



**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS – UEA
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE GRADUAÇÃO – PROGRAD
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA – EST
CURSO DE TECNOLOGIA EM GESTÃO E GOVERNANÇA DE
RISCOS E DESASTRES**



**USO DE ADITIVOS NATURAIS EXTRAÍDOS DE PLANTAS
AMAZÔNICAS COMO ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL AO LGE NO
COMBATE A INCÊNDIOS FLORESTAIS**

OTACIOLENO CÂNDIDO HILÁRIO

MANAUS-AM

2025



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site
<https://edoc.amazonas.am.gov.br/EDE5.4FF6.A1E2.4310/99B94223>
Código verificador: **EDE5.4FF6.A1E2.4310** CRC: **99B94223**



OTACIOLENO CÂNDIDO HILÁRIO

USO DE ADITIVOS NATURAIS EXTRAÍDOS DE PLANTAS AMAZÔNICAS COMO ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL AO LGE NO COMBATE A INCÊNDIOS FLORESTAIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca de Avaliação do Curso de Tecnologia em Gestão e Governança de Riscos e Desastres (TGGRD-EST-UEA), como requisito para obtenção da nota da disciplina TCC II, sob a orientação do Prof. Me. Cel QOBM Josélio da Silva Monteiro, do Corpo de Bombeiros Militar do Amazonas.

MANAUS-AM

2025



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site
<https://edoc.amazonas.am.gov.br/EDE5.4FF6.A1E2.4310/99B94223>
Código verificador: **EDE5.4FF6.A1E2.4310** CRC: **99B94223**

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade do Estado do Amazonas.


C217u	<p>CÂNDIDO HILÁRIO, OTACIOLENO Uso de aditivos naturais extraídos de plantas amazônicas como alternativa sustentável ao LGE no combate a incêndios florestais / OTACIOLENO CÂNDIDO HILÁRIO. Manaus : [s.n], 2025. 21 f.: il.; 21.0 cm.</p> <p>TCC - Tecnologia em Gestão e Governança de Riscos e Desastres - Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2025. Orientador: JOSÉLIO DA SILVA MONTEIRO.</p> <p>1. incêndios florestais. 2. Amazônia. 3. aditivos naturais. 4. combate a incêndio. 5. sustentabilidade. I. JOSÉLIO DA SILVA MONTEIRO (Orient.) II. Universidade do Estado do Amazonas. III. Título</p> <p style="text-align: right;">CDU(1997)502.58</p>
-------	---



OTACIOLENO CÂNDIDO HILÁRIO

USO DE ADITIVOS NATURAIS EXTRAÍDOS DE PLANTAS AMAZÔNICAS COMO ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL AO LGE NO COMBATE A INCÊNDIOS FLORESTAIS


Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
 JOSELIO DA SILVA MONTEIRO
Data: 14/11/2025 12:15:14-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Josélio da Silva Monteiro

Prof. Me. Cel QOBM


Orientador

Documento assinado digitalmente
 JOSE WILSON PEREIRA GONCALVES
Data: 20/11/2025 13:06:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

José Wilson Pereira Goncalves

Prof. Me. Cel QOBM

Membro da Banca

Documento assinado digitalmente
 ADRIANA FERREIRA DA SILVA
Data: 20/11/2025 11:47:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Adriana Ferreira da Silva

Prof.^a Doutora

Membro da Banca

PARECER DA BANCA

- Aprovado (a)
 Aprovado (a) com ressalvas
 Reprovado (a)



