

**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 **ANA LUÍSA** CAMPOS DE OLIVEIRA



**USO DE LÍQUIDO GERADOR DE ESPUMA PELO CORPO DE
BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL EM INCÊNDIOS
FLORESTAIS**

BRASÍLIA
2025

Cadete BM/2 **ANA LUÍSA** CAMPOS DE OLIVEIRA

**USO DE LÍQUIDO GERADOR DE ESPUMA PELO CORPO DE
BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL EM INCÊNDIOS
FLORESTAIS**

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.

Orientador: Ten-Cel. QOBM/Comb. **RODRIGO ALMEIDA FREITAS**

Coorientadores: ST. QBMG-01 **MICHEL AQUINO** DE SOUZA
Maj. QOBM/Compl. **CÉZAR AUGUSTO DE FREITAS ANSELMO**

BRASÍLIA
2025

Cadete BM/2 **ANA LUÍSA** CAMPOS DE OLIVEIRA

**USO DE LÍQUIDO GERADOR DE ESPUMA PELO CORPO DE BOMBEIROS
MILITAR DO DISTRITO FEDERAL EM INCÊNDIOS FLORESTAIS**

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: 16/05/2025.

BANCA EXAMINADORA

NILSA ANTÔNIA DE OLIVEIRA – Ten-Cel. QOBM/Comb.
Presidente

RAFAEL COSTA GUIMARÃES – Cap. QOBM/Compl.
Membro

JORGE HAMILTON HEINE E SILVA – Cap. QOBM/Comb.
Membro

RODRIGO ALMEIDA FREITAS – Ten-Cel. QOBM/Comb.
Orientador

RESUMO

O combate a incêndios florestais exige grande mobilização de recursos e pode causar impactos ambientais significativos. Nesse contexto, o uso de Líquido Gerador de Espuma (LGE) tem sido proposto como uma alternativa para aumentar a eficiência da extinção das chamas e reduzir o consumo de água. Este estudo teve como objetivo avaliar o impacto ambiental do LGE, bem como sua viabilidade de uso pelo Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF). Para isso, foram realizadas revisão bibliográfica e pesquisa experimental utilizando o teste *bait-lamina*, a fim de analisar os efeitos do LGE sobre organismos edáficos do Cerrado brasileiro. Os resultados indicaram que os impactos na atividade biológica do solo foram brandos quando usadas as concentrações indicadas pelo fabricante. Dessa forma, recomenda-se a regulamentação do uso do LGE pelo CBMDF, com a definição de diretrizes para minimizar impactos ambientais, além do incentivo à pesquisa e ao aprimoramento de formulações ecológicas. O estudo contribui para a tomada de decisões institucionais sobre o uso do LGE no combate a incêndios florestais, garantindo maior eficiência operacional e segurança ambiental.

Palavras-chave: Incêndios florestais; Líquido gerador de espuma; Impactos ambientais; Cerrado; Bombeiros militares.

USE OF FIREFIGHTING FOAM BY CBMDF IN FOREST FIRES

ABSTRACT

Forest fire suppression requires extensive resource mobilization and can cause significant environmental impacts. In this context, the use of Firefighting Foam (LGE) has been proposed as an alternative to increase fire extinguishing efficiency and reduce water consumption. This study aimed to assess the environmental impact of LGE, as well as its feasibility for use by the Federal District Military Fire Department (CBMDF). To achieve this, a literature review and an experimental study using the bait-lamina test were conducted to analyze the effects of LGE on soil organisms in the Brasília Cerrado. The results indicated that the impacts on soil biological activity were mild when using the concentrations recommended by the manufacturer. Therefore, it is recommended that CBMDF regulate the use of LGE, establishing guidelines to minimize environmental impacts, while encouraging research and the development of eco-friendly formulations. This study contributes to institutional decision-making regarding the use of LGE in forest fire suppression, ensuring greater operational efficiency and environmental safety.

Keywords: *Forest fires; Firefighting foam; Environmental impacts; Cerrado; Military firefighters.*

1 INTRODUÇÃO

Todos os anos, diversos recursos humanos e materiais são utilizados na Operação Verde Vivo (OPVV) do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF). Para o ano de 2024, cerca de 522 militares e 148 viaturas foram mobilizados ao longo de toda a mencionada operação (CBMDF, 2024). Ademais, foram previstas 17588 cotas de gratificação de serviço voluntário (GSV), o que gerou um custo de R\$ 7.035.200,00 à corporação, tendo como base o valor de R\$ 400,00 pagos por cota de GSV (CBMDF, 2024).

Por outro lado, segundo dados obtidos no sítio eletrônico do Grupamento de Proteção Ambiental (GPRAM), houve aproximadamente 8700 acionamentos, nos últimos 5 anos, para combate a incêndios florestais. Esse valor representa pouco mais de 4 ocorrências por dia. Além disso, uma média de 38.619,71 hectares foram queimados no período analisado, o que representa aproximadamente 6% da área total do DF (GPRAM, 2024).

Em âmbito mundial, ainda na década de 1990, vários países começaram a estudar os impactos ambientais do uso da espuma como agente extintor em incêndios florestais (Adams; Simmons, 1999). Por melhorar as qualidades da água como agente extintor, ela é mais eficiente e torna o combate mais rápido e fácil (CBMDF, 2009). Porém, os estudos sobre os impactos ambientais da espuma nos biomas brasileiros e especificamente no Cerrado ainda são escassos e incipientes (Souza *et al.*, 2020).

Souza *et al.* (2020) recomendam usos experimentais de protótipos de líquido gerador de espuma (LGE) em ocorrências de incêndios florestais de forma a gerar informações e dados para alimentar pesquisas futuras. Ademais, é preciso garantir que os impactos ambientais sejam os menores possíveis e dentro dos padrões estabelecidos pela Resolução 420/2009 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), a qual trata dos valores referenciais para substâncias químicas potencialmente contaminantes. Espera-se, assim, que o uso do LGE melhore a qualidade do trabalho dos bombeiros nesse tipo de ocorrência e diminua tanto a emissão de poluentes, gases tóxicos e área queimada quanto os gastos gerais com esse tipo de incêndio.

Tendo em vista essa complexidade das intervenções em combate a incêndio florestal, **quais os impactos ambientais do uso de LGEs (o protótipo do CBMDF e o comercial) no combate aos incêndios florestais no Cerrado?**

O objetivo geral do presente trabalho é apresentar um relatório ao GPRAM que possa embasar decisões institucionais e pesquisas futuras sobre a regulamentação da aquisição, produção interna pela corporação e uso de LGE, pelo CBMDF, nos incêndios em vegetação.

Em relação aos objetivos específicos, almeja-se:

- a) levantar informações acerca do uso de LGEs atualmente existentes nos incêndios em vegetação;
- b) prospectar as vantagens, desvantagens e limitações do uso da espuma nas queimadas do Cerrado;
- c) realizar pesquisa experimental com o protótipo de LGE desenvolvido pelo CBMDF e um LGE comercial sobre organismos edáficos do Cerrado brasiliense;
- d) e, por fim, elaborar relatório que subsidie o uso da espuma nos incêndios florestais do Cerrado.

Em relação à metodologia, utilizou-se a revisão bibliográfica e documental para atingir os objetivos específicos “a” e “b”. Já na realização da pesquisa experimental, utilizou-se o teste *bait-lamina* para avaliar os impactos ambientais de diferentes concentrações dos dois LGEs mencionados. A hipótese inicial foi de que ambos os LGEs testados não causariam prejuízos significativos aos organismos edáficos do Cerrado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O incêndio florestal no CBMDF

Segundo a Lei nº 8.255 de 20 de novembro de 1991, que trata da Organização Básica do CBMDF e dá outras providências:

Art. 2º Compete ao Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal:

I - realizar serviços de prevenção e extinção de incêndios;

II - realizar serviços de busca e salvamento;

III - realizar perícias de incêndio relacionadas com sua competência;

IV - prestar socorros nos casos de sinistros, sempre que houver ameaça de destruição de haveres, vítimas ou pessoas em iminente perigo de vida;

V - realizar pesquisas técnico-científicas, com vistas à obtenção de produtos e processos, que permitam o desenvolvimento de sistemas de segurança contra incêndio e pânico;

VI - realizar atividades de segurança contra incêndio e pânico, com vistas à proteção das pessoas e dos bens públicos e privados;

VII - executar atividades de prevenção aos incêndios florestais, com vistas à proteção ambiental;

VIII - executar as atividades de defesa civil;

IX - executar as ações de segurança pública que lhe forem cometidas por ato do Presidente da República, em caso de grave comprometimento da ordem pública e durante a vigência do estado de defesa, do estado de sítio e de intervenção no Distrito Federal.

X - executar serviços de atendimento pré-hospitalar. (Incluído pela Lei nº 12.086, de 2009).

Ademais, segundo o anuário estatístico do CBMDF 2020-21, incêndio é toda ocorrência de fogo não controlado em qualquer meio e ambiente. Os incêndios podem ser, segundo o local: estruturais (edificações), veiculares (meio de transporte) ou em vegetação. Em 2021, 11,4% das ocorrências do CBMDF foram de incêndio (CBMDF, 2023).

No que diz respeito aos incêndios florestais, segundo dados obtidos no sítio eletrônico do GPRAM, houve aproximadamente 8700 mil acionamentos, nos últimos 5 anos, para combate a incêndios florestais. Além disso, uma média de 38.619,71 hectares foram queimados no mesmo período. Isso representa aproximadamente 6% da área total do DF.

2.2 Impactos do incêndio florestal na saúde dos bombeiros e no meio ambiente

A atividade de combate a incêndios florestais exige extremo preparo físico e emocional do bombeiro militar, pois gera elevada sobrecarga musculoesquelética e cardiovascular (Santos Junior, 2022). Dentre as ações desempenhadas encontram-se a: confecção de aceiros, remoção de materiais combustíveis, uso de ferramentas manuais, longas caminhadas por terrenos acidentados, transporte e uso de objetos pesados para combate ao fogo (Heil, 2002; Ruby *et al.*, 2003). Esses equipamentos podem chegar a pesar 25kg, os quais são manuseados em terrenos acidentados e com elevada concentração de gases tóxicos (Strang *et al.*, 2018).

Outro fator agravante do desgaste físico do bombeiro militar nas ocorrências de incêndios florestais é o tempo de atividade laboral, que pode chegar a mais de 12 horas e resultar em gastos energéticos da ordem de 3000 a 6000 kcal por dia (Ruby *et al.*, 2003). Tudo isso corrobora o fato de a profissão bombeiro militar ser de alto risco e com elevada taxa de mortalidade cardiovascular em serviço (Smith, *et al.*, 2016).

Em relação às substâncias tóxicas liberadas pelos incêndios em vegetação, encontram-se os materiais particulados (MP), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio, compostos orgânicos voláteis e dióxido de enxofre (Schwela *et al.*, 1999).

O MP é o mais perigoso, pois as partículas menores penetram de forma mais profunda no sistema respiratório baixo, causando desde irritação no sistema respiratório e nos olhos até complicações mais severas como tosse crônica, dificuldade de respirar, redução na capacidade pulmonar, bronquite, agravação da asma, problemas cardíacos e morte precoce (Stone *et al.*, 2019).

O CO, por sua vez, gás inodoro e tóxico produzido em combustões incompletas, combina-se permanentemente com a hemoglobina (condenando a hemácia à morte), impedindo que o oxigênio se ligue à hemácia e chegue até as células. A intoxicação por CO pode gerar dores de cabeça, náusea, vômitos, asfixia e óbito (Souza, M. A. 2020).

Com relação aos compostos orgânicos voláteis, o formaldeído se destaca por ser o mais comumente encontrado na fumaça. Ele produz irritação imediata nos olhos, no sistema respiratório e pode causar leucemia e câncer na região da nasofaringe (Iarc, 2004).

De maneira semelhante, o dióxido de enxofre causa irritação severa nos olhos, no sistema respiratório, na pele e nas mucosas podendo levar à bronco constrição. Na presença de vapor de água, pode formar ácido sulfúrico e causar lesões às vias aéreas (Gabbert, 2006).

Tendo essas informações em consideração, é preocupante a saúde laboral do bombeiro militar que atua no combate aos incêndios florestais, pois, segundo Santos Junior (2022, p.4, grifo nosso):

o presente trabalho buscou junto à Universidade de Brasília dados de monitoramento de combates feitos no DF, Goiás e Roraima. A análise dos dados revelou que a exposição do combatente é intermitente, e cerca de 5 a 10% das amostras indicaram valores de concentração **acima do limite de exposição ocupacional**.

Em relação aos impactos sobre o meio ambiente, Pereira *et al.* (2021, p.3) destacam que:

Algumas partículas podem permanecer na atmosfera por dias a semanas e percorrer longas distâncias, às vezes centenas de quilômetros, afetando a concentração de poluentes em regiões distantes da fonte. Como exemplos, podemos citar a presença de partículas provenientes dos incêndios florestais australianos na cidade de Porto Alegre no início de 2020 e a presença de partículas provenientes da Bacia Amazônica e da Bolívia na cidade de São Paulo em agosto de 2019, bem como a presença de partículas na neve e geleiras andinas mostrada em imagens de satélite, levantando a hipótese de que parte do carbono negro encontrado naquela região possivelmente tenha origem em incêndios na Amazônia.

2.3 Vantagens do uso da espuma em incêndios

Diante do exposto, é possível compreender o impacto negativo dos incêndios em vegetação tanto ao meio ambiente quanto ao bombeiro militar. Nesse ponto, cabe destacar o uso da espuma como uma maneira comprovadamente eficaz, rápida e mais econômica de debelar esses incêndios (Braga *et al.*, 2018).

A espuma foi desenvolvida para retirar as desvantagens da água como agente extintor de incêndios. Ela contém tensoativos, que diminuem a tensão superficial da água, permitindo que ela escorra melhor sobre o material em chamas. As espumas são, portanto, sistemas constituídos por uma superfície líquida com uma dispersão gasosa em seu interior, tornando possível a formação de bolhas a partir da mistura do agente tensoativo com a água e o ar. Dessa forma, a espuma isola o combustível do comburente (extinguindo o incêndio por abafamento) ao mesmo tempo em que resfria o combustível, isto é, retira o calor e contribui para a diminuição da reação em cadeia (CBMDF, 2009).

Ademais, o combate a incêndios com espuma é mais rápido e econômico do que com uso da água. Enquanto um combate a incêndio de 160 elementos de madeira consome 1560 L de água e demanda aproximadamente 8 minutos (com possibilidade alta de reignição), o uso da espuma utiliza apenas 250 L de água, um tempo de aproximadamente 3 minutos e 30 segundos sem a possibilidade de reignição (Braga *et al.*, 2018).

O uso do sistema de espuma por ar comprimido (CAFS) levou o CBMDF a conquistar o 1º lugar no Concurso Nacional do 6º Prêmio de Boas Práticas de Sustentabilidade A3P (agenda ambiental na administração pública) do Ministério do Meio Ambiente pelo manejo sustentável dos recursos naturais (Verdi, 2016). Ainda em 2007, a corporação iniciou as pesquisas sobre o uso de espuma e, em 2013, o sistema CAFS foi integrado ao chassi das viaturas (Verdi, 2016).

As cinco vantagens do sistema CAFS incluem: o uso seis vezes menor de água que nos procedimentos normais; resfriamento seis vezes mais rápido em ambientes confinados; menos poluição atmosférica (a espuma cobre e impede a liberação de gases tóxicos); menos poluição pluvial (no combate tradicional, a água em excesso escorre e contamina mananciais com os produtos tóxicos do incêndio), pois a espuma se fixa ao material e fica contida onde foi jogada (além de ser 100% biodegradável em menos de 30 dias); e menos riscos para os bombeiros que atuam na operação pela sua ação rápida sobre as chamas (Verdi, 2016).

