study with the results from a previous thesis. The research approach used was qualitative, and the methodological procedure employed was comparative, in which the results of the systematic review were analyzed and compared with all the included studies. So far, these investigations have yielded significant discoveries and contributions to the Military Fire Department of the Federal District (CBMDF). Studies have concluded that the prototype, due to its foam-like characteristics, is more effective and efficient than water in combating fires involving flammable liquids (Class B). The latest laboratory test showed improvement; however, it has not been sufficient to confirm the efficiency of the LGE-CBMDF performance in Class B fires. It was emphasized that ongoing study and development of the department's LGE are crucial in reducing the costs of foam utilization and increasing its use in firefighting.

Keywords: Foam-generating liquid. Prototype. Search. Firefighting. Operational tests. History.

1. INTRODUÇÃO

Os Corpos de Bombeiros foram criados com o objetivo principal de combater a incêndios. Com o desenvolvimento das cidades, as ocorrências de incêndio se intensificaram. Diante desse cenário, com o passar do tempo, as técnicas utilizadas nos combates foram variando e estão em constante evolução. O desenvolvimento de novas tecnologias e a experiência dos bombeiros impulsionam essa evolução. Nesse contexto, ao longo dos anos, processos foram desenvolvidos para a extinção do fogo: retirada de material, resfriamento, abafamento e quebra da reação em cadeia.

O processo de extinção de incêndios que consiste na retirada do calor envolvido no processo de combustão (resfriamento) é o método mais utilizado pelos Corpos de Bombeiros. Utilizam-se agentes extintores para reduzir a temperatura dos materiais incendiados. A água está entre os agentes extintores mais utilizados nessa técnica por ser de mais fácil acesso e custo baixo.

O combate com água exige um maior esforço e, conseqüentemente, gera um maior desgaste dos bombeiros. Ademais, para se ter bons resultados com uso da água, necessita-se de técnicas apuradas. Falhas na utilização das técnicas corretas podem levar ao aumento de temperatura e formação de vapores no ambiente incendiado, o que pode causar sérios transtornos.

Diante da necessidade de um agente extintor melhor que a água, surgiu a espuma, um agente extintor de maior custo, mas de grande eficiência. Esse agente extintor torna o combate mais rápido, reduz os danos patrimoniais e o desgaste dos bombeiros envolvidos no combate por diminuir rapidamente a temperatura do ambiente.

A espuma para combate a incêndio é formada a partir da mistura de água com líquido gerador de espuma (LGE), e, por meio de um processo mecânico, introduz-se ar na mistura. Utiliza-se espuma no combate a incêndios há muitos anos, porém, no Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF) o início do uso foi a partir dos anos 2000, quando se tornou viável a adoção de combate a incêndios com espuma mecânica, um agente extintor mais eficaz do que a água. Isso aconteceu graças à

implementação do LGE e à utilização de misturadores de espuma nas linhas de mangueiras (Barros, 2020).

O uso dos misturadores entrelinhas não se consolidou na corporação de forma eficiente, e a busca por melhorias nas técnicas e tecnologias empregadas continuou na corporação. Entre 2012 e 2016, o CBMDF recebeu várias unidades de viaturas que dispunham da tecnologia CAFS (*Compressed Air Foam System*). Nesse contexto, foi consolidado no CBMDF um novo paradigma de uso de espuma mecânica no combate a incêndio (Barros, 2020).

Devido a relevância do uso da espuma, surgiram diversas pesquisas sobre LGE, tanto no âmbito nacional, quanto internacional. Essa pesquisa científica leva em consideração o CBMDF no desenvolvimento técnico-científico de LGE próprio para combate a incêndio urbano. Após uma série de experimentos conduzidos em laboratório na Diretoria de Investigação de Incêndio (DINVI), a Equipe Técnica designada conforme as diretrizes do Boletim Geral do CBMDF nº 33/2018 alcançou o êxito na criação de um protótipo interno de LGE classe A. Esse protótipo apresenta características físico-químicas comparáveis às características do LGE BIO FOR C (Alaby, 2019).

Surgiram, também, vários instrumentos normativos e documentos que possibilitaram a utilização da espuma de forma eficaz e eficiente. Um desses instrumentos é Norma Brasileira (NBR) 15511 (2008) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que discorre sobre os testes necessários para LGE destinados a incêndios em líquidos inflamáveis (LGE Classe B). A referida norma com as suas características serviu como base para os testes físico-químicos realizados em 2022 e 2023 em laboratório com amostras diferentes de LGE desenvolvidas no CBMDF. Os testes citados foram analisados e comparados nessa pesquisa.

Constantemente há escassez de LGE na Corporação, além de seu custo ser alto. Por conseguinte, é indispensável os estudos e ensaios desse agente extintor para que a Corporação possa economizar ou até se tornar autônoma na produção de LGE.

O presente trabalho científico tem sua importância, pois busca contribuir com a segunda fase da Pesquisa Técnico Científica (PPTC) nº 1/2018, que busca a realização de testes operacionais e análise da eficiência e eficácia do protótipo.

Desde a criação do protótipo de LGE da Corporação, surgiram vários estudos que buscaram contribuir com a segunda fase da Pesquisa. Nesse trabalho, a fim de gerar um histórico da evolução dos estudos do protótipo de Líquido gerador de espuma do CBMDF (LGE-CBMDF), realizou-se pesquisa bibliográfica em todas as pesquisas já realizadas desde o desenvolvimento do protótipo de LGE da Corporação em 2018.

O objetivo geral do presente artigo é realizar um **registro histórico-institucional, por meio de levantamento de dados, da evolução da pesquisa do protótipo de LGE-CBMDF**. Baseado no objetivo geral, formulou-se os seguintes objetivos específicos:

- a) Entender o processo de formação, identificar as propriedades físico-químicas e verificar as vantagens do uso da espuma em detrimento do uso da água;
- b) Analisar e comparar a evolução do LGE da corporação através dos resultados de ensaios laboratoriais realizados na Petrobrás (FIREMETRIA Laboratório de Ensaios e Análises, em Valinhos - São Paulo) obtidos nesse estudo com os resultados obtidos em TCC anterior;
- c) Gerar uma base para pesquisas futuras; e
- d) Apresentar, como produto, um *flyer* informativo contendo o histórico da pesquisa do LGE-CBMDF.

Uma vez que o presente artigo científico pretendeu responder a seguinte pergunta: **Como se desenvolveu a pesquisa técnico-científica do protótipo de LGE do CBMDF?**

Percebe-se também que o trabalho proposto está alinhado com o objetivo dez do Plano Estratégico 2017-2024 da Corporação que é “Desenvolver pesquisas e a Gestão do conhecimento” (CBMDF, 2016, p. 23), com o objetivo de se obter processos e produtos oriundos de pesquisas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Durante muito tempo acreditava-se que, para que houvesse fogo, eram necessários três elementos: o comburente, geralmente o oxigênio, o calor e o combustível, constituindo-se assim o triângulo do fogo (CBMDF, 2009). Porém, estudos científicos mostraram que existe uma reação química contínua entre o combustível e o comburente, denominada reação em cadeia. Esses três elementos, unidos pela reação em cadeia, é didaticamente representado pelo tetraedro do fogo como mostra a figura 1.

Tetraedro do fogo é a combinação do combustível com o oxigênio, na presença de uma fonte de calor, em uma reação química em cadeia, liberando energia em forma de luz e mais calor, além de outros produtos químicos. (CBMDF, 2009, p. 12).

Figura 1 – Tetraedro do fogo



Fonte: CBMMG (2020, p. 45).

2.1 Métodos de extinção de incêndios

A combustão se processa por meio do tetraedro do fogo, como visto anteriormente. Segundo o CBMDF (2009, p. 87), “retirando-se um ou mais elementos do fogo, o incêndio extingui-se-á.”

Seguindo este raciocínio, desenvolveram-se processos de extinção do fogo, sendo eles: a retirada de material, o resfriamento, o abafamento e a quebra da reação em cadeia. Os agentes extintores atuam de maneira específica na combustão, eles podem extinguir o incêndio por meio de um ou mais processos de extinção. Portanto, devem ser empregados de forma cautelosa, observando a sua correta utilização e o

tipo de classe do incêndio. Os principais agentes extintores são: a água, a espuma, os pós químicos e os gases inertes (o mais conhecido é o dióxido de carbono, CO₂) (CBMES, 2014). O quadro 1 traz a classificação dos materiais combustíveis, os seus principais métodos de extinção e os agentes extintores indicados.

Quadro 1 - Classificação dos materiais combustíveis e os principais métodos de extinção conforme o INMETRO.