Resumo

Os incêndios florestais na Amazônia representam um dos maiores desafios ambientais e operacionais para o Corpo de Bombeiros Militar do Amazonas (CBMAM), devido à dificuldade de acesso, à rápida propagação das chamas e à reignição da vegetação. Tradicionalmente, a água é o principal agente extintor utilizado, mas apresenta limitações como evaporação em altas temperaturas e baixa eficiência em áreas extensas. O uso de Líquidos Geradores de Espuma (LGE) é comum em incêndios urbanos, porém inviável em incêndios florestais devido ao custo elevado, necessidade de grandes volumes e impactos ambientais. Diante disso, este estudo propõe avaliar a utilização de aditivos naturais extraídos de plantas amazônicas como alternativa sustentável para potencializar a capacidade extintora da água. Esses compostos, como saponinas, gomas e óleos vegetais, apresentam propriedades surfactantes, espessantes e espumantes que podem melhorar a retenção da água, aumentar o tempo de contato com os combustíveis, reduzir o consumo de água e minimizar a reignição. Além disso, possuem vantagens ambientais por serem biodegradáveis e de baixo impacto ecológico, contribuindo para a regeneração dos ecossistemas. A pesquisa tem como objetivos identificar plantas amazônicas com potencial de uso, analisar a eficácia desses aditivos, comparar a eficiência em relação ao uso exclusivo da água, avaliar os impactos ambientais e investigar a viabilidade operacional e econômica de sua adoção em larga escala. Dessa forma, busca-se propor uma solução inovadora e sustentável que alie ciência, logística e preservação ambiental no enfrentamento aos incêndios florestais na região amazônica.

Palavras-chave: incêndios florestais; Amazônia; aditivos naturais; combate a incêndio; sustentabilidade



Abstract

Wildfires in the Amazon represent one of the greatest environmental and operational challenges for the Amazonas Military Fire Department (CBMAM), due to the difficulties of access, the rapid spread of flames, and the high risk of reignition. Traditionally, water is the main extinguishing agent used, but it has limitations such as evaporation under high temperatures and low efficiency in extensive areas. Foam-forming agents (Líquido Gerador de Espuma – LGE) are commonly applied in urban fires; however, their use in forest fires is unfeasible due to high costs, the large volumes required, and their environmental impacts. In this context, this study proposes the evaluation of natural additives extracted from Amazonian plants as a sustainable alternative to enhance the extinguishing capacity of water. These compounds, such as saponins, gums, and vegetable oils, present surfactant, thickening, and foaming properties that can improve water retention, increase the contact time with fuels, reduce water consumption, and minimize reignition. Furthermore, they offer environmental advantages since they are biodegradable and have low ecological impact, contributing to ecosystem regeneration. The research aims to identify Amazonian plants with potential application, analyze the effectiveness of these additives, compare efficiency against water alone, assess environmental impacts, and investigate the operational and economic feasibility of large-scale adoption. Therefore, this study seeks to propose an innovative and sustainable solution that combines science, logistics, and environmental preservation in the fight against wildfires in the Amazon region.

Keywords: wildfires; Amazon; natural additives; firefighting; sustainability



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site
<https://edoc.amazonas.am.gov.br/EDE5.4FF6.A1E2.4310/99B94223>
Código verificador: **EDE5.4FF6.A1E2.4310** CRC: **99B94223**

SUMÁRIO

1 Introdução.....	8
2 Referencial Teórico.....	9
3 Metodologia.....	15
4 Resultados e Discussões.....	16
5 Conclusão.....	18
Referências.....	20



1 Introdução

De acordo com Soares e Batista (2007, p. 59), “incêndio florestal é o termo utilizado para definir um fogo incontrolado que se propaga livremente e consome os diversos tipos de material combustível existentes em uma floresta”. Com isso, ao Corpo de Bombeiros Militar do Amazonas é incumbida a responsabilidade de combater esses incêndios, que são sazonais e característicos devido a peculiaridades como tipo de vegetação, clima e relevo. De acordo com Gamada (2023), durante o período de estiagem, especialmente entre junho e outubro, a região enfrenta um aumento significativo no número de incêndios em áreas de vegetação. Por exemplo, entre 12 de julho e 8 de agosto de 2023, o CBMAM registrou 115 ocorrências de incêndios florestais na região sul do Amazonas, uma média de quatro casos por dia.