2.4 Uso de espuma em incêndios florestais

Na década de 1990, retardantes de chamas e espumas rapidamente ganharam aceitação pelos órgãos de combate a incêndio na Austrália, justamente pela sua maior eficiência em relação à água. Ademais, 15% do orçamento destinado a combater incêndios foi gasto com retardantes e espumas (Adams; Simmons, 1999).

Nos Estados Unidos, por sua vez, durante o ano de 1992, uma quantidade de LGE suficiente para criar 160 milhões de litros de espuma foi comercializada (Adams; Simmons, 1999). Apesar disso, naquela época, os estudos sobre os impactos ecológicos de retardantes de chamas e espumas ainda eram escassos (Adams; Simmons, 1999).

Adams e Simmons (1999), portanto, realizaram experimentos com espumas e retardantes de chamas em três espécies de peixe nos estágios iniciais de vida: *Pimephales promelas*, *Oncorhynchus mykiss* e *Oncorhynchus tshawytscha*. A conclusão foi de que a espuma afeta adversamente o funcionamento de ecossistemas aquáticos e seus invertebrados. As espumas Phos-Chek WD-881 e Silv-Ex mostraram-se 10 vezes mais tóxicas para o *Oncorhynchus mykiss* e *Oncorhynchus tshawytscha* e de 10 a 258 vezes mais tóxicas para o *Pimephales promelas* que os retardantes de chamas testados (Phos-Chek D75-F, Fire-Trol GTS-R e o Fire-Trol LCG-R). Cabe destacar que o estágio de vida dos peixes testados interferiu nos resultados, pois, na fase de ovo e nos primeiros estágios de vida, os peixes se mostraram mais resistentes à toxicidade da espuma (Adams, R.; Simmons, D. 1999).

Testes com os mesmos retardantes e espumas foram feitos com duas espécies de invertebrados aquáticos: *Daphnia magna* e *Hyalella azteca*. A alga *Selenastrum capricornutum* também foi testada. As espumas se mostraram de 10 a 20 vezes mais tóxicas para a *Daphnia magna* do que os retardantes e de 2 a 5 vezes mais tóxica que os mesmos retardantes à *Hyalella azteca*. Os resultados em relação à alga foram inconsistentes (Adams; Simmons, 1999).

Um ponto importante é o incremento na toxicidade ao longo do tempo. Apesar de a diluição e degradação da espuma acontecerem de forma relativamente rápida (para a Phos-Chek WD-881, a degradação é de 80% em 21 dias e da Silv-Ex, de 37%

numa solução de 0.5% em 20 dias), as gerações sucessivas ainda podem ser expostas a quantidades tóxicas de espuma (Adams; Simmons, 1999).

Essa toxicidade acontece por conta do surfactante da espuma. Ao diminuir a tensão superficial da água, ele diminui a capacidade desses invertebrados em captar o oxigênio da água, pois altera a permeabilidade das membranas biológicas (Adams; Simmons, 1999).

Essa avaliação de risco ambiental para espumas e retardantes químicos também foi feita em 7 eco regiões norte-americanas. Nesses casos, os resultados não indicaram efeitos adversos em vertebrados terrestres e corroboraram o alto potencial adverso da espuma para espécies aquáticas (Adams; Simmons, 1999).

Larson *et al.* (1999) testaram a toxicidade da espuma Silv-Ex em plantas e animais terrestres. Na época do estudo, os autores afirmaram que havia pouca informação sobre os efeitos desses produtos no nível de comunidades e ecossistemas. Foram medidas a taxa de crescimento das plantas, de rebrota, de florescimento, de incidência de insetos, biodiversidade e número de caules de madeira nas áreas mais altas e nas áreas ribeirinhas. Somente a biodiversidade e o número de caules por metro quadrado apresentaram decréscimo significativo com o uso da espuma. Entretanto, ao final da temporada de crescimento, a biodiversidade voltou aos valores normais com base na amostra de controle. Os autores afirmam, ainda, que o fogo teve maior influência sobre as variáveis do experimento do que o uso da espuma. Dessa forma, constatou-se a não toxicidade da espuma no ambiente terrestre a curto prazo. Porém, os autores destacam que a curta duração do estudo torna inviável afirmar, com certeza, quais mudanças poderiam ocorrer nas estações do ano subsequentes.

2.5 Espumas ecológicas

Segundo Kawano *et al.* (2014), espumas de combate a incêndio ambientalmente inertes têm sido desenvolvidas como parte de um projeto nacional japonês. Isso aconteceu após inesperados e grandes incêndios terem se espalhado pela costa japonesa, em consequência de terremotos e tsunamis. Dessa forma, o

governo japonês passou a considerar o uso de extintores químicos nos incêndios em vegetação.

Em seu estudo, Kawano *et al.* (2014) analisaram os impactos de curto e longo prazo dessas espumas nos ecossistemas tipicamente japoneses. Os testes foram feitos em ecossistemas aquáticos e semiaquáticos, com espumas à base de sabão e a base de detergente sintético (que se mostrou mais tóxico). O material biológico usado nos ensaios consistiu no peixe *Oryzias latipes*, nos protozoários *Paramecium bursaria* e *P. caudatum*, em sementes germinadas de *Oryza sativa*. L. e amostras biológicas coletadas em lama.

Foi testada uma espuma sintética (Phoschek) e um protótipo japonês de espuma baseada em sabão (*Miracle-foam*). Ao aplicar os testes, não foram aferidos impactos drásticos na sobrevivência do *P. bursaria*. Porém, uma semana após a aplicação das espumas, a propagação da *P. bursaria* sofreu uma mudança notável. Na amostra em que houve a aplicação da espuma sintética, a propagação desse micro-organismo foi significativamente inibida em comparação com as amostras tratadas somente com água ou com a espuma à base de sabão.

Houve também a atividade reprodutiva espontânea de insetos sobre as amostras: o *Lyriothemis pachygastra* e o *Sympetrum darwinianum*. Pequenos caracóis da espécie *Physella acuta* e ninfas dos insetos foram encontradas nos ecossistemas com aplicação da espuma à base de sabão e na amostra de controle, 7 meses após as aplicações. Porém, não houve atividade reprodutiva na amostra tratada com a espuma sintética Phoschek. Isso mostra que os efeitos tóxicos de espumas sintéticas permanecem por um período longo em ecossistemas aquáticos.

Kawahara *et al.* (2016) avançaram nas pesquisas para desenvolver espumas menos tóxicas a ecossistemas aquáticos usando sais de ácidos graxos de origem natural como componente principal. Para esses autores, essa formulação é menos tóxica, pois reage com íons de metal formando sabão metálico, o qual não tem atividade interfacial e possui toxicidade menor. É necessário, porém, adicionar um agente quelante à espuma a fim de prevenir essa formação de sabão metálico. De acordo com os testes realizados por Kawahara *et al.* (2016), o ácido diacético metil glicina (MGDA) mostrou-se o agente quelante mais adequado, pois apresentou boa

taxa de biodegradabilidade e pouco impacto ambiental. Ademais, teve a melhor taxa de expansão, melhor operabilidade e baixa temperatura de estabilidade.

Íons de potássio (em vez de íons de sódio) como contra cátions de sais de ácidos graxos foram usados, o que aumentou a taxa de viscosidade cinética, diminuiu o ponto de fluidez, aumentou a operabilidade e a temperatura de estabilidade (Kawahara *et al.*, 2016). Foram testadas também composições com diferentes emulsificantes, expansibilidade e viscosidade da espuma. Os autores concluíram que seu protótipo de espuma de combate a incêndios florestais tem melhor operabilidade e é mais fácil de usar do que as espumas desenvolvidas para incêndios estruturais, por exemplo.

Ao final, Kawahara *et al.* (2016) afirmam que espumas ecológicas para combater incêndios florestais devem ser compostas por sabão como surfactante, pois têm maior biodegradabilidade, baixa toxicidade para a água e MGDA como agente quelante, por ter se mostrado altamente biodegradável e eficaz na supressão de sabão metálico.

2.6 Estudos sobre espuma para incêndio florestal no âmbito do CBMDF e desenvolvimento de protótipos de LGE pela corporação

No âmbito do CBMDF, Souza *et al.* (2020) fizeram testes de germinação, sobrevivência e desenvolvimento da *Dalbergia miscolobium*, árvore nativa do Cerrado, em espuma a fim de avaliar a fitotoxicidade de seu protótipo de LGE em espécies nativas dessa região.

Os autores afirmam que os testes de germinação são bons indicadores da toxicidade de substâncias, pois são um momento de desenvolvimento das plantas bastante sensível a contaminações. No caso do LGE, os surfactantes (tensoativos) diminuem a disponibilidade de oxigênio para as divisões celulares da germinação. Por outro lado, depois de já desenvolvidas, os revestimentos de cera das plantas podem ser dissolvidos pelo LGE e dificultar os processos de evapotranspiração (Backer *et al.*, 2004).

O LGE utilizado no estudo era composto de: Propileno glicol, Lauril éter sulfato de sódio, Ácido sulfônico, Amida 60, polissacarídeo Goma Xantana, Glicerina, Ureia,

Hidróxido de Sódio e corante (Souza *et al.*, 2020). Ademais, esses compostos não constam da Resolução 420/2009 do CONAMA.

Os testes de germinação foram divididos em testes laboratoriais, feitos com *Lactuca sativa* em soluções contendo LGE e água destilada para o controle, e testes de campo, com sementes de *D. miscolobium*.

Nas palavras dos autores (Souza *et al.*, 2020, p. 22):

L. sativa apresentou 100% de germinação nos ensaios de controle em água destilada. Ela apresentou apenas emergência da radícula para ambos os ensaios com LGE, a 2% e 1%. Portanto, apresentou uma inibição de 100% para o alongamento do hipocótilo. Para LGE a 2%, as radículas apresentaram em média 1mm, enquanto a 1%, aproximadamente 2mm. A emergência da radícula de *L. sativa* indica que houve passagem da solução através do tegumento da semente, embebição do endosperma e ativação do crescimento embrionário. Porém, as células embrionárias entraram em contato direto com substâncias que causaram a fito toxicidade aguda subletal para essas concentrações de LGE. Isso aponta para necessidade de alterações na composição do protótipo de LGE avaliado.

Em relação aos resultados com a *D. miscolobium*, Souza *et al.* (2020, p. 23) afirmam que:

A taxa de germinação foi de 36,56% no substrato que recebeu a solução com LGE a 2%, enquanto o controle apresentou 41,41% de germinação. Portanto, a solução com LGE inibiu a germinação em 4,85% até o 35º dia. Bragiola (2016) observou germinação de 30 a 84% das sementes de *D. miscolobium* em condições laboratoriais. Portanto, os resultados de germinação apresentam-se dentro de limites aceitáveis mesmo quando as sementes tiveram contato com o LGE.

Quanto ao desenvolvimento da plântula, os autores destacam que a *D. miscolobium* desenvolveu 8 folíolos, em média, quando tratado com LGE a 2% e 13 folíolos na amostra sem LGE. Após a germinação, a solução com LGE a 2% apresentou 15,8% de mortalidade das plântulas germinadas depois de 98 dias. Isso corrobora a baixa fito toxicidade do LGE mesmo em altas concentrações, o que se deve à alta biodegradabilidade de seus componentes e de sua dispersão pelo solo.

Dessa forma, Souza *et al.* (2020) concluem que os danos ambientais do LGE não superam os danos que as próprias cinzas causam aos ecossistemas aquáticos após os incêndios. Nos experimentos realizados, não houve impactos significativos ao solo por conta da alta diluição e biodegradabilidade do LGE. Assim, o protótipo de

LGE desenvolvido apresentou baixa fito toxicidade para a *D. miscolobium*, sendo, porém, necessárias outras pesquisas.

3 METODOLOGIA

3.1 Classificação de pesquisa

De acordo com De Souza *et. al.* (2020, p. 25):

Considerando o amplo conhecimento mundial publicado e o crescente uso da tecnologia de combate a incêndios florestais com espuma, sugere-se a adoção de práticas que visem efetivar essas técnicas de combate nos corpos de bombeiros do Brasil. Mas, para garantir a segurança ergonômica, ambiental e econômica são necessárias outras pesquisas.

A finalidade da presente pesquisa, portanto, foi contribuir para a construção de conhecimento científico na área de impactos ambientais causados pelo LGE em vegetação (no Cerrado brasileiro, especificamente), como também preencher a lacuna de normativas internas sobre aquisição e produção de espumas ecológicas, além de seu uso nos incêndios em vegetação. Dessa forma, pode-se classificar o presente trabalho como uma pesquisa aplicada, já que ampliou o conhecimento científico, trouxe novas questões a serem investigadas e auxiliou na solução de problemas de ordem prática (Gil, 2017).

Quanto aos objetivos, a pesquisa foi exploratória, pois a análise da bibliografia existente sobre o uso de espuma nos incêndios em vegetação proporcionou maior familiaridade com o problema, tornando possível conhecer melhor o assunto e formular hipóteses (Gil, 2017). Por outro lado, a vertente prática do presente estudo, isto é, a pesquisa experimental, tornou possível identificar fatores presentes no LGE os quais determinam ou contribuem para a poluição do solo e contaminação da fauna do Cerrado brasileiro, caracterizando-a como uma pesquisa explicativa (Gil, 2017). Isso permitiu colher informações para subsidiar novas formulações menos tóxicas ao meio ambiente e mais efetivas no combate às chamas.

Por fim, em relação à abordagem, pode-se afirmar que predominou o viés quantitativo, pois, variáveis predeterminadas foram mensuradas e expressas numericamente e os dados, analisados com uso preponderante de métodos quantitativos (Appolinário, 2011).

3.2 Procedimentos metodológicos

Em primeiro lugar, foi realizada pesquisa bibliográfica e documental para levantar informações sobre o uso de LGEs atualmente existentes, nos incêndios em vegetação, além de informações sobre suas vantagens, desvantagens e limitações.

A pesquisa bibliográfica consiste no levantamento de informações já publicadas sobre um assunto de interesse. Seu objetivo é o contato direto com tudo o que foi escrito sobre determinado tema, a fim de subsidiar a análise de uma pesquisa (Silva, 2015). Nesse sentido, foi feita uma busca temática na base de dados *Scientific Electronic Library On-line* (SciELO) e Google Acadêmico, utilizando as seguintes palavras chave: “líquido gerador de espuma”, “espuma para combate a incêndio”, “espuma biodegradável”, “espuma ecológica”, “incêndio florestal”, “toxicidade”, “*fire-fighting foam*”, “*eco-toxicity*”, e “*wildland fire*”. O escopo temporal da pesquisa ficou entre os anos de 1990 e 2024.

Em relação à pesquisa documental, esta se diferencia da pesquisa bibliográfica principalmente pela natureza das fontes utilizadas. A pesquisa bibliográfica tem o propósito maior de ser lida por um público específico. Já a pesquisa documental vale-se de toda sorte de documentos, elaborados com finalidades diversas (Gil, 2017). Dessa forma, também foram colhidas informações em sítios eletrônicos institucionais do CBMDF (tais como boletins gerais, anuários, manuais operacionais, planos de operação e planos estratégicos) e em legislações correlatas ao presente trabalho. O escopo temporal utilizado foi o mesmo da pesquisa bibliográfica.

Por meio dessas duas modalidades de pesquisa, portanto, foi realizada a revisão narrativa de literatura para “sintetizar informações e posições existentes sobre um tema de forma a oferecer uma visão clara de como esse tema é atualmente entendido.” (Mueller; Brito, 2011, p. 4).

Por fim, realizou-se experimento prático para testar os efeitos do LGE sobre os organismos edáficos do solo. A pesquisa experimental visa elucidar relações de causa e efeito entre variáveis. Manipulam-se deliberadamente as variáveis ditas independentes (supostas causas) para analisar as consequências sobre as variáveis

dependentes (supostos efeitos), dentro de uma situação controlada pelo pesquisador (Appolinário, 2011).