CATEGORIA	MATERIAIS	MÉTODO DE EXTIÇÃO
Classe A	Madeira, tecido, papel, borracha, plástico	Resfriamento – Água, Espuma, Pó químico ABC
Classe B	Líquidos inflamáveis, gases e graxas	Abafamento – Espuma, Pó químico, CO ₂
Classe C	Materiais elétricos	Abafamento - Pó químico, CO ₂

Fonte: Adaptado de CBMDF (2009).

Analisando os métodos de extinção de acordo com as classes dos materiais percebe-se que a água é indicada apenas para os incêndios classe A. Já a espuma apresenta a vantagem de ser indicada tanto para resfriar como para abafar, abrangendo também os materiais de classe B. Adiante serão abordadas mais vantagens da espuma em relação à água.

2.1.1. Retirada de material

Este método de extinção consiste basicamente em retirar o material combustível que ainda não foi atingido pela combustão na área do incêndio, dessa forma, impede que o fogo se propague para outros cômodos ou pavimentos (CBMGO, 2017). De acordo com Dantasnet (2013), são exemplos desse método: realização de aceiros em incêndios florestais, interrupção de vazamento de combustível líquido ou gasoso etc.

2.1.2. Resfriamento

O resfriamento é o método mais utilizado, e a água é o agente extintor mais empregado nessa técnica, por ser mais acessível e por possuir grande capacidade de absorver calor.

O CBMES (2014, p. 60) traz que “É inútil o emprego de água onde queimam combustíveis com baixo ponto de combustão (menos de 20°C), pois a água resfria até a temperatura ambiente e o material continuará produzindo gases combustíveis”. A figura 2 aborda o combate às chamas por meio do resfriamento com água.

Figura 2 – Resfriamento com água



Fonte: CBMDF (2022).

2.1.3. Abafamento

O abafamento significa diminuir ou impedir a oferta de oxigênio ao material combustível. Ou seja, se não houver comburente para reagir com o combustível, não haverá fogo. Ao abafar um objeto em chamas, conforme a oferta de oxigênio ao material combustível vai diminuindo, a combustão vai se tornando mais lenta, até a concentração de oxigênio chegar próximo de 8%, quando não haverá mais combustão. (Beta Educação, 2021).

São exemplos de abafamento: colocar um pano úmido sobre uma panela com óleo em chamas, bem como colocar uma tampa sobre um recipiente contendo combustível inflamável em chamas. A figura 3 mostra um exemplo de combate as chamas por abafamento.

Figura 3 – Combate por abafamento



Fonte: Brasil Escola (2023).

2.1.4. Quebra da reação em cadeia

A quebra da reação em cadeia decorre na utilização de substâncias químicas que inibem a capacidade de reação entre combustível e comburente, dessa forma, impede-se a formação de intermediários reativos decorrentes da queima, portando evita a retroalimentação do incêndio (CBMGO, 2017).

2.2. Combustíveis inflamáveis

Os combustíveis líquidos, na sua maioria, são derivados de petróleo. Recebem o nome de hidrocarbonetos. Uma propriedade a ser considerada é a solubilidade do líquido, que é a sua capacidade de misturar-se à água. Os hidrocarbonetos têm pouca solubilidade, enquanto os líquidos como álcool, acetona (solventes polares) têm grande solubilidade, isto é, podem ser diluídos até que a mistura não seja mais inflamável (CBMES, 2022).

A NR 20 do Ministério do Trabalho e Emprego (2014) traz que, se o ponto de fulgor do líquido for menor do que 60°C, ele é considerado um líquido inflamável. Líquidos com ponto de fulgor entre 60°C e 93°C será um líquido combustível. São exemplos de combustíveis inflamáveis: gasolina, álcool, benzeno, solventes, acetileno, entre outros.

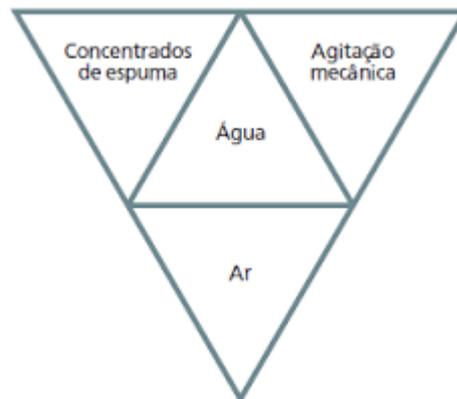
2.3. Líquido Gerador de Espuma (LGE)

A água, durante muito tempo, foi o único recurso utilizado no combate a incêndio. Devido às suas características, apresenta algumas desvantagens na extinção a incêndios, como: alta tensão superficial, baixa viscosidade, densidade relativamente alta e condução de eletricidade. A espuma surgiu diante da necessidade de melhorar a propriedade extintora da água por meio da adição de agentes tensoativos, que são “aditivos empregados para diminuir a tensão superficial da água, melhorando a propriedade de espalhamento sobre a superfície em chamas e a penetração no material”. (CBMDF, 2009, p. 99).

As espumas foram desenvolvidas para se obter melhor aderência ao material em chamas, produzindo um recobrimento contínuo sobre ele. Como apresentam baixa densidade, espalham-se sobre a superfície do material em combustão, abafando-a e isolando-a do contato com o oxigênio atmosférico. Tanto a supressão do vapor comburente como o resfriamento do material em chamas, pelo líquido presente na espuma, previnem a reignição (Figueredo; Sabadini, 1999, p. 128).

Existem basicamente dois tipos de espuma: a mecânica e a química. A espuma mecânica, que é usada atualmente, é obtida por um processo mecânico de mistura de LGE, ar e água. Já a espuma química é obtida pela reação química entre dois produtos. Esta última tipo caiu em desuso devido à sua fraca eficiência e pelos riscos associados ao armazenamento e manuseamento dos produtos químicos necessários à sua formação (CBMES, 2014). A figura 4 esquematiza o processo de formação da espuma, a qual necessita de água, ar, agitação mecânica e LGE.

Figura 4 - Tetraedro da espuma

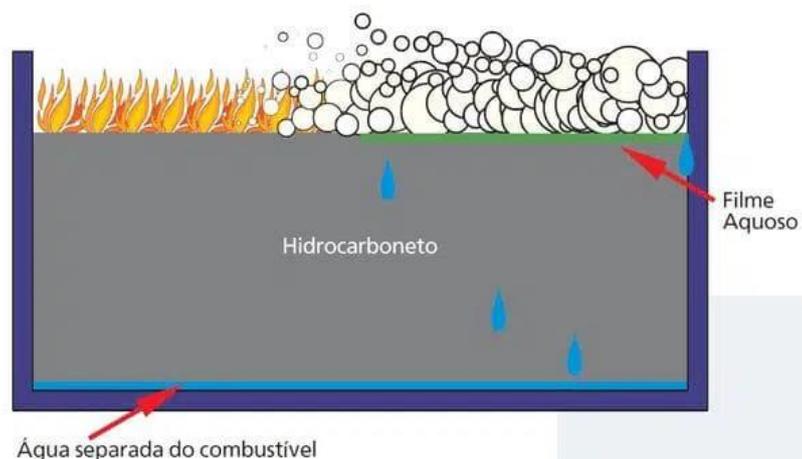


Fonte: Kidde (2005, p.5).

O LGE atua no incêndio por: abafamento, resfriamento e isolamento. De acordo com Kidde (2005), a espuma combate incêndios em combustíveis ou líquidos inflamáveis de quatro formas:

1. Exclui o ar dos gases inflamáveis;
2. Suprime os gases da superfície do combustível;
3. Isola a chama do material inflamável;
4. Resfria o combustível e as áreas ao redor.

Figura 5 – Espuma atuando em incêndio em líquido inflamável



Fonte: Kidde (2005, p.7).

De acordo com a ABNT NBR 15511 (2008), o LGE possui 3 classes e 7 tipos. Entre as classes existentes, a HC é indicada para a extinção de incêndios em hidrocarbonetos. O LGE, pode ainda, atender aos requisitos de uma ou mais classes

e as dosagens mais usuais são 1%, 3% e 6%. Para saber se o LGE é eficaz e eficiente, ainda segundo a norma, deve ser realizado teste de fogo e teste físico-químico. Os requisitos de desempenho medidos no teste de fogo são o tempo de extinção do incêndio e o de resistência à reignição. Nos ensaios laboratoriais as propriedades físico-químicas analisadas são:

- Massa específica;
- pH;
- Índice de refração;
- Viscosidade;
- Capacidade de vedação;
- Expansão;
- Tempo de drenagem 25%.