A água é o agente extintor universal utilizado para combater a propagação do fogo nos incêndios florestais. Porém, quando se usa apenas água no combate, a reignição passa a ser um problema significativo, pois as altas temperaturas fazem com que a água evapore rapidamente e não consiga penetrar no combustível nem resfriá-lo de maneira eficaz. De acordo com Pereira e Costa (2021, p. 17), “a rápida evaporação da água em incêndios florestais reduz sua eficiência e demanda volumes ainda maiores para controle das chamas”. Além disso, em grandes incêndios, há dificuldades no acesso a viaturas ao foco, exigindo a conexão de várias mangueiras, ou que prejudica a operação e consome um volume específico de água, muitas vezes sem garantir a supressão completa do fogo (Ferreira, 2022). Atualmente, o CBMAM não faz uso de Líquido Gerador de Espuma (LGE), pois, para incêndios florestais, esse agente deve ser específico. Como destacado por Miracema-Nuodex (2025), “o LGE convencional utilizado em incêndios urbanos pode ser altamente corrosivo e tóxico, causando impactos negativos no solo e na biodiversidade local”. Dessa forma, seu uso em áreas florestais poderia dificultar a regeneração do solo e comprometer os ecossistemas naturais (Mendonça; Silva, 2022).

Portanto, a adição de aditivos naturais à água, como agentes espumantes biodegradáveis extraídos de plantas nativas, apresenta-se como uma alternativa sustentável para potencializar o combate a incêndios florestais. Segundo Cavaletti (2023, p. 45), “as saponinas extraídas de espécies vegetais demonstram



propriedades tensoativas que aumentam a eficiência da água no combate ao fogo, reduzindo o consumo hídrico e o risco de reignição". Além disso, esses compostos naturais melhoram as propriedades extintoras da água ao aumentar seu tempo de contato com as chamas e aprimorar sua capacidade de resfriamento e abafamento (Silva, 2022). Dessa forma, a aplicação desses aditivos contribui para um combate mais eficaz aos incêndios, minimizando impactos ambientais e favorecendo a regeneração das áreas afetadas (Silva; Lima, 2021).

2 Referencial Teórico

De acordo com Silvério (2023), o uso do fogo na Amazônia está geralmente associado a três diferentes objetivos: manejo de áreas abertas, principalmente áreas de pastagem; limpeza de áreas recém-desmatadas; e o sistema de corte e queima na agricultura familiar e em comunidades tradicionais. A maioria esmagadora dos incêndios está relacionada aos dois primeiros objetivos, ou seja, ao uso do fogo como ferramenta de manejo de áreas abertas, geralmente pastagens, e à limpeza de áreas recém-desmatadas. Um dos grandes problemas é que esse fogo costuma sair do controle e avançar para áreas de vegetação nativa, resultando em processos extensos de degradação florestal.

Ainda segundo Silvério (2023), a Amazônia é um ecossistema que não tem adaptações ao fogo. O normal é não ter fogo. O fogo sempre foi um fator bastante raro nesse ecossistema, ocorrendo somente em intervalos de milhares de anos. Então as espécies, o ecossistema como um todo, não estão adaptados ao fogo. Quando ocorre um incêndio, as consequências para a biodiversidade, para o funcionamento desse ecossistema são devastadoras em todas as dimensões".

De acordo com a Lei nº 14.944/2024, "a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo reconhece e valoriza os conhecimentos e práticas tradicionais e ancestrais de uso do fogo, respeitando os modos de vida de povos e comunidades tradicionais, agricultores familiares e populações indígenas" (BRASIL, 2024, p. 10).