Na investigação experimental, utilizou-se o método *bait-lamina* para avaliação da atividade alimentar de invertebrados edáficos. Trata-se de um método simples e amplamente aceito na comunidade científica para avaliar a qualidade do solo relacionada à atividade biológica (Niva *et al*, 2021). Nesse experimento, foram confeccionadas 524 lâminas em cano PVC com 150 mm de comprimento, 6 mm de largura e 1 mm de espessura. Elas foram perfuradas com 16 orifícios distantes 5 mm um do outro, a partir de 85 mm da extremidade inferior (conforme a Figura 1).

Figura 1 – Modelo de lâmina usado no experimento



Fonte: A autora.

Esse padrão de distanciamento das perfurações serve para avaliar a atividade biológica em diferentes níveis do solo, com o primeiro orifício correspondendo à profundidade de 0,5 cm do solo e o último a 8,0 cm de profundidade (Niva *et al*, 2021). Os orifícios servem para a fixação de uma isca à base de celulose, cujo quantitativo de consumo indicará o nível de atividade biológica dos organismos edáficos presentes no solo do Cerrado. As perfurações são cônicas em ambas as faces da lâmina para favorecer a fixação da isca.

O preparo das iscas foi feito conforme especificado por Niva *et al* (2021): 70% de celulose microcristalina, 27% de farinha de aveia, 3% de carvão ativado em pó e água deionizada para misturar os ingredientes de maneira a criar uma massa moldável.

Foram realizados dois experimentos de campo. O primeiro experimento ocorreu entre os dias 9 e 26 de outubro de 2024, próximo ao colégio Dom Pedro II (localizado no Setor Policial Sul, em Brasília/DF, nas coordenadas geográficas 15°48'06.1"S 47°53'27.1"W), numa área de aproximadamente 36.735,3 m² (equivalente a cerca de 3,67 hectares) e representativa do Cerrado Típico. Aguardou-se o início da estação chuvosa, pois fatores como temperatura, precipitação, tipo de solo, cobertura, vegetação e composição da isca interferem no padrão de consumo (Niva *et al*, 2021).

O experimento consistiu na comparação da atividade biológica em área onde houve o uso da espuma comercial (em 4 concentrações distintas: concentração mínima de uso, concentração máxima de uso, o dobro da concentração máxima de uso e 100 % de concentração, para simular uma situação de derramamento acidental), o LGE do CBMDF (nas mesmas 4 diferentes concentrações mencionadas), água tratada e água destilada, a qual foi usada como controle (conforme a Tabela 1).

Tabela 1 – Quantitativo de lâminas usada em cada teste

| PARCELA | QUANTIDADE DE CONJUNTOS | QUANTIDADE DE LÂMINAS | OBSERVAÇÕES | TOTAL DE LÂMINAS |
|--------------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------|------------------|
| TESTE DE VALIDAÇÃO | 8 | 3 | - | 24 |
| TRATAMENTO: LGE CBMDF 100% | 10 | 5 | | 50 |
| TRATAMENTO: LGE CBMDF 2% | 10 | 5 | | 50 |
| TRATAMENTO: LGE CBMDF 1% | 10 | 5 | | 50 |
| TRATAMENTO: LGE CBMDF 0,5% | 10 | 5 | | 50 |
| TRATAMENTO: LGE COMERCIAL 100% | 10 | 5 | | 50 |
| TRATAMENTO: LGE COMERCIAL 0,6% | 10 | 5 | | 50 |
| TRATAMENTO: LGE COMERCIAL 0,3% | 10 | 5 | | 50 |
| TRATAMENTO: LGE COMERCIAL 0,1% | 10 | 5 | | 50 |
| ÁGUA TRATADA | 10 | 5 | | 50 |
| ÁGUA DESTILADA | 10 | 5 | | 50 |
| | | | TOTAL GERAL | 524 |

Fonte: A autora.

A fim de garantir significância estatística, repetiu-se cada tratamento 10 vezes com conjuntos de 5 lâminas cada. Essa configuração, segundo Niva *et al* (2021), é mais interessante estatisticamente devido à maior cobertura da área estudada e ao aumento do número amostral. Assim, se o número de parcelas avaliado, por tratamento, for de pelo menos três, a estatística se torna robusta e contribui para o equilíbrio entre esforço amostral e qualidade do resultado (Niva *et al*, 2021).

A distribuição das lâminas nos conjuntos ocorreu conforme a Figura 2, de forma a simular uma linha de incêndio florestal. A quantidade de solução de LGE e água usada nos tratamentos levou em conta que uma bomba costal de 20L consegue apagar uma linha de fogo de aproximadamente 30m de extensão¹. Assim, foram usados 330ml de solução de LGE e água nos tratamentos, seguindo as quatro diferentes concentrações mencionadas na Tabela 1.

Figura 2 - Organização das lâminas nos conjuntos



Fonte: A autora.

Em relação aos prazos de exposição das lâminas no solo, Niva *et al* (2021) mencionam que o período ideal é o que permita o consumo de aproximadamente 50% das iscas na amostra de controle (que foi a tratada com água destilada). Da mesma forma, caso haja ao menos 30% de consumo das iscas o teste também é considerado válido. Porém, um consumo maior que 90% pode dificultar comparações e comprometer a sensibilidade do método. Realizou-se, portanto, um teste de validação para ajustes na metodologia e definição do tempo de permanência das lâminas no solo. Para isso, prepararam-se 24 lâminas, as quais foram lavadas com água, sabão neutro, solução de hipoclorito de sódio e preenchidas conforme as

¹ Informação fornecida pelo coorientador, ST Michel Aquino.

instruções de Niva *et al*, 2021: foram preenchidas em um dia, secaram por 12h, foram preenchidas novamente (pois a isca diminui de tamanho sem a água, abrindo mais espaços para serem completados) e deixadas em local fresco e arejado para secar até a instalação no solo (no dia 09 de outubro de 2024). Essa mesma metodologia de preparo das lâminas foi usada nos dois testes efetivos.

A instalação das 24 lâminas do teste de validação ocorreu no dia 9 de outubro de 2024, com a primeira retirada no dia 19 de outubro de 2024. Nesse mesmo dia 19, foram instaladas as demais 500 lâminas que compuseram o primeiro teste efetivo, sendo retiradas no dia 26 de outubro de 2024, juntamente às demais lâminas do teste de validação. Porém, 7 lâminas do teste de validação e 4 do teste efetivo (tratadas com LGE do CBMDF a 2%) não foram encontradas.

Após a retirada, as lâminas foram analisadas em ambos os lados e os resultados, consolidados em tabelas cujas linhas representam os níveis de profundidade do solo e as colunas representam cada lâmina analisada (conforme a Tabela 2). Utilizou-se o número 1 para indicar os furos em que a isca foi totalmente consumida, 0 para os furos cuja isca não foi consumida e 0,5 para os furos onde o consumo da isca foi parcial.

Tabela 2 – Exemplo de tabela de consolidação dos resultados

| | Água destilada (retirada em 26/10/2024) | | | | | | | |
|----------|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | Lâmina 1 | Lâmina 2 | Lâmina 3 | Lâmina 4 | Lâmina 5 | Lâmina 6 | Lâmina 7 | Lâmina 8 |
| 1º furo | 0,5 | 1 | 0,5 | 1 | 0,5 | 0 | 0 | 1 |
| 2º furo | 1 | 1 | 0 | 1 | 0,5 | 0 | 0,5 | 1 |
| 3º furo | 0,5 | 1 | 0 | 1 | 0,5 | 0 | 1 | 1 |
| 4º furo | 0,5 | 1 | 0 | 0,5 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 5º furo | 0,5 | 1 | 0 | 0,5 | 0,5 | 0 | 1 | 1 |
| 6º furo | 0 | 1 | 0 | 0,5 | 0,5 | 0 | 1 | 1 |
| 7º furo | 0 | 1 | 0 | 0,5 | 0,5 | 0 | 1 | 1 |
| 8º furo | 0 | 0 | 0 | 0,5 | 0,5 | 0 | 1 | 1 |
| 9º furo | 0 | 1 | 0 | 0,5 | 0,5 | 0 | 1 | 1 |
| 10º furo | 0 | 1 | 0 | 1 | 0,5 | 0 | 1 | 1 |
| 11º furo | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 12º furo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 13º furo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 14º furo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 15º furo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 16º furo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |

Fonte: A autora.

A Figura 3 mostra o padrão de análise adotado para considerar um orifício como cheio, parcialmente consumido e vazio. Da esquerda para a direita, os 5 primeiros orifícios são o padrão adotado como “cheio”, os dois próximos como “parcialmente consumido” e o seguinte como “vazio”.

Figura 3 – Padrão de avaliação do consumo das iscas



Fonte: A autora.

Já a segunda repetição do experimento ocorreu na Área Alfa da Marinha (na Estação Rádio da Marinha no DF), próximo à região administrativa da Santa Maria, entre os dias 11 e 25 de janeiro de 2025.

Nesse segundo experimento, os tratamentos foram repetidos em 10 diferentes campos. Cada campo foi dividido em 9 diferentes posições, dentro das quais um conjunto de 5 lâminas foi inserido. A exceção foi a posição denominada “extra”, na qual apenas uma lâmina de cada tratamento a 100% foi inserida. Dessa forma, utilizou-se um total de 420 lâminas: 50 por tratamento, exceto as concentrações de 100% (as quais totalizaram apenas 20 lâminas: 10 do LGE do CBMDF e 10 do LGE comercial). Os tratamentos usados em cada posição de cada campo variaram conforme especificado na Figura 4. O tratamento 1 corresponde ao LGE do CBMDF a 2%, o tratamento 2 ao LGE do CBMDF a 1%, o tratamento 3 ao LGE do CBMDF a 0,5%, o tratamento 4 ao LGE comercial a 0,6%, o tratamento 5 ao LGE LGE comercial a 0,3%, o tratamento 6 ao LGE comercial a 0,1%, o tratamento 7 à água tratada e o tratamento 8 à água destilada. Esse modelo de distribuição permitiu que cada tratamento ocupasse todas as diferentes posições ao longo dos campos.

Figura 4 – Distribuição aleatória usada no experimento de janeiro²

| tratamento | ordem por posição | | | | | | | | | |
|------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1 | C1/P7 | C2/P5 | C3/P3 | C4/P4 | C5/P5 | C6/P4 | C7/P7 | C8/P3 | C9/P6 | C10/P2 |
| 2 | C1/P4 | C2/P3 | C3/P6 | C4/P8 | C5/P2 | C6/P8 | C7/P8 | C8/P8 | C9/P2 | C10/P4 |
| 3 | C1/P5 | C2/P8 | C3/P5 | C4/P2 | C5/P3 | C6/P6 | C7/P5 | C8/P6 | C9/P4 | C10/P3 |
| 4 | C1/P6 | C2/P7 | C3/P8 | C4/P5 | C5/P8 | C6/P3 | C7/P6 | C8/P1 | C9/P7 | C10/P7 |
| 5 | C1/P3 | C2/P6 | C3/P4 | C4/P7 | C5/P1 | C6/P7 | C7/P3 | C8/P4 | C9/P5 | C10/P8 |
| 6 | C1/P8 | C2/P4 | C3/P2 | C4/P3 | C5/P6 | C6/P1 | C7/P2 | C8/P7 | C9/P8 | C10/P6 |
| 7 | C1/P2 | C2/P1 | C3/P1 | C4/P6 | C5/P4 | C6/P2 | C7/P4 | C8/P5 | C9/P3 | C10/P5 |
| 8 | C1/P1 | C2/P2 | C3/P7 | C4/P1 | C5/P7 | C6/P5 | C7/P1 | C8/P2 | C9/P1 | C10/P1 |

distribuição em cada campo

| tratamento | ordem por campo (outra forma de ver a tabela acima) | | | | | | | | | |
|------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1 | C1/P7 | C2/P5 | C3/P3 | C4/P4 | C5/P5 | C6/P4 | C7/P7 | C8/P3 | C9/P6 | C10/P2 |
| 2 | C1/P4 | C2/P3 | C3/P6 | C4/P8 | C5/P2 | C6/P8 | C7/P8 | C8/P8 | C9/P2 | C10/P4 |
| 3 | C1/P5 | C2/P8 | C3/P5 | C4/P2 | C5/P3 | C6/P6 | C7/P5 | C8/P6 | C9/P4 | C10/P3 |
| 4 | C1/P6 | C2/P7 | C3/P8 | C4/P5 | C5/P8 | C6/P3 | C7/P6 | C8/P1 | C9/P7 | C10/P7 |
| 5 | C1/P3 | C2/P6 | C3/P4 | C4/P7 | C5/P1 | C6/P7 | C7/P3 | C8/P4 | C9/P5 | C10/P8 |
| 6 | C1/P8 | C2/P4 | C3/P2 | C4/P3 | C5/P6 | C6/P1 | C7/P2 | C8/P7 | C9/P8 | C10/P6 |
| 7 | C1/P2 | C2/P1 | C3/P1 | C4/P6 | C5/P4 | C6/P2 | C7/P4 | C8/P5 | C9/P3 | C10/P5 |
| 8 | C1/P1 | C2/P2 | C3/P7 | C4/P1 | C5/P7 | C6/P5 | C7/P1 | C8/P2 | C9/P1 | C10/P1 |

quadrada

| | | |
|----|----|-------|
| P1 | P2 | P3 |
| P4 | P5 | P6 |
| P7 | P8 | extra |

circular

| | | | |
|----|----|-------|----|
| | P1 | P2 | |
| P8 | | | P3 |
| P7 | | extra | P4 |
| | P6 | P5 | |

Cx indica o campo x, no qual todos os tratamentos serão distribuídos seguindo um dos modelos
 Py indica a posição no campo, conforme ilustração (escolha uma)
 extra é a amostra dos tratamentos individuais (1 de cada)

Todas as lâminas foram inseridas no dia 11 de janeiro de 2025, sendo que os campos 1, 3, 7, 8, 9 e 10 foram esvaziados no dia 18 de janeiro de 2025 (após 7 dias de exposição no solo) e os campos 2, 4, 5 e 6 foram esvaziados somente após 14 dias de exposição no solo, ou seja, no dia 25 de janeiro de 2025. Optou-se por retirar as lâminas nesses dois intervalos de tempo diferentes por conta do baixo percentual de consumo verificado durante a retirada do dia 18 de janeiro.

² Esquema de distribuição das lâminas proposto pelo coorientador, Maj. César.

3.3 Universo e amostra

Segundo Richardson e Peres (2017, p. 137), universo “é o conjunto de elementos que possuem determinadas características” e “quando se toma certo número de elementos para averiguar algo sobre a população a que pertencem, fala-se de amostra”. Assim, na pesquisa experimental o universo é o bioma Cerrado e a amostra foi do tipo não probabilística, pois foi preciso “selecionar um subgrupo da população que, com base nas informações disponíveis, possa ser considerado representativo de toda a população” (Gil, 2017, p. 105)”. A seleção da melhor área para realização dos testes levou em conta a presença das condições ideais, anteriormente já mencionadas, para o bom desempenho do teste.

Na amostra de controle foi usada água destilada e nas outras foram colocadas as diferentes soluções de LGE e a água tratada. Por meio do confronto entre o quantitativo de consumo das iscas das amostras, foram analisados os efeitos da espuma sobre a atividade biológica do solo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises das lâminas foram consolidados em tabelas como a Tabela 2, na qual foi feita a soma do consumo em cada linha (correspondente a cada um dos 16 níveis de profundidade do solo) e o cálculo dos respectivos percentuais de consumo, média de consumo e desvio padrão. O mesmo cálculo foi feito para cada tratamento de forma individual (constando ao final de cada coluna da Tabela 2). Os resultados dos 10 tratamentos foram consolidados na Tabela 3, em que “AD” representa água destilada, “AT” representa água tratada, “B” representa o LGE do CBMDF e “F” representa o LGE comercial. Esses resultados se referem ao experimento ocorrido em outubro de 2024.