2.4. Como surgiu a pesquisa sobre LGE no CBMDF

A pesquisa sobre LGE no CBMDF iniciou-se em 2007 com o Projeto de Pesquisa referente à disciplina de Metodologia Científica da Pesquisa do Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal da então capitã do CBMDF Helen Ramalho De Oliveira Landim. Sua pesquisa teve como tema o estudo da espuma como agente extintor de incêndios classe A.

A pesquisa citada abrangeu as informações essenciais relacionadas à utilização da espuma como agente extintor em incêndios classe A. Fez-se uma abordagem histórica destacando a introdução desse agente extintor nas operações de várias corporações de bombeiros nos Estados Unidos e na Europa, assim como as transformações que decorreram como resultado dessa influência. Detalhou-se suas principais características, vantagens e desvantagens, por meio da análise de uma série de testes de combate a incêndios realizados ao longo de mais de uma década (Landim, 2007).

O foco do trabalho recaiu sobre as particularidades do sistema de espuma da marca *One Seven®*, que na ocasião era objeto de testes pelo CBMDF. Por fim, foram examinadas as considerações acerca da adoção da espuma classe A pelo CBMDF,

ponderando as opções, e apresentadas as recomendações para a eventual implementação dessa ferramenta nas atividades técnicas e táticas do combate a incêndios urbanos. Motivo pelo qual, a evolução e o refinamento de abordagens inovadoras, bem como a incorporação de agentes extintores inéditos, são viabilizados exclusivamente através da condução de estudos técnico-científicos (Landim, 2007).

2.5 Projeto de pesquisa do desenvolvimento do LGE institucional

A pesquisa técnico-científica no CBMDF primordialmente fundamenta-se na promoção de estudos, elaboração de projetos, construção de protótipos e inovação em pesquisas relacionadas à segurança contra incêndio e pânico, bem como na atualização das estratégias e táticas empregadas nos combates a incêndios, visando à diminuição dos custos operacionais da instituição (Barros, 2020).

Nesse contexto, no ano de 2016, a Diretoria de Investigação de Incêndio (DINVI) deu início a uma pesquisa técnica dedicada à ciência das espumas de combate a incêndio de classe A e B. O propósito desses estudos, baseados nas patentes de LGE, era aprofundar o conhecimento sobre as características físicas e químicas desse tipo de agente extintor amplamente empregado em todo o mundo (Barros, 2020). Com a constante escassez de LGE na Corporação, além de seu custo alto, deu-se início ao projeto de criar um agente extintor para que a Corporação pudesse economizar ou até se tornar autônoma na produção de LGE.

Assim surgiu o Projeto de Pesquisa Técnico-Científico (PPTC) nº 1/2018, desenvolvido pela DINVI, que em sua primeira fase tinha o objetivo de desenvolver o protótipo de LGE. Ainda em 2018, a Equipe Técnica da DINVI alcançou sucesso no desenvolvimento e refinamento de um protótipo de LGE, de classe A, que apresentava propriedades físicas e químicas notavelmente semelhantes ao LGE comercial (BIO FOR C) empregado pelo CBMDF (Barros, 2020).

No primeiro semestre de 2019, o CBMDF adquiriu cerca de 1.800 litros de insumos químicos para desenvolver um protótipo de LGE classe A. Este LGE foi destinado aos testes operacionais da segunda fase do PPTC nº 1/2018 (Barros, 2020).

Em sua segunda fase, o projeto, prevê a execução de testes operacionais e a avaliação da eficiência e eficácia do protótipo de LGE.

Diante dessa necessidade, surgiram vários estudos com o intuito de contribuir com o alcance dos objetivos da segunda fase do projeto de pesquisa citado. Em setembro de 2019, o laboratório de química da DINVI (LAQUI/DINVI) produziu o primeiro lote de 120 litros de LGE institucional para o uso durante o 7º Curso de Operações em Incêndio (COI) (Barros, 2020).

3. METODOLOGIA

A Metodologia é a explicação minuciosa, detalhada, rigorosa e exata das ações empregadas durante o estudo e a pesquisa (Paiva, 2005). Esta pesquisa possui uma finalidade (natureza) aplicada, já que visa produzir um conhecimento de aplicação prática sobre as pesquisas que já foram realizadas envolvendo o protótipo de LGE-CBMDF.

Quanto à classificação da pesquisa, trata-se da utilização da abordagem qualitativa. Realizou-se levantamento de dados não com intuito de se obter números como resultados, mas sim procurar entender qual o caminho que foi percorrido pela pesquisa sobre o LGE institucional.

O presente estudo é descritivo em relação aos seus objetivos, uma vez que envolveu levantamento bibliográfico. Realizou-se pesquisa bibliográfica com o intuito de direcionar o atingimento do objetivo geral e específicos da pesquisa.

A pesquisa bibliográfica é desenvolvida a partir de material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos. Embora em quase todos os estudos seja exigido algum tipo de trabalho desta natureza, há pesquisas desenvolvidas exclusivamente a partir de fontes bibliográficas, assim como certo número de pesquisas desenvolvidas a partir da técnica de análise de conteúdo (Gil, 2014, p. 50).

Os artigos científicos que relatam os resultados de pesquisa em primeira mão são os resultantes de estudos primários. Já as revisões sistemáticas são consideradas estudos secundários, porque têm nos estudos primários sua fonte de dados (Galvão; Pereira, 2014).

Para apresentar o LGE e descrever sua importância realizou-se pesquisa documental em documentos da Corporação, livros, artigos científicos e revistas voltadas para a atividade de bombeiro.

O procedimento metodológico utilizado para atingir o objetivo principal do estudo foi a pesquisa bibliográfica. Realizou-se pesquisa bibliográfica em todas as pesquisas já realizadas na área do estudo no CBMDF. O quadro 2 apresenta as pesquisas analisadas relacionadas ao tema.

Quadro 2 – Trabalhos analisados na pesquisa bibliográfica

DISCIPLINA	AUTOR	ANO	TEMA DA PESQUISA
Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Formação de Oficiais	Rodrigo César Alaby	2019	Estudo sobre a eficácia do protótipo de líquido gerador de espuma desenvolvido pelo CBMDF
Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais	Alisson Bernardi de Barros	2020	Estudo técnico sobre a utilização de LGE-CBMDF – classe A – para treinamento operacional
Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Formação de Oficiais	Luísa Gurjão de Carvalho Amaral	2020	Viabilidade técnico-operacional do emprego do protótipo de LGE-CBMDF em incêndio de líquidos inflamáveis
Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Formação de Oficiais	Vinícius Germano Santiago	2021	Otimização da formulação do líquido gerador de espuma do CBMDF utilizando planejamento de experimentos
Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Formação de Oficiais	Heitor De Oliveira Vaz Curvo	2022	Estudo técnico sobre os requisitos mínimos exigíveis para o protótipo de LGE – CBMDF com base na ABNT NBR 15511 (2008)

Fonte: o autor.

Os procedimentos são direcionamentos quanto ao *modus operandi* da pesquisa, o como fazer (Silva, 2016). Os resultados obtidos na revisão sistemática

foram comparados entre todas as pesquisas. Comparou-se os seguintes fatores: o tipo de pesquisa, a metodologia utilizada, o tipo de objetivo a ser alcançado, o tipo de incêndio combatido nos testes, a classe da espuma analisada, o tipo de equipamento ou viatura utilizado no teste, o método utilizado para mensurar os resultados do teste, o tipo de produto produzido com a pesquisa, as conclusões obtidas e se houve avanço ou não na otimização do protótipo de LGE.

Além do mais, nessa pesquisa, também comparou-se teste de fogo realizado em laboratório com resultado obtido em pesquisa semelhante realizada em TCC anterior da corporação, a fim de analisar se houve evolução da eficácia e eficiência do LGE-CBMDF. No presente artigo, as propriedades físico-químicas da água também foram comparadas com as propriedades físico-químicas das amostras testadas no laboratório Firemetria a fim de provar se o LGE estudado produziu um melhor resultado no combate a incêndios em líquidos inflamáveis.

Nos testes físico-químicos, a fim de se constatar a eficiência do LGE estudado a norma exige que sejam analisadas as seguintes propriedades físico-químicas, elencadas na revisão de literatura do presente artigo: massa específica, pH, índice de refração, viscosidade, capacidade de vedação, expansão e tempo de drenagem 25%. Essas análises estão documentadas nos Relatórios de Ensaio nº 1093/22 e nº 542/23 da FIREMETRIA Laboratório de Ensaios e Análises.