Sendo assim, um incêndio florestal pode ter proporções catastróficas, irreversíveis e danosas a população e ao meio ambiente. Então, é preciso gerir e mapear as áreas mais recorrentes em incêndios florestais para definir estratégias de combate mais eficazes. Logo, a relação entre incêndios florestais e a gestão de riscos e desastres é direta e estratégica. Os incêndios florestais representam um dos



desastres ambientais mais recorrentes e destrutivos, especialmente em regiões como a Amazônia. A gestão de riscos e desastres atua justamente na prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação frente a esse tipo de ameaça. De acordo com o Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD, 2016), essas ações devem ser integradas, considerando tanto fatores naturais quanto antrópicos, com foco na redução da vulnerabilidade socioambiental e no fortalecimento da resiliência dos territórios mais afetados.

Segundo Liesenfeld (2014), os incêndios florestais na Amazônia é realidade, e torna-se imperativo a antecipação à dimensão de seus impactos futuros, devido à possibilidade do aumento das ocorrências desses incêndios pela expectativa de modificações climáticas globais, que isoladamente não teriam condições de alterar profundamente a estrutura e estabilidade microclimática das florestas. Porém, o risco está na interação entre mudanças no uso do solo e seca, acrescido de derrubadas (desmatamentos) e queimas, ilegais e não controladas, com grandes riscos de incêndios florestais.

De acordo com Soares e Batista (2007), em qualquer incêndio florestal é necessário haver combustível para queimar, oxigênio para manter as chamas e calor para iniciar e continuar o processo de queima. Essa inter-relação entre os três elementos básicos da combustão é conhecida como “triângulo do fogo”. A ausência, ou redução abaixo de certos níveis, de qualquer um dos componentes do triângulo do fogo inviabiliza o processo da combustão.

A água é um dos agentes extintores mais usados porque suas propriedades físicas e químicas ajudam a apagar o fogo. Conforme o Manual Básico de Combate a Incêndio do CBMDF, ela age principalmente pelo resfriamento, ao diminuir a temperatura do material em chamas, e pelo abafamento, quando o vapor desloca o oxigênio na base do fogo. O Manual de Formação Inicial do Bombeiro também destaca que a água pode diluir e emulsionar certas substâncias, o que ajuda especialmente em incêndios com líquidos inflamáveis.

Por isso, a água é eficiente e versátil. No entanto, sua eficácia pode aumentar com a adição de substâncias naturais, que melhoram sua ação extintora. Um exemplo são os agentes umectantes naturais, que reduzem a tensão superficial e permitem maior penetração da água no material em combustão — algo muito útil em incêndios florestais e subterrâneos. Segundo o US Forest Service (2024), esses



aprimoradores de água modificam suas características para aumentar a eficácia, a precisão da aplicação e a aderência aos combustíveis.

Outro recurso é o uso de espessantes naturais de origem vegetal, que fazem a água aderir melhor às superfícies, evitando escorrimento e aumentando o resfriamento. Como apontam Silva e Lima (2021), aditivos naturais biodegradáveis trazem vantagens ambientais por reduzirem impactos ao solo e à fauna, sendo alternativas sustentáveis no combate a incêndios florestais.

É importante destacar que a escolha dos aditivos deve considerar sua biodegradabilidade e impacto ambiental, garantindo que sua aplicação não cause danos adicionais ao ecossistema afetado pelo incêndio. Os aditivos naturais podem potencializar a capacidade extintora da água em incêndios florestais de diversas maneiras, melhorando suas propriedades físicas e químicas. Dentre os principais mecanismos, destacam-se:

- **Aumento da Tensão Superficial e Adesão:** De acordo com Fernandes (2018), e Yuyama (2013), espessantes naturais, como fibras de açaí e buriti, aumentam a viscosidade da água, permitindo que ela adira melhor às superfícies inflamáveis e reduza o escorrimento. Isso melhora a eficiência do resfriamento e prolonga o contato da água com o material combustível.

- **Melhoria na Capacidade de Resfriamento:** De acordo com estudos do Centro De Estudos Em Agronegócio (2022), e da Universidade Federal de Rondônia (2022), amidos extraídos da mandioca, aloe vera e pupunha aumentam a capacidade de retenção de umidade da água, prolongando sua ação no resfriamento dos combustíveis e reduzindo a evaporação rápida sob altas temperaturas.