Tabela 3 – Consolidação dos percentuais de consumo por tratamento

| | TESTE DE VALIDAÇÃO | MÉDIAS | | | | | | | | | | MÉDIA | DESVIO PADRÃO |
|---------------|--------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------|
| | | AD | AT | B 100% | B 2% | B 1% | B 0,5% | F 100% | F 0,6% | F 0,3% | F 0,1% | | |
| furo01 | 0,15 | 0,37 | 0,46 | 0,15 | 0,41 | 0,38 | 0,3 | 0,19 | 0,44 | 0,41 | 0,58 | 0,3490909091 | 0,1377283228 |
| furo02 | 0,35 | 0,34 | 0,4 | 0,09 | 0,34 | 0,23 | 0,3 | 0,11 | 0,42 | 0,38 | 0,48 | 0,3127272727 | 0,1233767327 |
| furo03 | 0,29 | 0,34 | 0,37 | 0,08 | 0,34 | 0,28 | 0,34 | 0,1 | 0,45 | 0,36 | 0,51 | 0,3145454545 | 0,1290243106 |
| furo04 | 0,35 | 0,29 | 0,38 | 0,04 | 0,35 | 0,32 | 0,31 | 0,09 | 0,48 | 0,34 | 0,48 | 0,3118181818 | 0,1373184752 |
| furo05 | 0,32 | 0,29 | 0,35 | 0,04 | 0,33 | 0,3 | 0,27 | 0,07 | 0,39 | 0,32 | 0,43 | 0,2827272727 | 0,1214158893 |
| furo06 | 0,29 | 0,32 | 0,34 | 0,03 | 0,37 | 0,3 | 0,24 | 0,08 | 0,39 | 0,33 | 0,4 | 0,2809090909 | 0,1211985598 |
| furo07 | 0,24 | 0,3 | 0,34 | 0,04 | 0,27 | 0,31 | 0,29 | 0,04 | 0,34 | 0,29 | 0,36 | 0,2563636364 | 0,1121849123 |
| furo08 | 0,26 | 0,27 | 0,35 | 0,06 | 0,28 | 0,27 | 0,27 | 0,05 | 0,39 | 0,31 | 0,38 | 0,2627272727 | 0,1125247448 |
| furo09 | 0,24 | 0,24 | 0,34 | 0,06 | 0,27 | 0,23 | 0,26 | 0,06 | 0,4 | 0,28 | 0,37 | 0,25 | 0,1091787525 |
| furo10 | 0,21 | 0,25 | 0,29 | 0,06 | 0,28 | 0,25 | 0,3 | 0,11 | 0,41 | 0,28 | 0,38 | 0,2563636364 | 0,1025936379 |
| furo11 | 0,35 | 0,26 | 0,28 | 0,07 | 0,28 | 0,27 | 0,29 | 0,13 | 0,38 | 0,26 | 0,42 | 0,2718181818 | 0,1006795095 |
| furo12 | 0,24 | 0,22 | 0,31 | 0,07 | 0,24 | 0,29 | 0,25 | 0,11 | 0,36 | 0,28 | 0,37 | 0,2490909091 | 0,0925693843 |
| furo13 | 0,24 | 0,27 | 0,34 | 0,09 | 0,27 | 0,31 | 0,28 | 0,11 | 0,4 | 0,31 | 0,36 | 0,2709090909 | 0,0959640084 |
| furo14 | 0,26 | 0,24 | 0,33 | 0,06 | 0,22 | 0,27 | 0,21 | 0,08 | 0,36 | 0,27 | 0,37 | 0,2427272727 | 0,1004082575 |
| furo15 | 0,24 | 0,29 | 0,3 | 0,05 | 0,24 | 0,3 | 0,27 | 0,11 | 0,41 | 0,31 | 0,37 | 0,2627272727 | 0,1042200469 |
| furo16 | 0,35 | 0,23 | 0,36 | 0,1 | 0,3 | 0,29 | 0,26 | 0,12 | 0,43 | 0,3 | 0,41 | 0,2863636364 | 0,105858196 |
| MÉDIA | 0,27375 | 0,2825 | 0,34625 | 0,068125 | 0,299375 | 0,2875 | 0,2775 | 0,0975 | 0,403125 | 0,314375 | 0,416875 | | |
| DESVIO PADRÃO | 0,05852349955 | 0,04343577634 | 0,04410215414 | 0,02971391369 | 0,05234102916 | 0,03660601044 | 0,03087609647 | 0,03587013614 | 0,03591076904 | 0,04146785904 | 0,06415800807 | | |

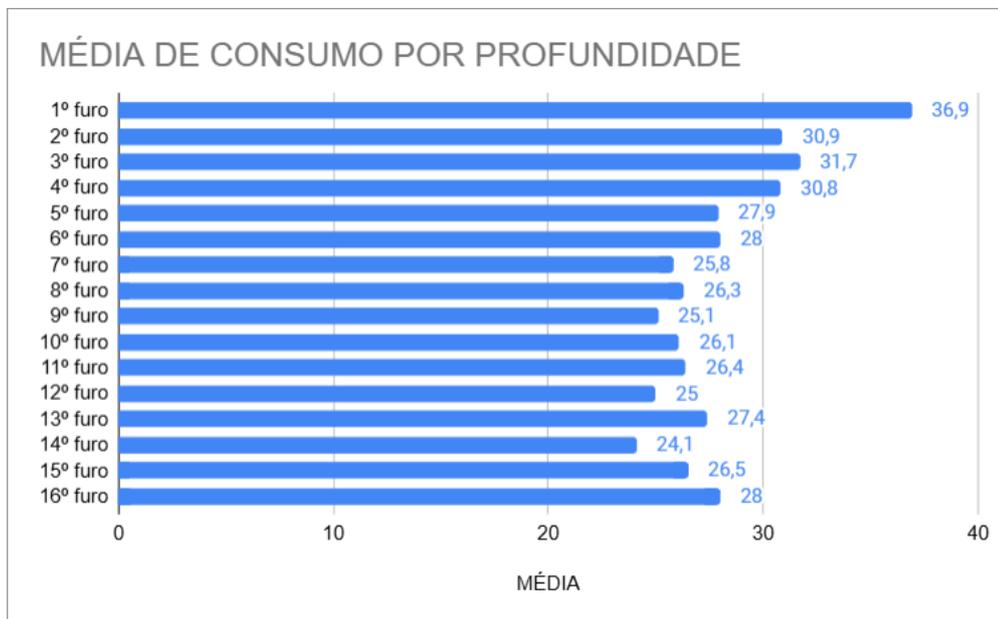
Fonte: A autora.

Por meio do cálculo do desvio padrão, nota-se que há uma grande dispersão nos valores das médias de consumo tanto nos diferentes níveis de profundidade (já que o desvio padrão ficou entre 9 e 14) quanto em cada tratamento de forma individual (já que o desvio padrão ficou entre 2,9 para B 100% e 6,4 para F 0,1%), o que indica que os dados são menos homogêneos e regulares.

Observou-se (conforme a Figura 5) que o consumo foi maior nos quatro níveis mais superficiais do solo (ficando entre 30,8% de consumo no 4º furo e 36,9% no 1º furo) independentemente do tratamento utilizado e sendo relativamente semelhantes nos demais níveis (variando entre 24,1% no 14º furo e 28% de consumo no 6º e 16º furos). Ademais, tendo em consideração que a amostra de controle (AD) apresentou 28,25% de consumo das iscas, pode-se dizer que somente as amostras tratadas com LGE do CBMDF a 100%, a 0,5% e a tratada com o LGE comercial a 100%

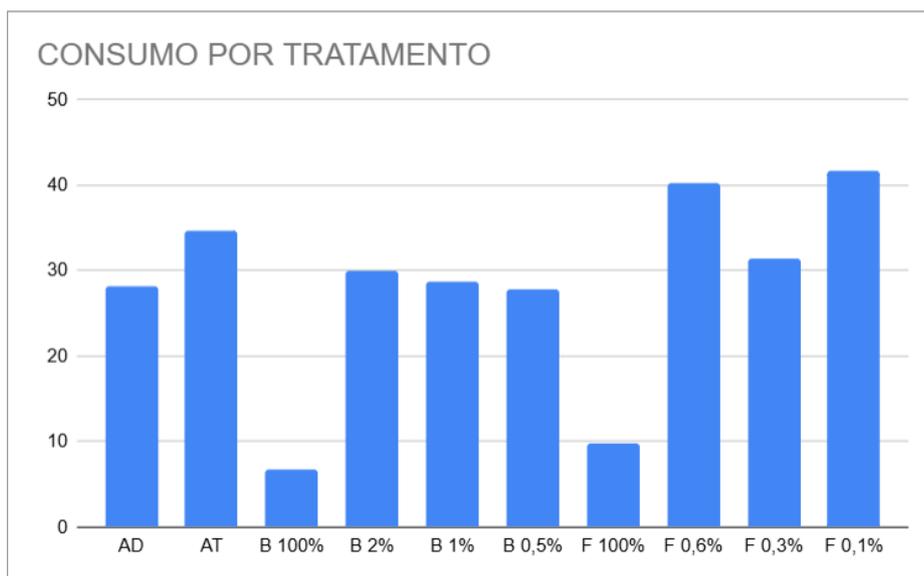
apresentaram taxas de consumo menores que a amostra de controle (conforme a Figura 6).

Figura 5 – Média de consumo por profundidade



Fonte: A autora.

Figura 6 – Consumo por tratamento



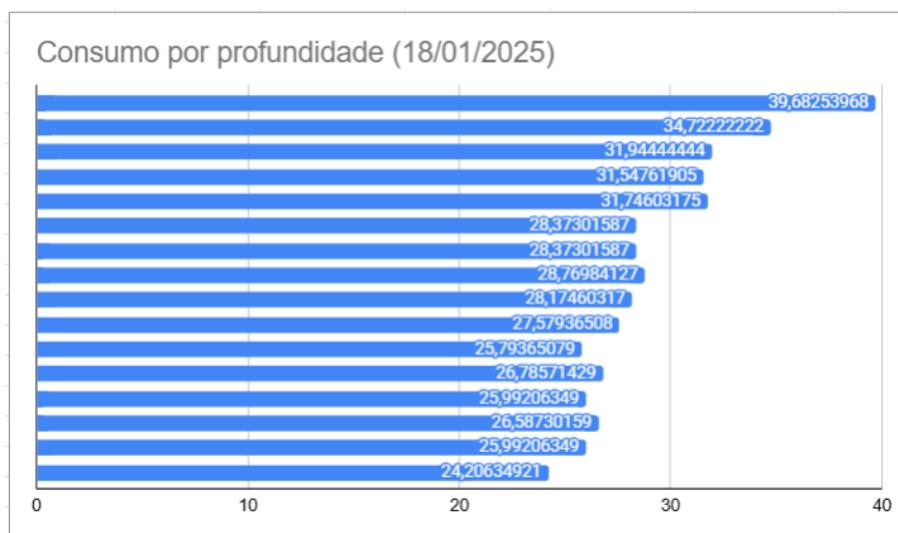
Fonte: A autora.

Comparando os resultados dos tratamentos com os diferentes LGEs, percebe-se que, em geral, o LGE do CBMDF foi mais agressivo aos organismos edáficos que o LGE comercial. Nas amostras onde houve tratamento com 100% de LGE, houve o consumo de 6,8% das iscas para o LGE do CBMDF e 9,75% para o LGE comercial. Nas amostras em que se utilizou o dobro da concentração máxima de uso indicada pelos fabricantes, a discrepância foi maior: no LGE do CBMDF, o consumo foi de aproximadamente 30%, enquanto no LGE comercial esse consumo foi de mais de 40%. Em relação ao tratamento com a concentração máxima de uso, a diferença não foi tão grande, pois o consumo das iscas tratadas com o LGE do CBMDF foi de mais de 28%, enquanto as tratadas com o LGE comercial tiveram 31% de consumo. Por fim, nas amostras em que se usou a concentração mínima de uso, o LGE comercial apresentou uma boa taxa de consumo das iscas (aproximadamente 41%) em relação ao LGE do CBMDF (aproximadamente 27%).

No experimento de janeiro de 2025, os mesmos cálculos de percentual de consumo e desvio padrão foram realizados. As análises foram separadas de acordo com o período de exposição das lâminas no solo, pois, conforme já mencionado, alguns campos foram esvaziados com 7 dias e outros com 14 dias.

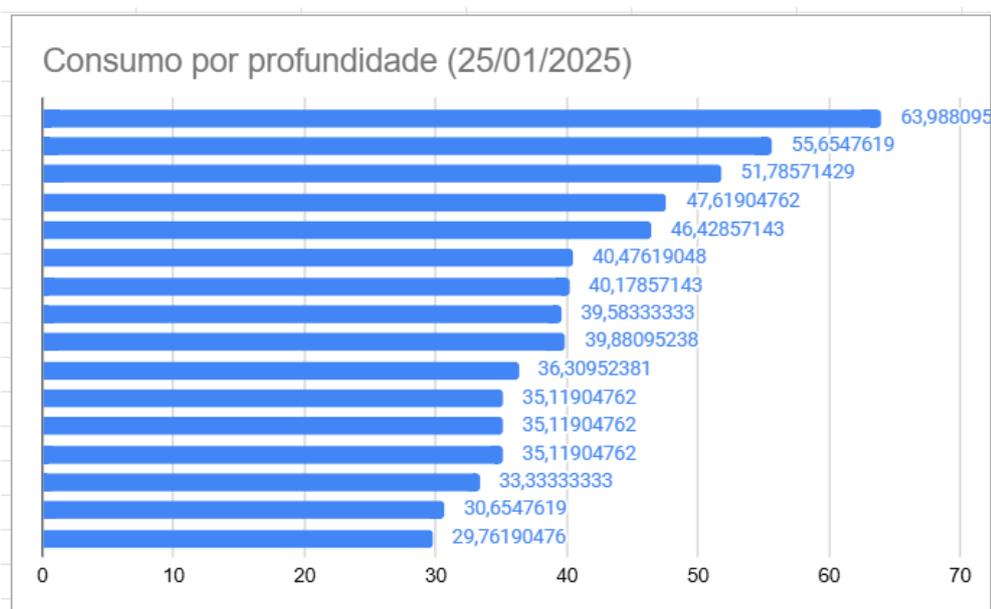
Novamente, observou-se que o padrão de consumo das iscas por profundidade do solo se repetiu. Analisando as Figuras 7 e 8, percebe-se que o consumo foi maior nos cinco níveis mais superficiais do solo.

Figura 7 – Consumo por profundidade das lâminas retiradas no dia 18/01/2025



Fonte: A autora.