A fim de analisar essas propriedades, foram utilizadas amostras de LGE - CBMDF armazenadas em bombonas, uma vez que essa é a única forma que o CBMDF armazena seu LGE para pronto emprego. Na comparação foram considerados os LGE – CBMDF do tipo AFFF (*Aqueous Film Forming Foam*) 1% e 3% e algumas propriedades físico-químicas da água.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são descritos os resultados da pesquisa sistemática realizada em pesquisas anteriores e de testes de fogo e físico-químicos realizados recentemente em laboratório pela Petrobrás.

4.1 Análise das pesquisas realizadas envolvendo o LGE-CBMDF

Neste trabalho, realizou-se análise sistemática das pesquisas efetuadas após a criação do protótipo de LGE institucional.

4.1.2 *Estudo sobre a eficácia do protótipo de líquido gerador de espuma desenvolvido pelo CBMDF*

A pesquisa realizada pelo então cadete do CBMDF Rodrigo César Alaby (2019), classificada como pesquisa exploratória, utilizou método hipotético-dedutivo, pois os agentes extintores analisados foram submetidos a testes comparativos. Realizou-se teste prático de combate a incêndio em *pallets* com água, com espuma gerada pelo BIO FOR C e com espuma gerada com LGE institucional. Quatro queimas foram efetuadas para análise de cada agente extintor. Em todos os testes a bomba Macaw, foi utilizada, e o tempo de combate empregado para cada agente extintor e a quantidade de agente extintor utilizado foram mensurados. Padronizou-se o tempo de combate para todos os agentes extintores em 40 s.

Por meio de tabela própria, comparou-se os resultados dos agentes extintores utilizados nos testes. No combate com LGE-CBMDF e LGE BIO FOR C não houve reignição. Como já era esperado, o tempo médio de combate realizado com LGE BIO FOR C foi inferior ao tempo médio de combate realizado com LGE-CBMDF. Em dois dos quatro testes realizados com água, houve reignição e a água apresentou o maior tempo médio de combate (Alaby, 2019).

Como produto, foi produzido um Relatório Técnico de modo a complementar os estudos realizados no PPTC n° 1/2018. Por fim, concluiu-se que o resultado foi positivo em relação à eficácia do protótipo de LGE institucional e que o uso do extrato

gerador de espuma em treinamentos operacionais tem muito a contribuir para o avanço da maleabilidade e para melhores resultados durante as operações de incêndio (Alaby, 2019).

4.1.2. Estudo técnico sobre a utilização do protótipo institucional de líquido gerador de espuma (LGE-CBMDF) – classe A – para treinamento operacional

A pesquisa realizada pelo então capitão do CBMDF Alisson Bernardi de Barros (2020), classificada como pesquisa aplicada, utilizou método indutivo, uma vez que a pesquisa buscou validar o uso do protótipo de LGE institucional no treinamento operacional dos bombeiros militares do CBMDF. Realizou-se um levantamento de informações junto aos instrutores do COI e CICOI (Curso de Instrutores de Combate a Incêndio Urbano) quanto à utilização do protótipo institucional de LGE-CBMDF em treinamento operacional voltado ao combate a incêndio urbano com espuma mecânica por meio da coleta de dados em formulário padrão. Os instrutores responderam formulários após a utilização do protótipo de LGE-CBMDF durante testes operacionais realizados na viatura do tipo auto salvamento extinção (ASE) 100 (Barros, 2020).

O teste operacional consistiu na formação dos 3 (três) tipos de espumas, foram elas: água molhada, espuma molhada e espuma seca, para que os instrutores do COI e CICOI avaliassem a qualidade da espuma gerada. Os dados contidos nos formulários foram reunidos, assim foi possível analisá-los e interpretá-los para obter parte do resultado da pesquisa. Foi constatado que 94% dos instrutores concordam plenamente que o protótipo institucional de LGE pode ser utilizado no treinamento operacional no âmbito do CBMDF (Barros, 2020).

Ademais, analisou-se e classificou-se as informações toxicológicas e ecotoxicológicas com base nos padrões e requisitos contidos na ABNT NBR 14725 (2009). A análise das informações toxicológicas teve como conclusão: que em relação à toxicidade aguda oral, o LGE-CBMDF apresentou a classificação de perigo mais branda; em relação à toxicidade aguda dérmica, apresentou a classificação de perigo mais branda; em relação à irritação da pele, apresentou a classificação de perigo que

significa uma possível formação de lesão reversível na pele como consequência da exposição do LGE-CBMDF (puro) na pele por um período de até 4 horas; em relação à corrosão da pele, não foi classificado como corrosivo, de acordo com os critérios previstos na ABNT NBR 14725 (2009).

A análise das informações ecotoxicológicas teve como conclusão, com base no princípio da analogia, na consideração dos efeitos mais adversos dos insumos do LGE-CBMDF, nas informações ecotoxicológicas contidas na ABNT NBR 14725 (2009) e na ficha de segurança de produto químico (FISPQS) das substâncias químicas utilizadas no desenvolvimento do produto químico em estudo, que o protótipo de LGE do CBMDF encontra-se dentro de padrões similares de perigo ao meio ambiente (Barros, 2020).

O resultado da pesquisa gerou os dados estatísticos iniciais que serviram, no trabalho, para avaliar a possibilidade de utilização do LGE-CBMDF no treinamento operacional dos militares da corporação. Constatou-se que a despesa com um litro do LGE-CBMDF é equivalente a quase 39% da despesa com um litro de LGE BIO FOR C (Barros, 2020).

4.1.3. 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

A pesquisa realizada pela então cadete do CBMDF Luísa Gurjão de Carvalho Amaral (2020), classificada como pesquisa exploratória, visou a realização de testes de fogo para verificar a eficiência do protótipo no combate a líquidos inflamáveis do tipo hidrocarboneto. Colaborou-se com a 2ª fase do PPTC nº 1/2018 que diz respeito aos testes que o protótipo de LGE deve ser submetido para ser aceito por normas reguladoras. A norma de referência, ABNT NBR 15511 (2008), determinava que fosse utilizado 100 L 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 estipulava que o experimento fosse realizado em tanque de seção circular com diâmetro interno de 2,4 m e 0,25 m de profundidade. No

entanto, o experimento foi realizado em um tanque de seção quadrada com lado de 1,07 m e profundidade de 0,3 m (Amaral, 2020).

Utilizou-se no experimento a bomba Macaw na primeira fase dos testes, mas 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). Na primeira etapa foram utilizados 10 litros de querosene, o qual foi misturado a 50 L de água. A bomba Macaw foi o sistema pressurizador. Na primeira etapa, após 5 minutos que o combate havia sido finalizado, percebeu-se que o querosene havia degradado cerca de 70% da camada de espuma (Amaral, 2020).

Com isso, entendeu-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. Na segunda fase dos testes do trabalho, a gasolina foi empregada como combustível, devido à falta de recursos para a montagem do experimento de acordo com a norma. No teste de gasolina como combustível 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 (Amaral, 2020).

O objetivo da pesquisa foi alcançado, pois verificou-se 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. Ao fim dos testes, foi constatado que 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 (Amaral, 2020).

4.1.4. Otimização da formulação do líquido gerador de espuma do CBMDF – classe A - utilizando planejamento de experimentos

A pesquisa realizada pelo então cadete do CBMDF Vinícius Germano Santiago (2021), classificada como pesquisa exploratória, utilizou método indutivo para, a partir de dados específicos de várias formulações diferentes, chegar a conclusões sobre o

comportamento de formulações de forma geral. Utilizou-se uma ferramenta estatística chamada filtragem definitiva para otimizar a formulação do LGE-CBMDF. Com a ferramenta, dezessete formulações variando as concentrações foram criadas. As formulações diferentes foram testadas e analisadas (Santiago, 2021).

As formulações foram submetidas a testes para obter-se informações sobre: expansão, tempo de meia drenagem, viscosidade, umectância e resistência térmica da espuma. Produziu-se uma formulação otimizada a partir dos resultados obtidos, por fim, comparou-se a formulação otimizada com a formulação atual e com o LGE comercial (Santiago, 2021).

Os resultados dos testes apontaram valores próximos aos do LGE-CBMDF. A otimização logrou êxito ao menos em diminuir os custos de produção, estimou-se que a economia fosse entre 5% e 40%. Porém, há a necessidade de estudos para decidir qual das formulações otimizadas melhor se adequa à realidade do CBMDF. Recomendou-se, também, a utilização da abordagem estatística para o desenvolvimento de formulação de LGE tipo classe B de incêndio, quando a produção interna deste for de interesse da corporação (Santiago, 2021).