- **Efeito Espumante e Abafamento das Chamas:** De acordo com Cavaletti (2023), Martins (2019), e Pontífica Universidade Católica de Minas Gerais (2021), saponinas naturais, extraídas de plantas como saboeiro, juá e camapu, atuam como agentes espumantes biodegradáveis. Elas criam uma barreira física sobre o fogo, dificultando o contato do oxigênio com o material inflamável, reduzindo a reignição e aumentando a eficiência do combate ao incêndio.

- **Propriedades Emulsificantes:** De acordo com Pereira e Costa (2021) e Núcleo do Conhecimento (2022), óleos vegetais naturais, como andiroba, copaíba e tucumã, podem atuar como emulsificantes, melhorando a dispersão da água e permitindo que ela atue de maneira mais uniforme sobre os focos de incêndio.



• **Sustentabilidade e Baixo Impacto Ambiental:** De acordo com Silva (2022), IPAM (2024) e Leisenfeld (2014), diferente de alguns produtos químicos sintéticos, os aditivos naturais são biodegradáveis e não comprometem a qualidade do solo ou dos ecossistemas aquáticos. Isso reduz os impactos ambientais a longo prazo e facilita a regeneração das áreas atingidas pelo fogo.

Dessa forma, a incorporação de aditivos naturais à água utilizada no combate a incêndios não apenas melhora sua eficácia como agente extintor, mas também representa uma abordagem mais sustentável para a preservação ambiental. Com base nos objetivos específicos delineados, destacam-se três conceitos centrais para esta pesquisa:

- I. Seleção de plantas nativas na região amazônica com propriedades espumantes, surfactantes, emulsificantes e espessantes.
- II. Avaliação dos impactos ambientais e se há possíveis riscos de saúde no manuseio pelos operadores dos aditivos utilizados no combate a incêndios florestais.
- III. Avaliar a eficácia da espuma gerada a partir de aditivos naturais de plantas e a viabilidade de produção em larga escala para atender o combate a incêndios florestais.

Seleção de Plantas Nativas na Região Amazônica com Propriedades Espumantes, Surfactantes, Emulsificantes e Espessantes

De acordo com Cavaletti (2023), a região amazônica é rica em biodiversidade, oferecendo várias fontes de aditivos naturais que podem ser utilizados para melhorar os agentes extintores à base de água. A investigação das propriedades espumantes, espessantes e surfactantes de plantas nativas da Amazônia é fundamental para identificar aditivos naturais eficazes no combate a incêndios florestais.

Nesta etapa, será realizada uma revisão da literatura científica para identificar plantas amazônicas que apresentam compostos bioativos com propriedades espumantes e surfactantes, como saponinas e glicolipídios. Exemplos de plantas com potencial incluem *Sapindus saponaria*, conhecida como saboeiro ou sabão-de-



soldado. A escolha das plantas será baseada em estudos anteriores sobre a composição química e na abundância das espécies na região amazônica.

Avaliação dos Impactos Ambientais e se há Possíveis Riscos de Saúde no Manuseio Pelos Operadores dos Aditivos Utilizados no Combate a Incêndios Florestais

A avaliação dos impactos ambientais decorrentes do uso de aditivos no combate a incêndios é crucial para garantir a sustentabilidade das práticas de manejo do fogo. O uso desses aditivos, embora eficaz na supressão de incêndios, pode resultar em contaminação do solo e da água, afetando negativamente a flora e a fauna locais. Portanto, a pesquisa de alternativas naturais e biodegradáveis visa mitigar esses efeitos adversos, promovendo a regeneração dos ecossistemas pós-incêndio e preservando a biodiversidade. Aditivos naturais extraídos de plantas, como as saponinas, são considerados sustentáveis principalmente por duas razões:

- **Biodegradabilidade:** De acordo com Silva (2022), as saponinas e outros compostos naturais, como os emulsificantes e surfactantes, são biodegradáveis. Isso significa que, quando liberados no meio ambiente, eles se decompõem naturalmente, sem causar acúmulo de resíduos tóxicos. Isso difere de muitos produtos sintéticos, como detergentes e agentes espumantes químicos, que podem permanecer no ambiente por longos períodos e prejudicar a fauna e a flora locais.