Figura 8 – Consumo por profundidade das lâminas retiradas no dia 25/01/2025



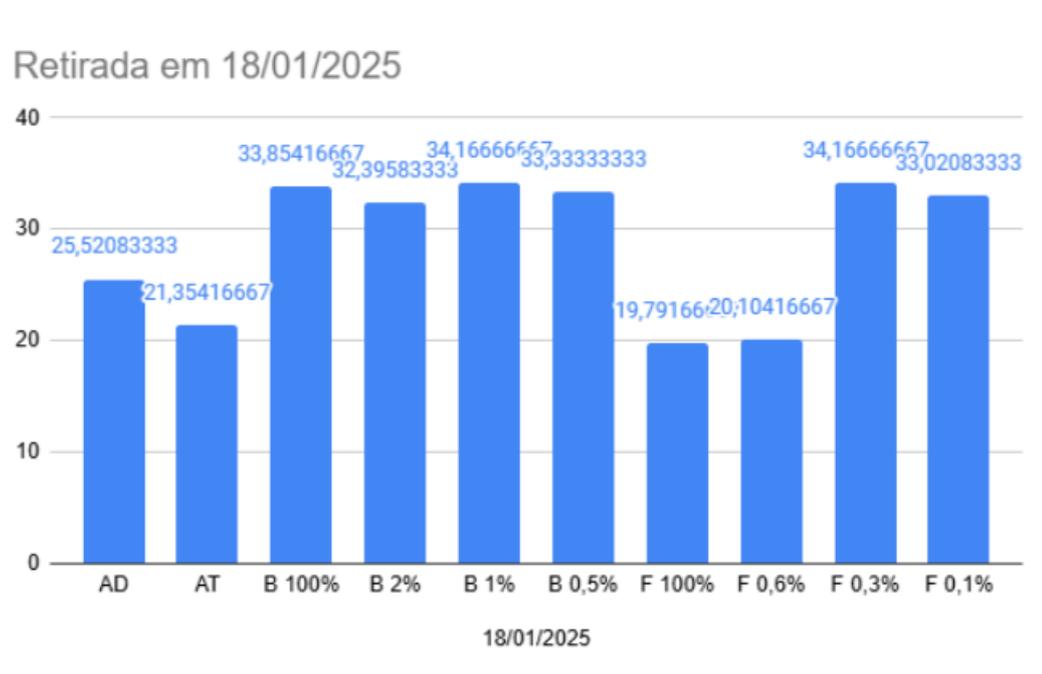
Fonte: A autora.

Nas lâminas retiradas dia 18 de janeiro, o consumo nos cinco primeiros níveis variaram de 31,7%, no quinto furo, a 39,7% no primeiro furo. Da mesma forma, nas lâminas retiradas dia 25, o consumo variou de 46,4%, no quinto furo, a aproximadamente 64% no primeiro furo.

Esses padrões refutam a hipótese inicial de que o LGE ficaria concentrado nos estratos superficiais do solo, dificultando a atividade biológica em relação aos níveis mais profundos. Porém, confirma-se o que já foi apontado pela literatura (Podgaiski; Silveira; Mendonça Jr., 2011): a atividade biológica dos organismos edáficos é maior nos níveis mais superficiais do solo. E essa atividade se manteve apesar do contato com ambos os LGEs.

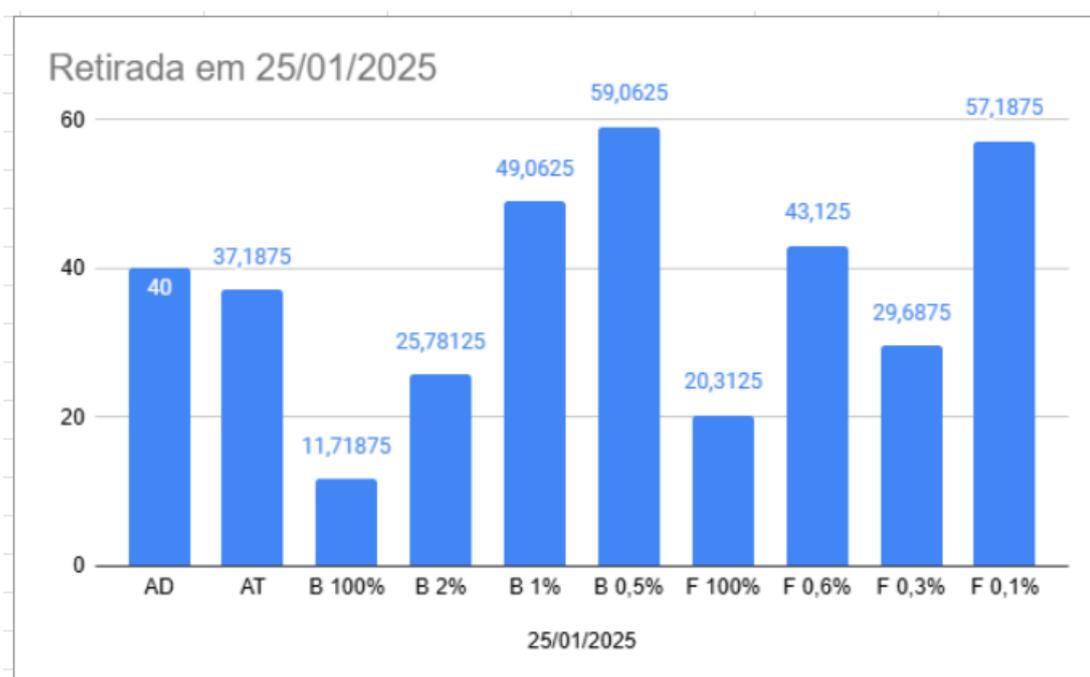
Em relação aos consumos por tratamento, os resultados foram variados e diferentes dos obtidos no experimento de outubro (conforme pode ser visto nas Figuras 9 e 10).

Figura 9 – Consumo das lâminas por tratamento (retiradas em 18 de janeiro de 2025)



Fonte: A autora.

Figura 10 – Consumo das lâminas por tratamento (retiradas em 25 de janeiro de 2025)



Fonte: A autora.

Analisando-se os consumos das lâminas que permaneceram apenas 7 dias no solo, observou-se um maior consumo das lâminas tratadas com o LGE do CBMDF. Os percentuais de consumo situaram-se na faixa dos 30%, variando de aproximadamente 32%, no tratamento a 2%, a 34% no tratamento a 1%. É importante ressaltar o percentual significativo de consumo das lâminas tratadas com o LGE do CBMDF a 100%. Diferentemente do experimento de outubro e da amostra retirada no dia 25 de janeiro, nos quais o consumo ficou abaixo de 12%, nas lâminas retiradas no dia 18 de janeiro, o consumo foi de 33,8% (valor semelhante aos outros tratamentos com o LGE diluído). Não é possível determinar com nível aceitável de certeza que fator pode ter causado esse padrão de consumo, ainda mais tendo em vista que as lâminas que permaneceram pelo dobro do tempo no solo também tratadas com o LGE a 100% (retiradas no dia 25 de janeiro de 2025) apresentaram consumo significativamente menor (11,7%).

Outro fato importante a ser destacado é o de as amostras tratadas com LGE (tanto do CBMDF quanto o LGE comercial) terem apresentado maior percentual de consumo que as amostras tratadas com água. Somente os tratamentos com LGE comercial a 100% e a 0,6% apresentaram um percentual de consumo menor que as amostras tratadas com água. Ademais, esse padrão foi oposto do encontrado no experimento de outubro, quando os tratamentos com LGE do CBMDF apresentaram menor consumo que as amostras tratadas com água.

Por outro lado, analisando-se os resultados do LGE comercial, também se verificaram resultados discrepantes em relação ao experimento de outubro. Os tratamentos a 0,3% e 0,1% apresentaram percentual de consumo próximo dos tratamentos com LGE do CBMDF (isto é, na faixa dos 33%), enquanto os tratamentos a 100% e 0,6% ficaram na faixa dos 20% (inclusive abaixo do consumo das amostras tratadas com água). Esse resultado foi distinto do encontrado em outubro, no qual os percentuais de consumo do LGE comercial se destacaram por serem significativamente maiores que os demais tratamentos.

Por fim, analisando os padrões de consumo das amostras tratadas com água, verifica-se mais uma variação. Enquanto no experimento de outubro, somente os tratamentos com o LGE do CBMDF apresentaram menor consumo que as amostras tratadas com água, nas lâminas retiradas no dia 18 de janeiro, o padrão inverteu-se:

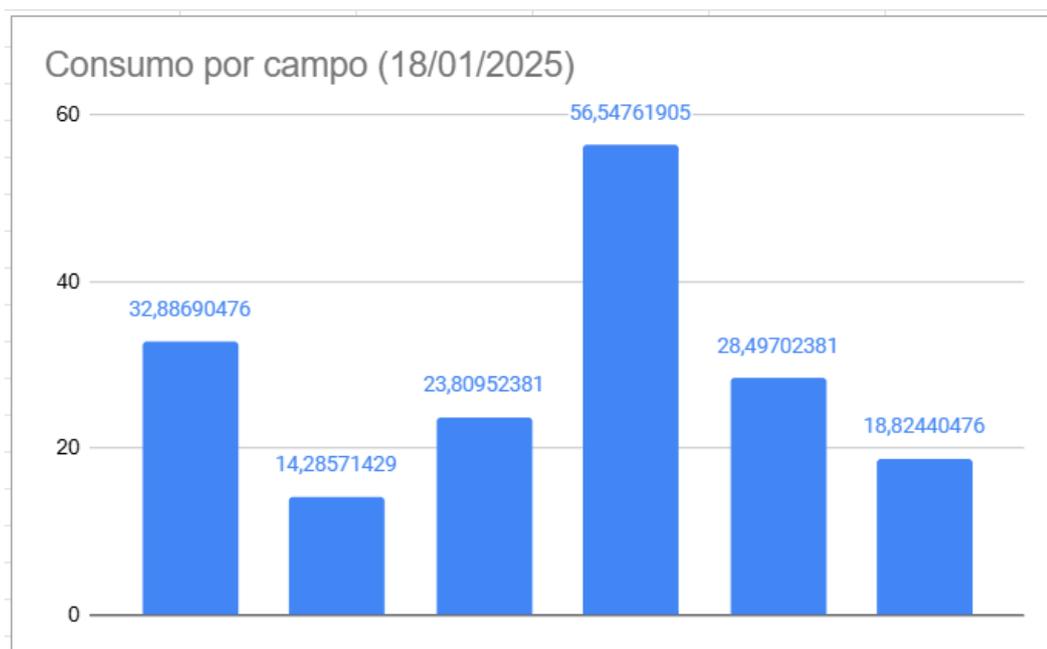
o consumo das lâminas com LGE do CBMDF foi significativamente maior. Ademais, em outubro, o consumo das lâminas com água tratada foi maior que com a água destilada. Já em 18 de janeiro, o consumo com a água destilada foi maior.

Partindo, agora, para a análise das lâminas retiradas no dia 25 de janeiro de 2025, observam-se, novamente, resultados diversos. Os tratamentos com LGE do CBMDF a 100% e 2% tiveram consumo significativamente menor que os tratamentos a 1% e 0,5%. Tanto no experimento de outubro, quanto nas lâminas retiradas no dia 18 de janeiro, o consumo dos tratamentos com o LGE do CBMDF ficou por volta dos 30%. Nas lâminas retiradas no dia 25 de janeiro, porém, os tratamentos a 100% e 2% ficaram bem abaixo dos 30%, enquanto os tratamentos a 1% e 0,5% ficaram bem acima do mencionado patamar (30%). Os tratamentos a 1% e 0,5% possibilitaram maior consumo inclusive que a água (tanto destilada quanto tratada) e que o LGE comercial.

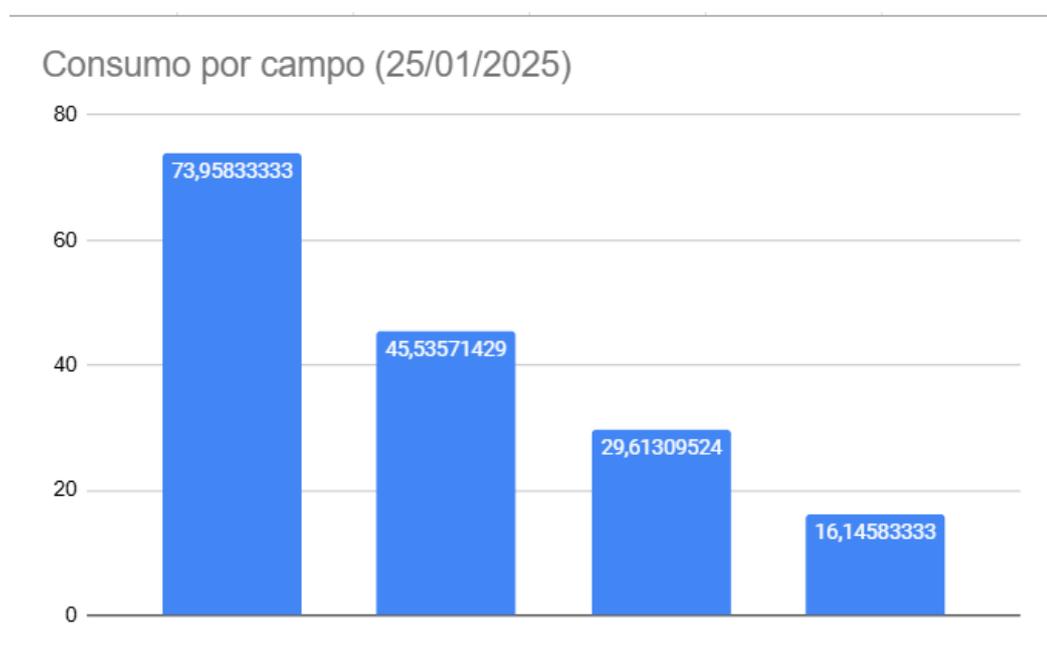
Por outro lado, os tratamentos com o LGE comercial apresentaram resultados variados tanto em relação às lâminas tratadas com o LGE do CBMDF quanto em relação a todos os tratamentos dos experimentos anteriores. Esse resultado difere bastante do encontrado em outubro, quando o consumo dos tratamentos com o LGE comercial se destacou significativamente. Ademais, os valores foram muito discrepantes entre as concentrações (variando de 20% no tratamento a 100% a 57% no tratamento a 0,1%).

Em relação aos tratamentos com água, novamente a água destilada apresentou consumo ligeiramente maior que a água tratada. Em comparação com os tratamentos com LGE, os resultados foram diversos, ainda mais se for levado em consideração os experimentos de outubro e do dia 18 de janeiro. Alguns tratamentos com LGE apresentaram consumo menor que as amostras onde foi usada água, enquanto outros tiveram consumo maior. Porém, em geral, observou-se que o padrão de consumo das amostras tratadas com água segue um nível relativamente estável (por volta dos 30%).

Por fim, as Figuras 11 e 12 mostram os consumos por campo. Na Figura 11 observam-se, respectivamente, o consumo dos campos 1, 3, 7, 8, 9 e 10. Já na figura 12, encontram-se, respectivamente, o consumo dos campos 2, 4, 5 e 6.

Figura 11 – Consumo por campo (com lâminas retiradas dia 18/01/2025)

Fonte: A autora.

Figura 12 - Consumo por campo (com lâminas retiradas dia 25/01/2025)

Fonte: A autora.

Percebe-se que os percentuais de consumo por campo são completamente distintos entre si, sendo difícil estabelecer referenciais para fazer comparações.

Outro fator importante a ser levado em conta é a composição dos LGEs. Eles possuem aditivos orgânicos como nitratos e fosfatos, os quais são micronutrientes essenciais para o crescimento microbiano e podem ser metabolizados. Adicionalmente, se a substância tensoativa for composta por hidrocarbonetos, haverá compostos biodegradáveis que podem vir a se tornar fonte de carbono para as bactérias. Esses fatores podem ser a razão do maior consumo das iscas tratadas com LGE em relação às lâminas expostas somente à água tratada e destilada.

Em relação às limitações da pesquisa, as lâminas foram feitas manualmente, uma a uma, de forma que pequenas imperfeições impossibilitaram a padronização necessária ao rigor científico. A instalação no solo, da mesma forma, ocorreu de forma manual, sem padronização quanto ao nível de profundidade em que as lâminas ficaram inseridas no solo.

Devido à rotina de estudos do Curso de Formação de Oficiais (CFO) do CBMDF, não foi possível realizar a retirada das lâminas do teste de validação de forma gradual, a fim de observar os percentuais de consumo sugeridos por Niva *et al* (2021) e definir adequadamente o prazo de retirada das lâminas do teste realizado em outubro. Tanto em outubro quanto em janeiro, as lâminas tiveram de ser retiradas em período conveniente para o cumprimento dos prazos de entrega deste artigo científico e de forma a não atrapalhar a frequência escolar desta autora. Mais repetições desse experimento, com as retiradas ocorrendo após 30 dias ou em outros períodos de tempo, seriam de grande utilidade tanto para confirmar o caráter biodegradável indicado pelos fabricantes quanto para verificar outros possíveis padrões de consumo.