4.1.5. Estudo técnico sobre os requisitos mínimos exigíveis para o protótipo de LGE-CBMDF com base na ABNT 15511 (2008)

A pesquisa pelo então cadete do CBMDF Heitor De Oliveira Vaz Curvo (2022), classificada como pesquisa experimental, testou a eficácia do LGE-CBMDF em teste de fogo realizado na própria corporação utilizando gasolina como combustível, em escala real. Testou-se também a eficiência através de ensaios laboratoriais realizados na FIREMETRIA laboratório de ensaios e análises, em Valinhos – SP comparando suas propriedades físico-químicas com as do LGE-PETROBRÁS. Acrescentou-se à referida comparação as propriedades físico-químicas da água a fim de provar que o LGE-CBMDF é mais eficiente que a mesma no combate a incêndios em líquidos inflamáveis (Curvo, 2022).

Contribuiu-se com a segunda fase do PPTC nº 1/2018, dando seguimento à pesquisa, através da execução de teste de fogo e de testes físico-químicos que

avaliaram a eficácia e a eficiência do protótipo de LGE. O sistema pressurizador utilizado foi o da viatura de combate a incêndio auto bomba tanque (ABT), a fim de simular um combate real a um incêndio em líquido inflamável. O experimento foi realizado em um reservatório de seção de $\frac{1}{4}$ de círculo com profundidade de 0,53 m, possibilitando o teste ser em uma escala real, ampliada em relação à norma. A eficácia do LGE–CBMDF foi comprovada, pois foi possível realizar o combate a incêndio em líquidos inflamáveis do tipo hidrocarboneto com tempo de combate nos testes inferiores ao interposto pela ABNT NBR 15511 (2008), mesmo o LGE-CBMDF não possuindo características de classe B, com a ressalva de que o teste de resistência do referido LGE à reignição indicou que a manta de espuma não impediu que o incêndio se desenvolvesse (Curvo, 2022).

Concluiu-se que o LGE institucional não possui as características e propriedades de classe B exigidas pela ABNT NBR 15511 (2008), já que ele foi desenvolvido inicialmente com o intuito de ser utilizado em incêndios em materiais classe A. A norma foi empregada apenas como um norte para se analisar os requisitos mínimos exigidos do LGE-CBMDF para o combate a incêndio em líquidos inflamáveis do tipo hidrocarbonetos de forma eficaz e eficiente. Por fim, formulou-se com o estudo um Relatório Técnico que enfatiza a importância da pesquisa técnico-científica no âmbito institucional (Curvo, 2022).

4.2. Histórico das pesquisas sobre LGE - CBMDF

Após o desenvolvimento do LGE-CBMDF pela DINVI, encerrou-se a primeira fase do PPTC nº 01/2018. Em 2019, deu-se início à segunda fase da pesquisa que consiste na realização de testes operacionais e análise da eficiência e eficácia do protótipo. Ao longo de cinco anos, várias pesquisas foram desenvolvidas. Esse trabalho visou elaborar um histórico, gerando assim, uma base para novas pesquisas. Para melhor entendimento foi confeccionado pela autora o quadro 3 que traz o histórico e o resumo sobre as pesquisas desenvolvidas.

Quadro 3 – Histórico e resumo das pesquisas envolvendo o LGE - CBMDF

Tema da pesquisa	Autor e ano	Objetivo principal	Resumo dos testes	Resultados obtidos	Considerações
Estudo sobre a eficácia do protótipo de líquido gerador de espuma desenvolvido pelo CBMDF	Rodrigo César Alaby (2019)	Verificar a eficácia do protótipo de LGE institucional.	Combate com bomba Macaw utilizando água, LGE-CBMDF e LGE comercial em incêndio em <i>pallets</i> de madeira.	Na análise dos dados observou-se que a extinção das chamas foi mais rápida com quando foi utilizado o LGE BIO FOR C.	Os testes realizados apresentaram resultados positivos em relação ao protótipo de LGE. Seu uso em treinamentos operacionais é indicado tendo em vista seu menor custo de produção.
Pesquisa técnico-científica: estudo técnico sobre a utilização do protótipo institucional de líquido gerador de espuma (LGE-CBMDF) – classe A – para treinamento operacional	Alisson Bernardi de Barros (2020)	Analisar a viabilidade técnico-operacional para utilização do protótipo institucional de LGE no treinamento operacional dos bombeiros militares no âmbito do CBMDF.	Aplicação de questionários para levantamento de informações junto aos instrutores do COI e CICOI quanto à utilização do protótipo institucional de LGE-CBMDF em treinamento operacional no âmbito do CBMDF; Análise das informações toxicológicas e ecotoxicológicas com base nos padrões e requisitos da ABNT NBR 14725 (2009).	Constatou-se que 94% dos instrutores concordam plenamente que o protótipo institucional de LGE pode ser utilizado no treinamento operacional no âmbito do CBMDF; A análise das informações toxicológicas apresentou características esperadas normais e para as informações ecotoxicológicas, o LGE do CBMDF encontra-se dentro de padrões similares de perigo ao meio ambiente.	Salientou-se que a realização de testes de fogo e a confecção da ficha de informações de segurança do protótipo institucional de LGE são fundamentais para que assim seja possível avaliar a eficiência e a eficácia do LGE-CBMDF e todos os potenciais perigos à saúde humana e ao meio ambiente decorrente de sua utilização no serviço diário de combate a incêndio urbano prestado pela Corporação.

Continua...

Continuação

Tema da pesquisa	Autor e ano	Objetivo principal	Resumo dos testes	Resultados obtidos	Considerações
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 Amaral (2020)	Analisar a viabilidade técnico operacional do emprego do protótipo de LGE-CBMDF para combater incêndios em líquidos inflamáveis do tipo hidrocarboneto.	Combate com bomba Macaw utilizando LGE-CBMDF em recipiente contendo querosene e gasolina em chamas.	No teste com gasolina, percebeu-se que a camada de espuma não foi degradada como aconteceu quando o combustível era a querosene; Verificou-se 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.	Inferiu-se que 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.
Otimização da formulação LGE-CBMDF utilizando planejamento de experimentos	Vinicius Germano Santiago (2021)	Utilizar ferramentas estatísticas para otimizar a formulação do protótipo de LGE do CBMDF.	Utilizou-se o <i>software</i> Minitab 19 para fazer análise estatística necessária ao trabalho; Para cada um dos componentes da formulação, foi informado uma amplitude de variação na concentração; A ferramenta gerou dezessete formulações diferentes variando as concentrações.	A otimização logrou êxito em diminuir os custos de produção. Estimou-se uma economia entre 5% e 40%.	Recomendou-se estudos para decidir qual das formulações otimizadas melhor se adequa à realidade do CBMDF; Utilização da abordagem estatística para o desenvolvimento de formulações de LGEs tipo B quando a produção interna destes for de interesse da corporação.

Continua...

Continuação

Tema da pesquisa	Autor e ano	Objetivo principal	Resumo dos testes	Resultados obtidos	Considerações
Estudo técnico sobre os requisitos mínimos exigíveis para o protótipo de LGE-CBMDF com base na ABNT 15511 (2008)	Heitor De Oliveira Vaz Curvo (2022)	Verificar a eficácia e a eficiência do LGE - CBMDF no que tange aos testes físico-químicos e ao teste de fogo com base nos parâmetros da ABNT NBR 15511 (2008).	Teste de fogo com gasolina realizado no CETOP; testes físico-químicos verificados em ensaios laboratoriais realizados na FIREMETRIA e comparação dos resultados com os do LGE da Petrobrás.	A eficácia do LGE - CBMDF foi comprovada, pois foi possível realizar o combate a incêndio em líquidos inflamáveis, porém com a ressalva de que o teste de resistência do referido LGE à reignição indicou que a manta de espuma não impediu que o incêndio se desenvolvesse; A eficiência do LGE-CBMDF medida pela FIREMETRIA foi reprovada por não possuir eficiência em todas as propriedades analisadas.	O protótipo de LGE institucional é eficaz (por possuir características de LGE), mas não eficiente (por não atender aos requisitos de LGE Classe B); A Corporação necessita de apoio financeiro para a continuação de pesquisas voltadas para o desenvolvimento de seu próprio LGE, no intuito de melhorar a qualidade da prestação do serviço entregue à sociedade no que tange ao combate a incêndio urbano.

Fonte: o autor.