Ademais, houve falha na identificação dos pontos de instalação das lâminas do teste de validação, o que inviabilizou encontrar 7 lâminas do teste de validação e 4 do teste efetivo de outubro, em que foi aplicado o tratamento de LGE do CBMDF a 2%. Apesar disso, devido ao grande número de repetições por tratamento, as estatísticas não ficaram seriamente comprometidas.

Por fim, cabe discutir o papel desta pesquisa e de seus resultados para a tomada de decisão dos gestores do CBMDF nas ocorrências de incêndios florestais. Os dados encontrados mostram que, mesmo com variações, houve consumo das

iscas nas amostras tratadas com LGE a 100% (seja o do CBMDF, seja o LGE comercial). Mesmo nessa situação extrema, a qual simula acidentes de derramamento, a atividade biológica do solo não foi totalmente destruída. Os padrões de consumo encontrados nas amostras tratadas com o LGE diluído (nos 3 diferentes períodos de retirada das lâminas) também não foram ruins: o consumo das iscas ficou entre 20% na amostra tratada com LGE comercial a 0,6% (retirada no dia 18 de janeiro) e 59% na amostra tratada com o LGE do CBMDF a 0,5% (retirada no dia 25 de janeiro, ou seja, após 14 dias no solo). Esse quantitativo está dentro do esperado se considerada a média de consumo das amostras tratadas com água, as quais ficaram entre 21% (no caso das expostas à água tratada e retiradas no dia 18 de janeiro) e 40% (no caso das expostas à água destilada e retiradas no dia 25 de janeiro). Isso evidencia que ambos os LGEs não apresentaram níveis perigosos de toxicidade ao solo do Cerrado.

Dessa forma, se tomada em conjunto com experimentos semelhantes já realizados (Vilela et al., 2018; Souza, R. A. 2020; Almeida, 2020; Soti; Antonini, 2021; Seribeli, 2021; Soti, 2021; Soti; Seribeli, 2022; Kono, 2023), os bons indicativos encontrados e a quantidade de dados e informações geradas por esta pesquisa poderão auxiliar na mudança dos padrões de combate aos incêndios em vegetação no DF.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Retomando os objetivos deste trabalho, já elencados na introdução, conclui-se que é possível reduzir os impactos dos incêndios em vegetação com o uso de LGE. Percebeu-se que há pouco emprego desse agente extintor pelos bombeiros brasileiros, mesmo que seu uso já seja algo normal em outros países, justamente pela incapacidade da água em impedir reignições em queimadas de grande magnitude. O problema maior tem sido mensurar e resolver os inúmeros impactos ambientais que usos recorrentes do LGE possam causar.

Conforme a pesquisa bibliográfica apontou, o impacto da espuma é maior e mais grave ao atingir cursos d'água. Porém, as vantagens de usá-la em ecossistemas terrestres, se feito de forma controlada e planejada, são maiores que os impactos causados pelo próprio fogo (Musso, 2014). Após a pesquisa experimental, comprovou-se que os percentuais de consumo das iscas expostas aos dois tipos de LGE testados não foram muito diferentes, em geral, dos percentuais de consumo da amostra de controle.

Essas informações foram compiladas no produto final deste trabalho, isto é, no relatório destinado ao GPRAM, o qual poderá embasar decisões institucionais e pesquisas futuras sobre a regulamentação (junto ao CONAMA) da aquisição, produção interna pela corporação e uso de LGE, pelo CBMDF, nos incêndios em vegetação.

A discussão desse tema é de grande valia devido aos altos gastos despendidos todos os anos nos incêndios florestais. Por serem ocorrências rotineiras ao longo dos anos, já amplamente conhecidas pela tropa e pelo Comando do CBMDF, sabe-se da importância de se instituírem medidas de prevenção e rápido controle dessas queimadas.

Dessa forma, utilizar a espuma tanto no início de incêndios com alta probabilidade de espalhamento rápido e de difícil controle, quanto em estágios mais avançados de destruição mostra-se uma solução mais eficiente. Por isso, recomenda-se a repetição deste estudo ou novas pesquisas com essa temática de forma a criar

mais subsídios e informações para a tomada de decisões na gestão dos incêndios florestais.

REFERÊNCIAS

ADAMS, R.; SIMMONS, D. *Ecological effects of fire fighting foams and retardants: a summary*. **Australian Forestry**, v. 62, n. 4, p. 307-314, 1999. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Ecological-effects-of-fire-fighting-foams-and-a-Adams-Simmons/720f1c8cab534767cd47fa4db347cac38849f8bb>. Acesso em: 15 jan. 2024.

ALMEIDA, I. F. de. **Toxicidade de Líquido Gerador de Espuma de combate a incêndios para *Stylosanthes***. 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Zp4r3ReeP4Q>. Acesso em: 01 mar. 2025.

APPOLINÁRIO, F. **Dicionário de metodologia científica: um guia para a produção do conhecimento científico**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2011.

BACKER, D. M.; JENSEN, S. E.; MCPHERSON, G. R. Impacts of fire- suppression activities on natural communities. **Conservation Biology**, v. 18, n. 4, p. 937-946, 2004.

BRAGA, G. C. B.; PINTO FILHO, G.; ROSA, L. M.; OLIVEIRA, H. R.; MALAQUIAS, V. S. L.; LISBOA NETO, J. P.; SALAZAR, H. F.; SOUSA, A. Q.; SOUZA, I. M. Eficiência e economia dos recursos naturais no combate a incêndio: o uso do sistema de espuma por ar comprimido pelo Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal. **Revista Técnica de Biodiversidade e Qualidade Ambiental**. Brasília, p. 90-98, ed. 2018. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ibram.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/03/Revista-Biodiversidade.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2024.

BRASIL. **Lei nº 8.255, de 20 de novembro de 1991**. Dispõe sobre a organização básica do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, 1991. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L8255.htm. Acesso em: 15 jan. 2024.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. **Anuário Estatístico do CBMDF, 2020 - 2021**. Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.cbm.df.gov.br/lai/acoes-e-programas/anuario-estatistico-do-cbmdf/> Acesso em: 17 abr. 2024.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. **Manual básico de combate a incêndio: comportamento do fogo**. 2. ed. Brasília: CBMDF, 2009.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. **Plano da Operação Verde Vivo 2024**. Boletim Geral nº 58, de 25 de março de 2024, Brasília, 2024.

GABBERT, B. **Wildfire Today**: Study shows firefighters' exposure to smoke increases disease risk. 2006. Disponível em: <https://wildfiretoday.com/2018/02/06/study-shows-firefighters-exposure-smoke-increases-disease-risk/>. Acesso em: 20 out. 2023.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GRUPAMENTO DE PROTEÇÃO AMBIENTAL. **Histórico de incêndios florestais**.

Brasília, 2024. Disponível em:

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoizjU3Yjc0ZTctMjk4Mi00NjQ2LTkzNWYtN2ZlY2Y2OWQxMTc2liwidCI6ImViNjZjNDM5LThkNTgtNGRiMi1iZTVlLWZINDEzMGFhMlQ2NyJ9>. Acesso em: 17 abr. 2024.

HEIL, D. P. Estimating energy expenditure in wildland fire fighters using a physical activity monitor. **Applied Ergonomics**, Montana, set. 2002, v. 33, n. 5, p. 405-413.

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S000368700200042X?via%3Dihub>. Acesso em: 20 out. 2023.

IARC. **Monographs on the evaluation of carcinogenic risk of chemicals to humans. Formaldehyde, 2-butoxyethanol and 1-tert-butoxy-2-propanol**. 88.

Lyon, France: International Agency for Research on Cancer, 2004.

SANTOS JUNIOR, Z. dos. **Análise sobre a proteção respiratória do combatente de incêndios florestais**. 2022. Monografia. 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/handle/123456789/352>. Acesso em: 20 out. 2023.

KAWAHARA, T.; HATAE, S.; KANYAMA, T.; ISHIZAKI, Y.; UEZU, K. *Development of eco-friendly soap-based firefighting foam for forest fire*. **Environmental Control in Biology**, v. 54, n. 1, p. 75-78, 2016. Disponível em:

https://www.jstage.jst.go.jp/article/ecb/54/1/54_75/_article/-char/ja/. Acesso em: 8 out. 2023.

KAWANO, T.; OTSUKA, K.; KADONO, T.; INOKUCHI, R.; ISHIZAKI, Y.; DEWANCKER, B.; UEZU, K. *Eco-Toxicological Evaluation of Fire-Fighting Foams in Small-Sized Aquatic and Semi-Aquatic Biotopes*. **Advanced Materials Research**, v. 875-877, n. 1, p. 699-707, 2014. Disponível em:

https://www.academia.edu/28042200/Eco-Toxicological_Evaluation_of_Fire_Fighting_Foams_in_Small_Sized_Aquatic_and_Semi-Aquatic_Biotopes. Acesso em: 25 nov. 2023.

KONO, D. H. T. **Fitotoxicidade da espuma de combate a incêndios e seus componentes para germinação de espécie do cerrado**. 2023. Disponível em:

https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/pesquisa/seminarios-de-pesquisa/anais_seminario_2023.pdf. Acesso em: 01 mar. 2025.

LARSON, D. L.; NEWTON, W. E.; ANDERSON, P. J.; STEIN, S. J. *Effects of Fire Retardant Chemical and Fire Suppressant Foam on Shrub Steppe Vegetation in Northern Nevada*. **International Journal of Wildland Fire**, v. 9, n. 2, p. 115-127, 1999. Disponível em: <https://digitalcommons.unl.edu/usgsnpwrc/80/>. Acesso em: 15 jan. 2024.

MUELLER, S. P. M.; BRITO, M. **Construindo o texto com as citações:** organização do trabalho intelectual. 2011. 36 slides.

MUSSO, C.; MIRANDA, H. S.; SOARES, A. M. V. M.; LOUREIRO, S. *Biological activity in Cerrado soils: evaluation of vegetation, fire and seasonality effects using the "bait-lamina test"*. **Plant Soil**, n. 383, p. 49-58, 2014. Disponível em: Biological activity in Cerrado soils: evaluation of vegetation, fire and seasonality effects using the "bait-lamina test". Acesso em: 19 nov. 2024.

NIVA, C. C.; PULROLNIK, K.; MARCHÃO, L. R.; CARVALHO, A.; MACHADO, C. T. de T.; PEREIRA, C. T.; MALAQUIAS, J. V.; VILELA, L.; RÖMBKE, J. **Método bait-lamina para a avaliação da atividade alimentar de invertebrados edáficos.** Eficiência, limitações e adaptações para seu uso. Planaltina - DF: Embrapa Cerrados, 2021. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1142449/1/Doc-392.pdf. Acesso em: 08 jun. 2024.

PEREIRA, M. U.; RIZZO, L. V.; CHONG-NETO, H. J.; SOLÉ, D. Impacto da exposição à fumaça da queima de biomassa na Floresta Amazônica na saúde humana. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**. Brasília, v. 47, n. 5, p.1-8, ed. set./out. 2021. Disponível em: <https://www.jornaldepneumologia.com.br/details/3590/en-US/impact-of-exposure-to-smoke-from-biomass-burning-in-the-amazon-rain-forest-on-human-health>. Acesso em: 15 jan. 2024.

PODGAISKI, L. R.; SILVEIRA, F. S.; MENDONÇA JR., M. de S. **Avaliação da Atividade Alimentar dos Invertebrados de Solo em Campos do Sul do Brasil – Bait-Lamina Test.** *EntomoBrasilis*, v. 4, n. 3, p. 108-113, 2011. Disponível em: <http://www.periodico.ebras.bio.br/ojs>. Acesso em: 03 fev. 2025.

RICHARDSON, R. J.; PERES, J. A. S. **Pesquisa social:** métodos e técnicas. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

RUBY B. C.; SCHOELLER, D. A.; SHARKEY, B. J.; BURKS, C.; TYSK, S. Water turnover and changes in body composition during arduous wildfire suppression. **Medicine & Science in Sports & Exercise**. v.35, n. 10, p. 1760-1765, out. 2003. Disponível em: https://journals.lww.com/acsm-msse/fulltext/2003/10000/water_turnover_and_changes_in_body_composition.22.aspx. Acesso em: 20 out. 2023.

SCHWELA, D.H; GOLDAMMER, J. G.; MORAWSKA, L. H.; SIMPSON, O. **Health guidelines for vegetation fires events**, Cingapura,1999. Disponível em:https://www.who.int/docstore/peh/Vegetation_fires/Executive_Summary.pdf. Acesso em: 20 out. 2023.

SERIBELI, H. **Fitotoxicidade de Líquido Gerador de Espuma para desenvolvimento de *Stylosanthes* sp.** 2021. Disponível em: <https://conferencias.unb.br/index.php/iniciacaocientifica/26CICUNB17DF/paper/view/32827>. Acesso em: 01 mar. 2025.

SILVA, A. M. da. **Metodologia da pesquisa**. 2. ed., rev. Fortaleza: Ed. UECE, 2015.

SMITH, D.L.; DEBLOIS, J. P.; KALES, S. N.; HORN, G. P. Cardiovascular Strain of Firefighting and the Risk of Sudden Cardiac Events. **Exercise and Sports Sciences Review**, Filadelfia, v. 44, n. 3, p. 90-97. jul. 2016. Disponível em: https://journals.lww.com/acsmessr/Fulltext/2016/07000/Cardiovascular_Strain_of_Firefighting_and_the_Risk.2.aspx. Acesso em 8 nov. 2021.

SOTI, I. **Quantificação de Monóxido de Carbono na fumaça de *Brachiaria sp* com LGE**. 2021. Disponível em: https://youtu.be/DR_W147GCVM. Acesso em: 01 mar. 2025.

SOTI, I.; ANTONINI, H. S. A. **Fitotoxicidade de compostos do Líquido Gerador de Espuma de combate a incêndios**. 2021. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=e1YwtAyS0t0>. Acesso em: 01 mar. 2025.

SOTI, I.; SERIBELI, H. **Fitotoxicidade de compostos do Líquido Gerador de Espuma de combate a incêndios**. 2022. Disponível em: <https://conferencias.unb.br/index.php/iniciacaocientifica/27CICUnB18df/paper/view/40001>. Acesso em: 01 mar. 2025. Disponível também em: <https://www.youtube.com/watch?v=e1YwtAyS0t0>. Acesso em: 01 mar. 2025.

SOUZA, M. A.; EMILIANO, G. D. da S.; FRANÇA, P. H. de M. Espuma no combate aos incêndios e sua fito toxicidade no Cerrado. **Revista Flammae**, Pernambuco, v. 6, n. 15, p. 7-31, ed. jan./jun. 2020. Disponível em: <https://www.revistaflammae.com/vol-6-numero-15>. Acesso em: 8 out. 2023.

SOUZA, M. A. Proteção respiratória do combatente de incêndio florestal. **Revista FLAMMAE**, Pernambuco, v. 6, nº17, p. 7-44, jul. 2020. Disponível em: <https://www.revistaflammae.com/c%C3%B3pia-vol-4-n%C3%BAmero-11>. Acesso em: 20 out. 2023.

SOUZA, R. A. de. **Toxicidade de Líquido Gerador de Espuma de combate a incêndios para *Pontoscolex corethrurus***. 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=rlfb7sTMaoA>. Acesso em: 01 mar. 2025.

STONE, S. L. **Wildfire smoke: a guide for health officials**. Ed. 4, California: EPA, 2019.

STRANG, J. T.; ALFIERO, C. J.; DUMKE, C.; RUBY, B.; BUNDLE, M. **Metabolic Energy Requirements during Load Carriage: Implications for the Wildland Firefighter Arduous Pack Test**. 2018. Graduate Student Theses, Dissertations, & Professional Papers – University of Montana. Montana, 2018. Disponível em: <https://scholarworks.umt.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=12289&context=etd>. Acesso em: 20 out. 2023.

VERDI, L. **Projetos inovadores recebem Prêmio A3P**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 26 out. 2016. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/informma/item/13731-noticia-acom-2016-10-1942.html>. Acesso em: 20 mai. 2025.

VILELA, M. V. S. C. **Fitotoxicidade de espuma de combate a incêndio**. Disponível em:

<https://conferencias.unb.br/index.php/iniciacaocientifica/24CICUNB15DF/paper/view/13047>. Acesso em: 01 mar. 2025.

APÊNDICE A - ESPECIFICAÇÃO DO PRODUTO

1. **Aluno:** Cadete BM/2 Ana Luísa Campos de Oliveira
2. **Nome:** Relatório.
3. **Descrição:** Compilação dos resultados da pesquisa experimental.
4. **Finalidade:** Auxiliar a tomada de decisões sobre a aquisição, produção e uso de LGE em incêndios em vegetação, além de embasar pesquisas futuras sobre o tema. Ademais, o presente relatório poderá ser usado em pedidos de regulamentação junto ao CONAMA acerca do uso de LGE em incêndios em vegetação.
5. **A quem se destina:** GPRAM e CONAMA.
6. **Funcionalidades:** Uso em estudos técnicos preliminares para licitações e outras modalidades de compras de LGE ou de materiais para pesquisas sobre incêndios em vegetação.
7. **Especificações técnicas:**

Material textual: Relatório em pdf, impresso em folha A4 e com 17 páginas.

**APÊNDICE B - RELATÓRIO TÉCNICO SOBRE O USO DE LÍQUIDO
GERADOR DE ESPUMA EM INCÊNDIOS FLORESTAIS**

**CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO
FEDERAL**

**RELATÓRIO
TÉCNICO
SOBRE O USO
DE LÍQUIDO
GERADOR DE
ESPUMA EM
INCÊNDIOS
FLORESTAIS**



2025

CAD./2 ANA LUÍSA

SUMÁRIO

01

INTRODUÇÃO

02

**CONTEXTUALIZAÇÃO DO
PROBLEMA**

03

OBJETIVO DO ESTUDO

04

METODOLOGIA

05

PRINCIPAIS RESULTADOS

06

RECOMENDAÇÕES

07

CONSIDERAÇÕES FINAIS

08

REFERÊNCIAS



INTRODUÇÃO

Todos os anos, diversos recursos humanos e materiais são utilizados na Operação Verde Vivo (OPVV) do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF). Para o ano de 2024, cerca de 522 militares e 148 viaturas foram mobilizados ao longo de toda a mencionada operação (CBMDF, 2024). Ademais, foram previstas 17588 cotas de gratificação de serviço voluntário (GSV), o que gerou um custo de R\$ 7.035.200,00 à corporação, tendo como base o valor de R\$ 400,00 pagos por cota de GSV (CBMDF, 2024).

Por outro lado, segundo dados obtidos no sítio eletrônico do Grupamento de Proteção Ambiental (GPRAM), houve aproximadamente 8700 acionamentos, nos últimos 5 anos, para combate a incêndios florestais. Esse valor representa pouco mais de 4 ocorrências por dia. Além disso, uma média de 38.619,71 hectares foram queimados no período analisado, o que representa aproximadamente 6% da área total do DF (GPRAM, 2024).

Em âmbito mundial, ainda na década de 1990, vários países começaram a estudar os impactos ambientais do uso da espuma como agente extintor em incêndios florestais (Adams; Simmons, 1999). Por melhorar as qualidades da água como agente extintor, ela é mais eficiente e torna o combate mais rápido e fácil (CBMDF, 2009). Porém, os estudos sobre os impactos ambientais da espuma nos biomas brasileiros e especificamente no Cerrado ainda são escassos e incipientes (Souza et al., 2020).

Souza et al. (2020) recomendam usos experimentais de protótipos de líquido gerador de espuma (LGE) em ocorrências de incêndios florestais de forma a gerar informações e dados para alimentar pesquisas futuras. Ademais, é preciso garantir que os impactos ambientais sejam os menores possíveis e dentro dos padrões estabelecidos pela Resolução 420/2009 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), a qual trata dos valores referenciais para substâncias químicas potencialmente contaminantes. Espera-se, assim, que o uso do LGE melhore a qualidade do trabalho dos bombeiros nesse tipo de ocorrência e diminua tanto a emissão de poluentes, gases tóxicos e área queimada quanto os gastos gerais com esse tipo de incêndio.

Tendo em vista essa complexidade das intervenções em combate a incêndio florestal, como é possível reduzir os impactos desses incêndios no Distrito Federal (DF) com uso de LGE, seja na prevenção ou no combate?

CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

Os incêndios florestais impactam significativamente a saúde dos bombeiros militares, exigindo intenso esforço físico e emocional devido à sobrecarga musculoesquelética e cardiovascular. O combate ao fogo envolve transporte de equipamentos pesados, exposição a altas temperaturas e gases tóxicos, além de jornadas superiores a 12 horas, resultando em alto gasto energético e risco cardiovascular elevado. A inalação de substâncias tóxicas, como material particulado, monóxido de carbono e formaldeído, pode causar problemas respiratórios, cardíacos e até morte precoce. No meio ambiente, os incêndios liberam partículas que permanecem na atmosfera por semanas, deslocando-se por grandes distâncias e afetando a qualidade do ar em locais remotos, como ocorreu com fumaça da Amazônia e da Austrália chegando a regiões do sudeste brasileiro em 2019 e 2020.



Enquanto um combate a incêndio de 160 elementos de madeira consome 1560 L de água e demanda aproximadamente 8 minutos (com possibilidade alta de reignição), o uso da espuma utiliza apenas 250 L de água, um tempo de aproximadamente 3 minutos e 30 segundos sem a possibilidade de reignição

CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

O uso da espuma no combate a incêndios florestais se mostra uma alternativa eficaz, rápida e econômica em comparação à água. Com tensoativos que melhoram sua aderência, a espuma extingue o fogo por abafamento e resfriamento, reduzindo a chance de reignição. O Corpo de Bombeiros do DF adotou o sistema de espuma por ar comprimido (CAFS), conquistando prêmios por sustentabilidade e inovação. Suas principais vantagens incluem menor uso de água, resfriamento mais rápido, redução da poluição atmosférica e hídrica e maior segurança para os bombeiros, além de ser biodegradável em menos de 30 dias.



Na década de 1990, retardantes de chamas e espumas rapidamente ganharam aceitação pelos órgãos de combate a incêndio na Austrália, justamente pela sua maior eficiência em relação à água. Ademais, 15% do orçamento destinado a combater incêndios foi gasto com retardantes e espumas

CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

Pesquisas de Adams e Simmons (1999) mostraram que a espuma pode ser altamente tóxica para espécies aquáticas, como peixes e invertebrados, reduzindo sua capacidade de captar oxigênio. Apesar da degradação da espuma ocorrer relativamente rápido, resíduos tóxicos podem persistir ao longo das gerações. Em avaliações norte-americanas, não foram observados efeitos adversos em vertebrados terrestres, mas o alto impacto negativo da espuma sobre organismos aquáticos foi confirmado. Já os testes de Larson et al. (1999) indicaram que, a curto prazo, a espuma não afetou significativamente a biodiversidade terrestre, embora o estudo tenha sido de curta duração, impossibilitando conclusões definitivas sobre impactos a longo prazo.



Segundo Kawano et al. (2014), espumas de combate a incêndio ambientalmente inertes têm sido desenvolvidas como parte de um projeto nacional japonês. Isso aconteceu após inesperados e grandes incêndios terem se espalhado pela costa japonesa, em consequência de terremotos e tsunamis. Dessa forma, o governo japonês passou a considerar o uso de extintores químicos nos incêndios em vegetação.

CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

Souza et al. (2020) avaliaram a fitotoxicidade de um protótipo de líquido gerador de espuma (LGE) no Cerrado, testando seus efeitos na germinação e desenvolvimento da *Dalbergia miscolobium*. Os testes laboratoriais com *Lactuca sativa* indicaram inibição total do crescimento embrionário em soluções com LGE, apontando necessidade de ajustes na composição. Já nos testes de campo, a germinação da *D. miscolobium* foi levemente reduzida, mas manteve-se dentro de limites aceitáveis. O desenvolvimento das plântulas foi afetado, com menor número de folíolos e taxa de mortalidade de 15,8% em 98 dias. No entanto, o LGE apresentou alta biodegradabilidade e dispersão no solo, causando menos danos ambientais que as cinzas dos incêndios. Assim, concluiu-se que o protótipo tem baixa fitotoxicidade, mas requer estudos adicionais.



Esta pesquisa coaduna alguns objetivos estratégicos elencados no Plano Estratégico do CBMDF (PLANES) 2017-2024, quais sejam: aprimorar a responsabilidade socioambiental da corporação, valorizar o profissional bombeiro-militar e desenvolver pesquisas e a gestão do conhecimento (CBMDF, 2017).

OBJETIVO DO ESTUDO

O estudo visou avaliar o impacto ambiental do LGE desenvolvido pelo CBMDF e um LGE comercial (certificado nos Estados Unidos), sua eficiência na supressão de incêndios florestais e levantar informações para subsidiar decisões institucionais sobre a regulamentação, produção interna e uso do LGE pelo CBMDF.

METODOLOGIA

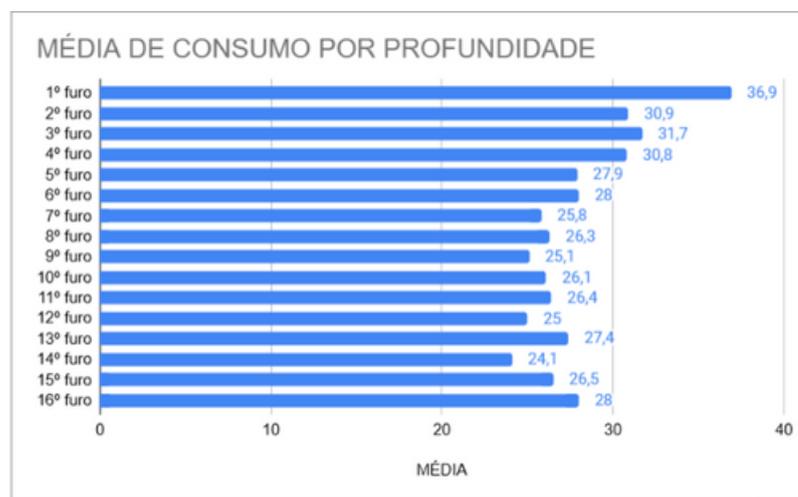
O estudo avaliou a atividade biológica do solo no Cerrado utilizando o método bait-lamina, um procedimento amplamente aceito para medir a qualidade do solo por meio do consumo de iscas por invertebrados edáficos. Foram confeccionadas 524 lâminas em PVC, contendo orifícios preenchidos com iscas à base de celulose, instaladas em diferentes profundidades no solo para mensurar a atividade biológica. Os experimentos testaram o impacto de diferentes concentrações de líquidos geradores de espuma (LGE), incluindo o LGE do CBMDF e LGE comercial, além de água tratada e destilada como controle. A análise baseou-se na taxa de consumo das iscas, representando a interação dos organismos do solo com os diferentes tratamentos.



PRINCIPAIS RESULTADOS

1

No primeiro experimento (realizado em outubro de 2024), observou-se que o consumo foi maior nos quatro níveis mais superficiais do solo (ficando entre 30,8% de consumo no 4º furo e 36,9% no 1º furo) independentemente do tratamento utilizado e sendo relativamente semelhantes nos demais níveis (variando entre 24,1% no 14º furo e 28% de consumo no 6º e 16º furos):



Nas lâminas retiradas dia 18 de janeiro, o consumo nos cinco primeiros níveis variaram de 31,7%, no quinto furo, a 39,7% no primeiro furo. Da mesma forma, nas lâminas retiradas dia 25, o consumo variou de 46,4%, no quinto furo, a aproximadamente 64% no primeiro furo.

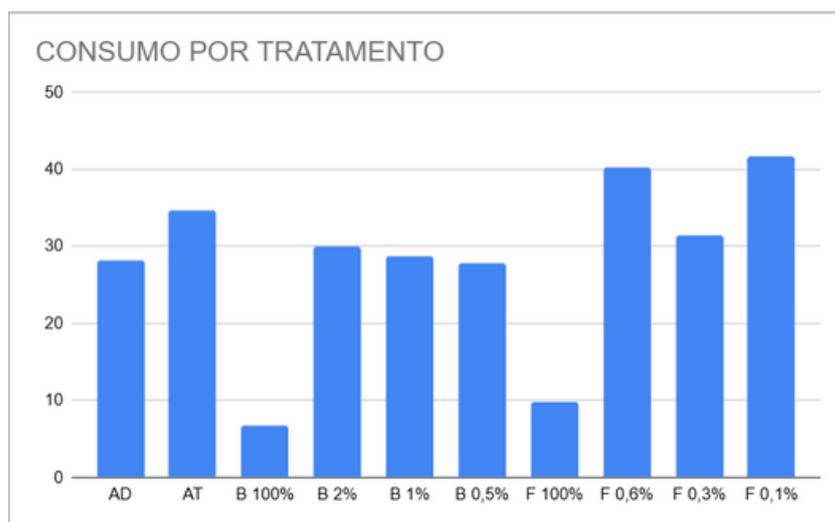
Esses padrões refutam a hipótese inicial de que o LGE ficaria concentrado nos estratos superficiais do solo, dificultando a atividade biológica em relação aos níveis mais profundos. Porém, confirma-se o que já foi apontado pela literatura (Podgaiski; Silveira; Mendonça Jr., 2011): a atividade biológica dos organismos edáficos é maior nos níveis mais superficiais do solo. E essa atividade se manteve apesar do contato com ambos os LGEs.



PRINCIPAIS RESULTADOS

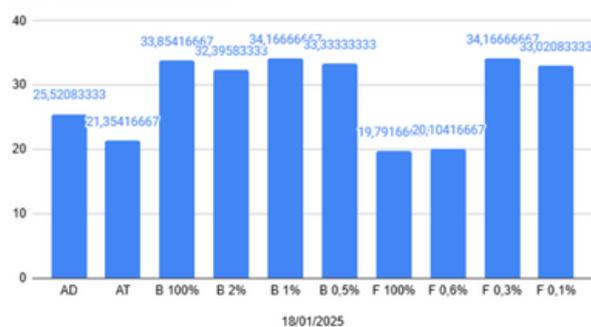
2

No experimento de outubro, a amostra de controle (AD) apresentou 28,25% de consumo das iscas e somente as amostras tratadas com LGE do CBMDF a 100%, a 0,5% e a tratada com o LGE comercial a 100% apresentaram taxas de consumo menores que a amostra de controle:

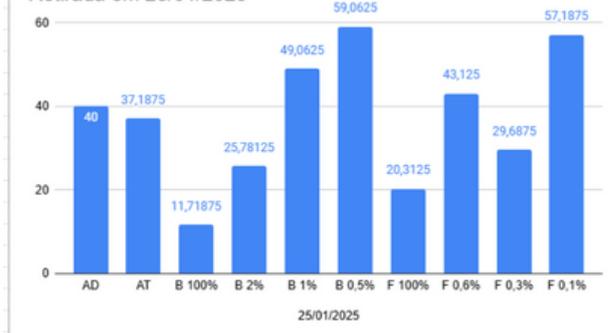


Analisando-se os resultados das lâminas retiradas no dia 18 de janeiro, observou-se um maior consumo daquelas tratadas com o LGE do CBMDF. Os percentuais de consumo situaram-se na faixa dos 30%, variando de aproximadamente 32%, no tratamento a 2%, a 34% no tratamento a 1%. É importante ressaltar o percentual significativo de consumo das lâminas tratadas com o LGE do CBMDF a 100%. Diferentemente do experimento de outubro e da amostra retirada no dia 25 de janeiro, nos quais o consumo ficou abaixo de 12%, nas lâminas retiradas no dia 18 de janeiro, o consumo foi de 33,8% (valor semelhante aos outros tratamentos com o LGE diluído).