Diante do exposto, ressalta-se a importância do tema pesquisa e desenvolvimento do LGE-CBMDF para a Corporação, pois assuntos como esse são de extrema relevância para a eficácia das operações de combate a incêndio e a segurança dos bombeiros militares. Todas as pesquisas apresentam descobertas e contribuições significativas para o CBMDF. No que tange ao desempenho, as pesquisas abordaram o desempenho do LGE-CBMDF em diferentes cenários de combate a incêndios, incluindo o uso com diferentes tipos de combustíveis, como gasolina e querosene. Vários estudos concluíram, também, que o protótipo, por possuir características de LGE, é mais eficaz e eficiente que a água no combate a esse tipo de incêndio.

A aplicabilidade do LGE-CBMDF em treinamentos operacionais foi destacada, e ressalta-se a concordância dos instrutores de cursos para esse fim. Com adaptações em sua formulação, o LGE estudado pode se tornar altamente eficaz no enfrentamento de situações específicas de incêndio, abrangendo uma ampla gama de combustíveis.

Pôde-se comprovar que o LGE-CBMDF está dentro de padrões similares de perigo ao meio ambiente. Com mais pesquisas no assunto, pode-se melhorar ainda mais a segurança dos bombeiros militares e minimizar o impacto ambiental durante o uso. Também foi apresentado a possibilidade de redução de custos com material para desenvolvimento do LGE-CBMDF, otimizando a formulação. É primordial encontrar um meio termo entre equilibrar a busca por fórmulas mais eficientes com a necessidade de redução de custos para a Corporação.

Vários textos fazem referência a colaborações com outros projetos de pesquisa ou com normas reguladoras, destacando a importância da continuidade da pesquisa técnico-científica. Logo, deve-se promover uma maior colaboração entre instituições de pesquisa, outros Corpos de Bombeiros, bombeiros militares e reguladores para melhorar continuamente o LGE-CBMDF.

4.3. Testes de fogo realizados em Laboratório de Ensaios e Análises

Os dados analisados nessa pesquisa foram extraídos dos Relatórios de Ensaio nº 1093/22 e nº 542/23 (FIREMETRIA Laboratório De Ensaios e Análises, 2022b; 2023). A amostra LGE-CBMDF 1 refere-se à amostra analisada em 2022 e a amostra LGE-CBMDF 2 foi analisada em 2023. De acordo com o Relatório de Ensaio nº 1093/22 (FIREMETRIA Laboratório de Ensaios e Análises, 2022b), o LGE foi reprovado por não possuir eficiência em todas as propriedades de LGE Classe B exigidas de acordo com os parâmetros da ABNT NBR 15511 (2008), porém ele é mais eficiente que a água.

De acordo com o Relatório de Ensaio nº 542/23 (FIREMETRIA Laboratório de Ensaios e Análises, 2023) a amostra 2 de LGE-CBMDF foi reprovada por não possuir os insumos necessários para extinguir o fogo em hidrocaborneto dentro do tempo mínimo previsto na norma. Porém, por muito pouco, a amostra não foi aprovada no requisito tempo de extinção.

De acordo com a ABNT (2008, p.3), para o teste de fogo “o LGE, conforme a sua classe, deve atender ao desempenho de extinção e resistência à reignição especificado no Quadro 4.” Nesse estudo foi abordada apenas a classe HC (hidrocarbonetos).

Quadro 4 — Requisitos de desempenho

Tempo	Classe do LGE
	HC
Extinção (máximo)s	100
Resistência à reignição (mínimo) min	10

Fonte: Adaptado de ABNT (2008, p. 4).

O quadro 5 abaixo traz o resultado das amostras analisadas quanto ao tempo de extinção e à resistência à reignição.

Quadro 5 — Resultados obtidos nas amostras analisadas

Tempo	Extinção s	Resistência reignição min
*LGE-CBMDF 1 (HC)	Não extinguiu	-
*LGE-CBMDF 2 (HC)	103	4,3

Fonte: O autor.

4.2. Testes físico-químicos realizados em Laboratório de Ensaios e Análises

Nesse estudo, foram consideradas para comparação das propriedades físico-químicas, duas amostras de LGE–CBMDF. O Quadro 6 abaixo sintetiza os dados coletados pela FIREMETRIA Laboratório de Ensaios e Análises para cada material/amostra.

Quadro 6 - Propriedades físico-químicas exigidas pela ABNT NBR 15511 (2008)

Material/ amostra	Massa específica (kg/m ³)	pH	Índice de refração	Viscosidade (mPa.s)	Capacidade de vedação	Expansão	Tempo de drenagem 25% (s)
*LGE-CBMDF 1	1083,44	6,6	1,4118	35,46	1	9,8	223
*LGE-CBMDF 2	1066,86	6,0	1,4121	50,689	1	8,0	119

*Amostras armazenadas em bombonas.
 *LGEs de classe HC.
 LGE-CBMDF 1 do tipo AFFF 3%.
 LGE-CBMDF 2 do tipo AFFF 1%.

Fonte: O autor.

4.2.1. Massa específica/Densidade

A espuma tem sua ação principal por abafamento na prevenção ou extinção de um incêndio, secundariamente, age promovendo o resfriamento do combustível. Devido ao agregado de bolhas preenchidas com ar, possui densidade menor que qualquer líquido inflamável (ABNT, 2008).

De acordo com o Quadro 6, a amostra 1 de LGE apresenta uma maior massa específica devido sua concentração de LGE ser maior em relação a amostra 2. Ambas são capazes de formar uma espuma que atue sobre a superfície dos líquidos inflamáveis, tornando-as mais eficientes que a água, uma vez que esta se depositará no fundo do líquido combustível inflamável e não atuará por abafamento.

4.2.2. pH

O valor do pH mais próximo do neutro é mais biologicamente aceitável. Um LGE com pH ácido ou básico, pode trazer danos à fauna e à flora ao cair nas redes pluviais. Logo, quanto mais próximo do neutro, menores são as chances de causar danos ao ambiente (Curvo, 2022). De acordo com o Quadro 6, o pH das amostras de LGE-CBMDF apresentam resultados semelhantes e se aproximam do neutro, causando menos danos ao meio ambiente.

4.2.3. Índice de refração

O índice de refração que mais se aproxima do da água, que é 1,333, é o mais indicado. Um tempo de drenagem menor, indica que o LGE perde mais água ao suas bolhas estourarem mais rápido. Quanto mais água o LGE perder, maior será seu índice de refração. As amostras apresentam valores aproximados, e, devido à porcentagem de LGE das amostras não serem iguais, não foi possível determinar qual das amostras se aproximam mais do índice de refração da água.

4.2.4. Viscosidade

Uma maior viscosidade, indica que menor será a velocidade em que o fluido se movimentará. A viscosidade da água é muito baixa, isso faz com que ela escorra com facilidade, prejudicando o combate a incêndio. Portanto, de acordo com o Quadro 6 do presente artigo, a amostra de LGE-CBMDF 2 apresenta um melhor resultado em relação à amostra de LGE-CBMDF 1 no combate a incêndio em líquidos inflamáveis.

4.2.5. Capacidade de vedação

De acordo com o Quadro 6, a capacidade de vedação das amostras apresenta o mesmo valor de 1 nos resultados. Isso indica que não ocorreram chamas autossustentáveis no teste realizado. Na ocorrência de chamas autossustentáveis, a capacidade de vedação é considerada insatisfatória, então o valor 0 seria atribuído ao resultado (ABNT, 2008). O mesmo teste realizado com água, apresenta valor 0 atribuído ao resultado, portanto, pode-se afirmar que as amostras de LGE da corporação apresentam capacidade de vedação satisfatória.

4.2.6. Expansão

A expansão da espuma gera uma camada que impede que o material combustível entre em contato com o comburente. Essa característica gera bolhas com grandes áreas na superfície que trocam calor com o incêndio (Curvo, 2022). De acordo com o Quadro 6, os valores apresentados são abaixo de 20. Isso significa que a espuma é de baixa expansão, como determina ABNT NBR 15511 (2008). Também conhecida como “água molhada”, a espuma de baixa expansão, constitui-se de uma mistura de água e LGE para combate a incêndio com taxa de expansão menor que 20 partes de espuma para 1 parte de solução aquosa de LGE (Demsá, 2018). Esse tipo de espuma é muito utilizado no CBMDF em incêndios de classe A e B, onde é esperado que a solução penetre no material incendiado (Alaby, 2018).

4.2.6. Tempo de drenagem 25%

Analisando o tempo de drenagem de 25% no Quadro 6 das duas amostras de LGE testadas, percebe-se que a amostra 1 apresenta um tempo de drenagem maior. Fator que pode ser explicado pelo fato da concentração de LGE presente na amostra 1 ser maior que a concentração da amostra 2.

Para ambas as amostras o tempo de drenagem não foi satisfatório. Deve haver a formação de uma camada polimérica mais resistente e duradoura sobre o combustível líquido pois eles queimam em superfície. A água não possui tempo de drenagem, logo ela penetra rapidamente no material combustível (Amaral, 2020).

Nesse contexto, ambas as amostras analisadas apresentam maior eficiência que a água.

Em síntese, essa análise apresentou limitações na pesquisa na interpretação dos resultados devido às concentrações de LGE das amostras analisadas serem diferentes. No entanto, foi possível verificar que ambas as amostras comparadas de LGE-CBMDF não possuem as propriedades físico-químicas de um LGE Classe B necessárias para serem aprovadas de acordo com os parâmetros de eficiência exigidos pela ABNT NBR 15511 (2008). Ainda assim, a amostra 2 foi capaz de extinguir incêndio em líquido inflamável e a amostra 1, não, fatos expressados nos resultados do Quadro 5 do presente artigo. Resultado esse que aponta uma evolução na eficácia do LGE da corporação.

O LGE-CBMDF por se tratar de uma base, não possui todos os insumos necessários para ser aprovado como LGE classe B. Percebeu-se que o CBMDF não tinha condições de fazer um LGE classe B, pois para um LGE classe A, utiliza-se menos insumos. Ao enviar a primeira amostra para análise na Petrobrás, a ausência dos insumos característicos de LGE classe B foi verificada. Logo, para a correção da classe do LGE, ou era acrescentado insumos próprios ou acrescentava-se fração de LGE comercial contendo os insumos necessários. Por não possuir os recursos necessários para o acréscimo dos insumos necessários, foi optado acrescentar uma fração de 40% de LGE comercial em uma amostra de LGE-CBMDF e submetê-lo a um novo teste. Acreditava-se que isso seria uma possível alternativa para a solução do problema. O teste realizado mostrou uma melhora, no entanto, ainda não o suficiente para comprovar a eficiência no desempenho do LGE-CBMDF em incêndios classe B.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho teve como principal objetivo responder como se desenvolveu, no âmbito interno, as pesquisas técnico-científicas do protótipo de LGE do CBMDF. Partiu-se da hipótese que a pesquisa técnico-científica trouxe ganhos institucionais para a Corporação, com base nos resultados obtidos a hipótese foi confirmada.

O estudo buscou primeiramente apresentar como se iniciaram as pesquisas no CBMDF para elaborar o seu próprio LGE, em sequência, mostrou quando e como a Corporação logrou êxito em seu objetivo. Desde que o objetivo de desenvolver um LGE próprio foi alcançado, surgiram vários estudos que buscaram aprimorar e contribuir com uma nova fase do projeto.

Como objetivo geral, o estudo procurou gerar um registro histórico-institucional, por meio de levantamento de dados, da evolução da pesquisa do protótipo corporativo de líquido gerador de espuma. Para isso teve como principais objetivos específicos: verificar as vantagens do uso da espuma em detrimento do uso da água, analisar e comparar a evolução do LGE da corporação através dos resultados de ensaios laboratoriais realizados na Petrobrás (FIREMETRIA Laboratório de Ensaios e Análises, em Valinhos - São Paulo) obtidos nessa pesquisa com os resultados obtidos em TCC anterior e, por fim, gerar uma base para pesquisas futuras que pode ajudar a consolidar o conhecimento existente e orientar novos estudos na área.

O objetivo foi alcançado, pois o estudo possibilitou gerar um histórico mostrando: que as pesquisas apresentaram uma série de descobertas e contribuições significativas para o CBMDF; o desempenho do LGE-CBMDF foi mostrado em diferentes cenários de combate a incêndios, incluindo o uso com diferentes tipos de combustíveis, como gasolina e querosene, ficando provado que o protótipo é mais eficiente que água, apesar de não possuir todos os insumos necessários; o LGE está dentro de padrões similares de perigo ao meio ambiente; a possibilidade de redução de custos com material para fabricação do LGE-CBMDF otimizando-se a formulação; e o destaque para a importância da continuidade da pesquisa técnico-científica.

As pesquisas também mostraram o problema do LGE estudado quando utilizado em incêndios classe B: por se tratar de uma base, não possui todos os insumos necessários para extinguir incêndios classe B de forma eficiente. O CBMDF por não possuir recursos para adquirir os insumos necessários, optou por realizar testes fazendo acréscimo de LGE comercial em sua fórmula para obtenção dos insumos necessários, no entanto, os testes ainda não mostraram um resultado totalmente satisfatório.

Em conformidade com o estudo realizado, o LGE em questão mostrou seu potencial, logo é fundamental que as investigações em prol de aprimorar sua formulação e sua eficiência continuem. Fomentar a colaboração de instituições de pesquisas pode contribuir com o processo de otimização da fórmula. O trabalho em conjunto com órgãos reguladores e seguir padrões, como os da ABNT, são fundamentais para estabelecer normas e regulamentos para o LGE institucional.

Em síntese, ao longo desse estudo percebeu-se os ganhos institucionais, e, para a continuidade dos benefícios, ressalta-se que o estudo e o desenvolvimento contínuo do LGE da Corporação são cruciais para diminuir os custos da utilização de espuma e aumentar seu uso nos combates a incêndios. Dessa forma, contribuindo para aumentar a eficiência e a segurança dos bombeiros nos combates.

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. Disponível em: <https://biblioteca.cbm.df.gov.br/jspui/handle/123456789/59>. Acesso em: 10 abr. 2023.
- AMARAL, Luísa Gurjão de Carvalho. **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**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Formação de Oficiais) – Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, Brasília, 2020. Disponível em: <https://biblioteca.cbm.df.gov.br/jspui/handle/123456789/134>. Acesso em: 10 abr. 2023.
- ABNT. **NBR 15511**: Líquido gerador de espuma (LGE), de baixa expansão, para combate a incêndios em combustíveis líquidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- ABNT. **NBR 14.725**: partes 1-4 – Produtos Químicos – Informações Sobre Segurança e Meio Ambiente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- BETA EDUCAÇÃO. **Os três métodos de extinção**. 2021. Disponível em: <https://betaeducacao.com.br/os-3-metodos-de-extincao-de-fogo/>. Acesso em: 23 maio 2023.
- BARROS, Alisson Bernardi de. **Pesquisa técnico-científica: estudo técnico sobre a utilização do protótipo institucional de líquido gerador de espuma (LGE-CBMDF) – classe A – para treinamento operacional**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais) – Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, Brasília, 2020. Disponível em: <http://biblioteca.cbm.df.gov.br/jspui/handle/123456789/110>. Acesso em: 29 fev. 2023.
- CBMDF. **Boletim Geral 033/2018**. Brasília, 2018.
- CBMDF. **Manual básico de combate a incêndio urbano do Corpo de Bombeiros do Distrito Federal – comportamento do fogo**, Brasília, 2. ed. v.1, 162p, 2009.
- CBMDF. **Planejamento Estratégico do CBMDF (2017 - 2024)**. Brasília, 2016. Disponível em: <https://www.cbm.df.gov.br/downloads/edocman/estrategico//Plano%20Estrategico%202017-2024.pdf>. Acesso em: 2 out. 2023
- CBMES. **Prevenção e combate a incêndio**, Vitória, 2014.
- CBMGO. **Manual Operacional de Bombeiros – combate a incêndio urbano**, Goiânia, 1. ed. v.1, 453p, 2017. Disponível em: <https://www.bombeiros.go.gov.br/wp->

content/uploads/2015/12/MOB-Combate-a-Inc%C3%AAndio-Urbano-CBMGO.pdf. Acesso em: 10 abr. 2023.

CBMMG. **Manual de Bombeiros Militar – combate a incêndio urbano**, Belo Horizonte, 1. ed. v.1, 541p, 2020. Disponível em: <https://www.bombeiros.go.gov.br/wp-content/uploads/2015/12/MOB-Combate-a-Inc%C3%AAndio-Urbano-CBMGO.pdf>. Acesso em: 10 out. 2023.

CURVO, Heitor de Oliveira Vaz. **Estudo técnico sobre os requisitos mínimos exigíveis para o protótipo de LGE – CBMDF com base na ABNT 15511 (2008)**. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Formação de Oficiais) – Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, Brasília, 2022. Disponível em: <https://biblioteca.cbm.df.gov.br/jspui/bitstream/123456789/359/1/Heitor.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2023.

DANTASNET. **Métodos de Extinção de Incêndio**. 2013. Disponível em: <http://naturezadofogo.com.br/metodos-de-extincao-de-incendio/>. Acesso em: 06 jun. 2023.

DEMSA. **Manual de Espumas Sintéticas**. Buenos Aires, Argentina, 2018.