Retirada em 18/01/2025



Retirada em 25/01/2025



PRINCIPAIS RESULTADOS

2

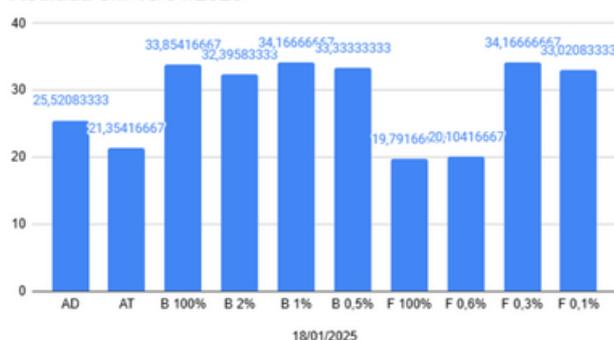
Outro fato importante a ser destacado é o de as amostras tratadas com LGE (tanto do CBMDF quanto o LGE comercial) terem apresentado maior percentual de consumo que as amostras tratadas com água. Somente os tratamentos com LGE comercial a 100% e a 0,6% apresentaram um percentual de consumo menor que as amostras tratadas com água.

Em relação ao LGE comercial, os tratamentos a 0,3% e 0,1% apresentaram percentual de consumo próximo dos tratamentos com LGE do CBMDF (isto é, na faixa dos 33%), enquanto os tratamentos a 100% e 0,6% ficaram na faixa dos 20% (inclusive abaixo do consumo das amostras tratadas com água). Esse resultado foi distinto do encontrado em outubro, no qual os percentuais de consumo do LGE comercial se destacaram por serem significativamente maiores que os demais tratamentos.

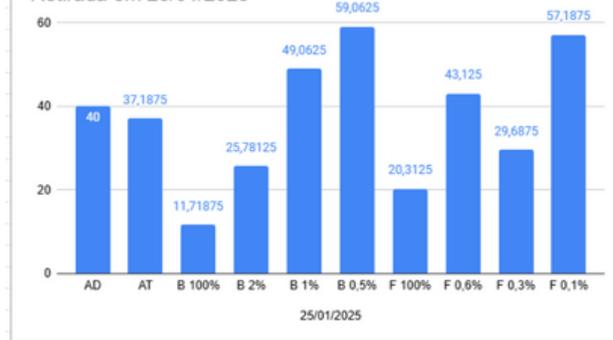
Quanto às lâminas retiradas no dia 25 de janeiro, os tratamentos com LGE do CBMDF a 100% e 2% tiveram consumo significativamente menor que os tratamentos a 1% e 0,5%. Tanto no experimento de outubro, quanto nas lâminas retiradas no dia 18 de janeiro, o consumo dos tratamentos com o LGE do CBMDF ficou por volta dos 30%. Nas lâminas retiradas no dia 25 de janeiro, porém, os tratamentos a 100% e 2% ficaram bem abaixo dos 30%, enquanto os tratamentos a 1% e 0,5% ficaram bem acima do mencionado patamar (30%). Os tratamentos a 1% e 0,5% possibilitaram maior consumo inclusive que a água (tanto destilada quanto tratada) e que o LGE comercial.

EM TODOS OS CASOS, O CONSUMO FICOU PRÓXIMO À MÉDIA DAS AMOSTRAS DE CONTROLE (ENTRE 21% E 40%)

Retirada em 18/01/2025



Retirada em 25/01/2025



RECOMENDAÇÕES

Os dados encontrados mostram que, mesmo com variações, houve consumo das iscas nas amostras tratadas com LGE a 100% (seja o do CBMDF, seja o LGE comercial). Mesmo nessa situação extrema, a qual simula acidentes de derramamento, a atividade biológica do solo não foi totalmente destruída. Os padrões de consumo encontrados nas amostras tratadas com o LGE diluído (nos 3 diferentes períodos de retirada das lâminas) também não foram ruins: o consumo das iscas ficou entre 20% na amostra tratada com LGE comercial a 0,6% (retirada no dia 18 de janeiro) e 59% na amostra tratada com o LGE do CBMDF a 0,5% (retirada no dia 25 de janeiro, ou seja, após 14 dias no solo). Esse quantitativo está dentro do esperado se considerada a média de consumo das amostras tratadas com água, as quais ficaram entre 21% (no caso das expostas à água tratada e retiradas no dia 18 de janeiro) e 40% (no caso das expostas à água destilada e retiradas no dia 25 de janeiro). Isso evidencia que ambos os LGEs não apresentam níveis perigosos de toxicidade ao solo do Cerrado.

Dessa forma, se tomada em conjunto com experimentos semelhantes já realizados (Vilela et al., 2018; Souza, 2020; Almeida, 2020; Soti; Antonini, 2021; Seribeli, 2021; Soti, 2021; Soti; Seribeli, 2022; Kono, 2023), os bons indicativos encontrados e a quantidade de dados e informações geradas por esta pesquisa poderão auxiliar na mudança dos padrões de combate aos incêndios em vegetação no DF.

A partir dessas informações recomenda-se:

01 — Criação de um grupo de trabalho

Para estudar a viabilidade do uso do LGE do CBMDF em combates reais e buscar regulamentação junto ao CONAMA.

02 — Continuação das pesquisas

Para trazer mais informações e suprir lacunas nos estudos já realizados.

03 — Verificar a necessidade de adaptações nas bombas costais

De forma que a espuma possa sair pronta do esguicho.

04 — Testes em combates reais a incêndios florestais

Após aprovação dos órgão ambientais pertinentes e a devida regulamentação interna.

05 — Testes nas aeronaves de asa fixa

Após aprovação dos órgão ambientais pertinentes, comprovação da viabilidade técnica e a devida regulamentação interna.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do exposto, conclui-se que é possível reduzir os impactos dos incêndios em vegetação com o uso de LGE. Percebeu-se que há pouco emprego desse agente extintor pelos bombeiros brasileiros, mesmo que seu uso já seja algo normal em outros países, justamente pela incapacidade da água em impedir reignições em queimadas de grande magnitude. O problema maior tem sido mensurar e resolver os inúmeros impactos ambientais que usos recorrentes do LGE possam causar.

Conforme a pesquisa bibliográfica apontou, o impacto da espuma é maior e mais grave ao atingir cursos d'água. Porém, as vantagens de usá-la em ecossistemas terrestres, se feito de forma controlada e planejada, são maiores que os impactos causados pelo próprio fogo. Após a pesquisa experimental, comprovou-se que os percentuais de consumo das iscas expostas aos dois tipos de LGE testados não foram muito diferentes, em geral, dos percentuais de consumo da amostra de controle.

Essas informações foram compiladas neste relatório, o qual poderá embasar decisões institucionais e pesquisas futuras sobre a regulamentação da aquisição, produção interna pela corporação e uso de LGE, pelo CBMDF, nos incêndios em vegetação.

A discussão desse tema é de grande valia devido aos altos gastos despendidos todos os anos nos incêndios florestais. Por serem ocorrências rotineiras ao longo dos anos, já amplamente conhecidas pela tropa e pelo Comando do CBMDF, sabe-se da importância de se instituírem medidas de prevenção e rápido controle dessas queimadas.

Dessa forma, utilizar a espuma tanto no início de incêndios com alta probabilidade de espalhamento rápido e de difícil controle, quanto em estágios mais avançados de destruição, mostra-se uma solução mais eficiente.

REFERÊNCIAS

ADAMS, R.; SIMMONS, D. Ecological effects of fire fighting foams and retardants: a summary. *Australian Forestry*, v. 62, n. 4, p. 307-314, 1999. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Ecological-effects-of-fire-fighting-foams-and-a-Adams-Simmons/720f1c8cab534767cd47fa4db347cac38849f8bb>. Acesso em: 15 jan. 2024.

ALMEIDA, I. F. de. Toxicidade de Líquido Gerador de Espuma de combate a incêndios para *Stylosanthes*. 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Zp4r3ReeP4Q>. Acesso em: 01 mar. 2025.

BRAGA, G. C. B.; PINTO FILHO, G.; ROSA, L. M.; OLIVEIRA, H. R.; MALAQUIAS, V. S. L.; LISBOA NETO, J. P.; SALAZAR, H. F.; SOUSA, A. Q.; SOUZA, I. M. Eficiência e economia dos recursos naturais no combate a incêndio: o uso do sistema de espuma por ar comprimido pelo Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal. *Revista Técnica de Biodiversidade e Qualidade Ambiental*. Brasília, p. 90-98, ed. 2018. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://ibram.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/03/Revista-Biodiversidade.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2024.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. Anuário Estatístico do CBMDF, 2020 - 2021. Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.cbm.df.gov.br/lai/acoes-e-programas/anuario-estatistico-do-cbmdf/>. Acesso em: 17 abr. 2024.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. Manual básico de combate a incêndio: comportamento do fogo. 2. ed. Brasília: CBMDF, 2009.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. Plano da Operação Verde Vivo 2024. Boletim Geral nº 58, de 25 de março de 2024, Brasília, 2024.

REFERÊNCIAS

GRUPAMENTO DE PROTEÇÃO AMBIENTAL. Histórico de incêndios florestais. Brasília, 2024. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiZjU3Yjc0ZTctMjk4Mi00NjQ2LTkzNWYtN2ZlY2Y2OWQxMTc2liwidCI6ImViNjZjNDM5LThkNTgtNGRiMiIiZTVlLWZlINDEzMGFhMWQ2NyJ9>. Acesso em: 17 abr. 2024.

KAWAHARA, T.; HATAE, S.; KANYAMA, T.; ISHIZAKI, Y.; UEZU, K. Development of eco-friendly soap-based firefighting foam for forest fire. *Environmental Control in Biology*, v. 54, n. 1, p. 75-78, 2016. Disponível em: https://www.jstage.jst.go.jp/article/ecb/54/1/54_75/_article/-char/ja/. Acesso em: 8 out. 2023.

KAWANO, T.; OTSUKA, K.; KADONO, T.; INOKUCHI, R.; ISHIZAKI, Y.; DEWANCKER, B.; UEZU, K. Eco-Toxicological Evaluation of Fire-Fighting Foams in Small-Sized Aquatic and Semi-Aquatic Biotopes. *Advanced Materials Research*, v. 875-877, n. 1, p. 699-707, 2014. Disponível em: https://www.academia.edu/28042200/Eco_Toxicological_Evaluation_of_Fire_Fighting_Foams_in_Small_Sized_Aquatic_and_Semi_Aquatic_Biotopes. Acesso em: 25 nov. 2023.

KONO, D. H. T. Fitotoxicidade da espuma de combate a incêndios e seus componentes para germinação de espécie do cerrado. 2023. Disponível em: https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/pesquisa/seminarios-de-pesquisa/anais_seminario_2023.pdf. Acesso em: 01 mar. 2025.

LARSON, D. L.; NEWTON, W. E.; ANDERSON, P. J.; STEIN, S. J. Effects of Fire Retardant Chemical and Fire Suppressant Foam on Shrub Steppe Vegetation in Northern Nevada. *International Journal of Wildland Fire*, v. 9, n. 2, p. 115-127, 1999. Disponível em: <https://digitalcommons.unl.edu/usgsnpwrc/80/>. Acesso em: 15 jan. 2024.

MUSSO, C.; MIRANDA, H. S.; SOARES, A. M. V. M.; LOUREIRO, S. Biological activity in Cerrado soils: evaluation of vegetation, fire and seasonality effects using the "bait-lamina test". *Plant Soil*, n. 383, p. 49-58, 2014. Disponível em: Biological activity in Cerrado soils: evaluation of vegetation, fire and seasonality effects using the "bait-lamina test". Acesso em: 19 nov. 2024.

REFERÊNCIAS

NIVA, C. C.; PULROLNIK, K.; MARCHÃO, L. R.; CARVALHO, A.; MACHADO, C. T. de T.; PEREIRA, C. T.; MALAQUIAS, J. V.; VILELA, L.; RÖMBKE, J. Método bait-lamina para a avaliação da atividade alimentar de invertebrados edáficos. Eficiência, limitações e adaptações para seu uso. Planaltina - DF: Embrapa Cerrados, 2021. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcglclefindmkaj/https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1142449/1/Doc-392.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2024.

PEREIRA, M. U.; RIZZO, L. V.; CHONG-NETO, H. J.; SOLÉ, D. Impacto da exposição à fumaça da queima de biomassa na Floresta Amazônica na saúde humana. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*. Brasília, v. 47, n. 5, p.1-8, ed. set./out. 2021. Disponível em: <https://www.jornaldepneumologia.com.br/details/3590/en-US/impact-of-exposure-to-smoke-from-biomass-burning-in-the-amazon-rain-forest-on-human-health>. Acesso em: 15 jan. 2024.

PODGAISKI, L. R.; SILVEIRA, F. S.; MENDONÇA JR., M. de S. Avaliação da Atividade Alimentar dos Invertebrados de Solo em Campos do Sul do Brasil – Bait-Lamina Test. *EntomoBrasilis*, v. 4, n. 3, p. 108-113, 2011. Disponível em: <http://www.periodico.ebras.bio.br/ojs>. Acesso em: 03 fev. 2025.

SANTOS JUNIOR, Z. dos. Análise sobre a proteção respiratória do combatente de incêndios florestais. 2022. Monografia. 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/handle/123456789/352>. Acesso em: 20 out. 2023.

SERIBELI, H. Fitotoxicidade de Líquido Gerador de Espuma para desenvolvimento de *Stylosanthes* sp. 2021. Disponível em: <https://conferencias.unb.br/index.php/iniciacaocientifica/26CICUNB17DF/paper/view/32827>. Acesso em: 01 mar. 2025.

SOTI, I. Quantificação de Monóxido de Carbono na fumaça de *Brachiaria* sp com LGE. 2021. Disponível em: https://youtu.be/DR_WI47GCVM. Acesso em: 01 mar. 2025.

REFERÊNCIAS

SOTI, I.; ANTONINI, H. S. A. Fitotoxicidade de compostos do Líquido Gerador de Espuma de combate a incêndios. 2021. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=e1YwtAyS0t0>. Acesso em: 01 mar. 2025.

SOTI, I.; SERIBELI, H. Fitotoxicidade de compostos do Líquido Gerador de Espuma de combate a incêndios. 2022. Disponível em: <https://conferencias.unb.br/index.php/iniciacaocientifica/27CICUnB18df/paper/view/40001>. Acesso em: 01 mar. 2025. Disponível também em: <https://www.youtube.com/watch?v=e1YwtAyS0t0>. Acesso em: 01 mar. 2025.

SOUZA, M. A.; EMILIANO, G. D. da S.; FRANÇA, P. H. de M. Espuma no combate aos incêndios e sua fito toxicidade no Cerrado. *Revista Flammae*, Pernambuco, v. 6, n. 15, p. 7-31, ed. jan./jun. 2020. Disponível em: <https://www.revistaflammae.com/vol-6-numero-15>. Acesso em: 8 out. 2023.

SOUZA, R. A. de. Toxicidade de Líquido Gerador de Espuma de combate a incêndios para *Pontoscolex corethrurus*. 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=rlfb7sTMaoA>. Acesso em: 01 mar. 2025.

VERDI, L. Projetos inovadores recebem Prêmio A3P. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 26 out. 2016. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/informma/item/13731-noticia-acom-2016-10-1942.html>. Acesso em: 20 mai. 2025.

VILELA, M. V. S. C. Fitotoxicidade de espuma de combate a incêndio. Disponível em: <https://conferencias.unb.br/index.php/iniciacaocientifica/24CICUNB15DF/paper/view/13047>. Acesso em: 01 mar. 2025.