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: <https://www.scielo.br/j/qn/a/CSry5TjLh5FH3Tw7Gq4NgDr/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 21 maio 2023.

FIREMETRIA LABORATÓRIO DE ENSAIOS E ANÁLISES. **Relatório de Ensaio nº 1093/22**. Valinhos, São Paulo, 2022b.

FIREMETRIA LABORATÓRIO DE ENSAIOS E ANÁLISES. **Relatório de Ensaio nº 542 /23**. Valinhos, São Paulo, 2023.

GALVAO, Taís Freire; PEREIRA, Mauricio Gomes. Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração. **Epidemiol. Serv. Saúde**, Brasília, v. 23, n.1, p.183-184, mar. 2014. Disponível em: http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1679-49742014000100018&lng=pt&nrm=iso. Acesso em 26 jun. 2023.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2014.

KIDDE. **Guia de Espuma para Bombeiros e Brigadistas**. São Paulo, 2005.

LANDIN, Helen Ramalho de Oliveira. **O estudo da espuma como agente extintor de incêndios classe A**. TCC Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais (CAO) – Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, Brasília, 2007.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **NR 20 – Segurança e a Saúde no Trabalho com Inflamáveis e Combustíveis**. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2014. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt->

br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/ctpp/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-20-atualizada-2022-1.pdf. Acesso em: 28 maio 2023.

PAIVA, José Luiz. **Metodologia científica: manual para elaboração de textos acadêmicos, monografias, dissertações e teses**. Rio de Janeiro: UVA, 2005.

SANTIAGO, Vinícius Germano. **Otimização da formulação do líquido gerador de espuma do CBMDF (LGE-CBMDF) utilizando planejamento de experimentos**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Formação de Oficiais) – Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, Brasília, 2021. Disponível em: <https://biblioteca.cbm.df.gov.br/jspui/handle/123456789/296>. Acesso em: 03 de jun. 2023.

SILVA, Cláudio Nei Nascimento da. **Metodologia científica descomplicada: prática científica para iniciantes**. Brasília: IFB, 2016.

APÊNDICE A - ESPECIFICAÇÃO DO PRODUTO

1. **Aluno:** Cadete BM/2 **Núbia** Lorena Freire da Silva
2. **Nome:** *Flyer* “ Histórico das pesquisas sobre o LGE institucional”.
3. **Descrição:** O *flyer* apresenta a origem da pesquisa do LGE institucional, os principais acontecimentos e as descobertas das pesquisas realizadas sobre o tema com a finalidade de testar o LGE.
4. **Finalidade:** Informar aos militares do CBMDF e de outras instituições o histórico, os resultados obtidos e os avanços alcançados no desenvolvimento do LGE institucional.
5. **A quem se destina:** Aos militares do CBMDF e de outras Corporações e aos pesquisadores da área.
6. **Funcionalidades:** Não se aplica.
7. **Especificações técnicas:** *Flyer* informativo: Elaborado na plataforma de design gráfico Canva. Em sua versão digital, está salvo no formato .pdf (Portable Document Format) e possui 1 página. Em sua versão impressa, possui 1 página disposta no formato folheto e foi utilizado papel couchê de 150 G/m² com laminação brilho na frente, de tamanho A5 (148mm x 210mm).
8. **Instruções de uso:** Não se aplica.
9. **Condições de conservação, manutenção, armazenamento** (quando for o caso): Não se aplica.

APÊNDICE B - PRODUTO

FLYER HISTÓRICO DAS PESQUISAS SOBRE O LGE INSTITUCIONAL

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL



VIDAS ALHEIAS E RIQUEZAS SALVAR

HISTÓRICO DAS PESQUISAS SOBRE O LGE INSTITUCIONAL

VOCÊ SABIA QUE O CBMDF DESENVOLVEU O SEU PRÓPRIO LGE?

- Em 2016, o CBMDF iniciou pesquisas para confeccionar o seu próprio LGE a partir de estudos baseados nas patentes de LGEs comerciais que caíram em domínio público;
- Em 2018, o LGE - CBMDF foi, finalmente, desenvolvido.



O QUE AS PESQUISAS SOBRE O LGE INSTITUCIONAL REVELARAM?

<p style="text-align: center; color: #c00000;">2019</p> <p style="text-align: center; color: #c00000;">Estudo sobre a eficácia</p> <ul style="list-style-type: none"> Testes de fogo em <i>pallets</i> de madeira; O LGE estudado não teve seu desempenho compatível ao desempenho de um LGE comercial; No geral, os resultados foram positivos; Foi indicado para uso em treinamentos operacionais, devido ao seu menor custo. 	<p style="text-align: center; color: #c00000;">2020</p> <p style="text-align: center; color: #c00000;">Viabilidade do emprego em incêndios de líquidos inflamáveis derivados de petróleo</p> <ul style="list-style-type: none"> Testes de fogo em recipientes contendo combustível inflamável; No teste com querosene a camada de espuma degradou-se em poucos minutos; Foi sugerida a reformulação do protótipo, adicionando-se insumos formadores de uma camada polimérica mais resistente e duradoura para atender a diferentes tipos de combustíveis. 	<ul style="list-style-type: none"> Parceria com a Petrobrás para a realização de ensaios laboratoriais; Envio de amostra para ensaio em laboratório da Petrobrás mostrou que o LGE é eficaz, mas não é eficiente, por não extinguir incêndios no tempo estipulado pela norma; Também de acordo com o laboratório, o LGE não possui as propriedades físico-químicas de LGE classe B necessárias para ser aprovado pela norma.
<p style="text-align: center; color: #c00000;">2020</p> <p style="text-align: center; color: #c00000;">Estudo técnico sobre a utilização em treinamentos operacionais e testes de toxicidade e ecotoxicidade</p> <ul style="list-style-type: none"> Utilização do LGE em instruções e simulados nos cursos do COI e CICOI; 94% dos instrutores dos cursos citados aprovaram o LGE para uso em treinamentos para a tropa, visto que o protótipo apresenta características mínimas necessárias para os três tipos de espuma conhecidos; Utilização em instruções de combate a incêndio no Curso de Formação de Praças Especial; Foi estimada uma economia de 34% no valor do litro de LGE - CBMDF comparado ao LGE BIO FOR C; Resultados comparativos de propriedades toxicológicas mostraram que o LGE está dentro dos padrões mínimos de segurança; Constatou-se que o LGE - CBMDF está dentro dos padrões similares de perigo ao meio ambiente comparados aos dos LGEs comerciais. 	<p style="text-align: center; color: #c00000;">2021</p> <p style="text-align: center; color: #c00000;">Otimização da formulação</p> <ul style="list-style-type: none"> Utilizou-se uma ferramenta estatística para otimizar a formulação de LGE; Uma formulação otimizada foi testada, comparada com a formulação anterior de LGE - CBMDF e aprovada, porém foi recomendado mais testes; A otimização da amostra aponta uma economia possível nos custos de desenvolvimento de 5% a 40%. 	<p style="text-align: center; color: #c00000;">2023</p> <p style="text-align: center; color: #c00000;">Histórico das pesquisas envolvendo o LGE, adição de insumos e novo ensaio em laboratório em parceria com a Petrobrás</p> <ul style="list-style-type: none"> Um histórico das pesquisas e uma base para novas pesquisas foram gerados; Percebeu-se o desempenho do LGE institucional em diferentes cenários de combate a incêndio; Todos os estudos provaram que o LGE é mais eficaz e eficiente que a água; Envio de uma nova amostra acrescida de novos insumos para ensaios laboratoriais em parceria com a Petrobrás; A amostra enviada ainda não foi aprovada, mas apresentou significativa melhora no tempo de extinção do incêndio no teste realizado.
	<p style="text-align: center; color: #c00000;">2022</p> <p style="text-align: center; color: #c00000;">Pesquisa sobre os requisitos mínimos exigíveis com base na ABNT NBR 15511</p> <ul style="list-style-type: none"> Testes de fogo em recipiente contendo combustível inflamável (gasolina); A camada de espuma degradou-se rapidamente, indicando que o tempo de drenagem está baixo; A eficácia foi comprovada, pois o tempo de combate foi inferior ao interposto pela norma; A resistência da camada de espuma não impediu a reignição, sendo indicado, então monitoramento no rescaldo; 	<p style="text-align: center; color: #c00000;">Recomendações</p> <ul style="list-style-type: none"> Pesquisas envolvendo os insumos necessários para correção dos problemas apresentados nas pesquisas anteriores; Parceria com outras Instituições de Pesquisa e outros Corpos de Bombeiros.