- **Baixo impacto ecológico:** De acordo com Souza (2021), o uso de saponinas extraídas de plantas nativas da Amazônia, como *Sapindus saponaria* (saboieiro) e *Spondias mombin* (juá), representa uma alternativa ecológica aos aditivos sintéticos. Essas plantas são abundantes na região e, se extraídas de forma controlada e sustentável, podem ser aproveitadas sem causar danos aos ecossistemas. Além disso, o cultivo dessas plantas pode ajudar a preservar áreas de floresta, promovendo a conservação da biodiversidade.

De acordo com Silva (2021), em geral, as moléculas extraídas de plantas com propriedades espessantes, surfactantes e espumantes são biodegradáveis. Esses compostos naturais, como saponinas, gomas vegetais, amidos e óleos vegetais, são rapidamente degradados por microrganismos no solo e na água, reduzindo os



impactos ambientais quando comparados a produtos sintéticos. Além disso, estudos apontam que essas substâncias possuem baixa toxicidade e não comprometem a regeneração do ecossistema após o uso no combate a incêndios florestais.

De acordo com Tuasaúde (2024), o uso de substâncias extraídas de plantas amazônicas para potencializar a capacidade extintora da água no combate a incêndios florestais pode, em alguns casos, apresentar riscos à saúde, incluindo reações alérgicas. As saponinas, por exemplo, são compostos naturais encontrados em diversas plantas e conhecidas por suas propriedades detergentes e formadoras de espuma. Embora possuam benefícios como propriedades anti-inflamatórias e antimicrobianas, também podem causar efeitos adversos. De acordo com estudos do Plantaciência (2024), saponinas com alta atividade hemolítica podem ter seu uso restrito devido a potenciais efeitos colaterais.

Além disso, segundo Scielo Brasil (2023), e Actas Dermosifiliográficas (2019) o contato com certas plantas que contêm saponinas e outros compostos pode levar a dermatites de contato alérgicas. A Agave americana, por exemplo, possui seiva rica em saponinas que pode causar dermatite irritativa de contato, manifestando-se por prurido intenso, pápulas e vesículas.

Portanto, ao considerar o uso de aditivos naturais extraídos de plantas amazônicas, é crucial avaliar os potenciais riscos à saúde, especialmente no que diz respeito a reações alérgicas e dermatites de contato. Recomenda-se a realização de estudos toxicológicos e dermatológicos para assegurar a segurança desses compostos antes de sua aplicação em larga escala no combate a incêndios florestais.

Avaliar a Eficácia da Espuma Gerada a partir de Aditivos Naturais de Plantas e a Viabilidade de Produção em Larga Escala para Atender o Combate a Incêndios Florestais

Segundo Martins (2019), a última etapa envolve a análise da eficiência da espuma gerada pelos extratos naturais no combate ao fogo. Isso pode ser feito por meio de testes laboratoriais e experimentos controlados em pequenas áreas de vegetação seca, simulando incêndios florestais. A espuma será avaliada com base em critérios como tempo de permanência sobre os combustíveis florestais, capacidade de resfriamento e redução da reignição. Estudos indicam que a adição



de 0,1% a 0,5% de saponinas à água pode aumentar sua eficácia em até 30% na supressão das chamas e reduzir o consumo de água em incêndios florestais em até 40%. Para Souza e Cunha (2020), para avaliar a viabilidade de produção dos aditivos naturais em larga escala, devemos considerar os seguintes aspectos:

- Disponibilidade e cultivo sustentável plantas para garantir o fornecimento contínuo e reduzir impactos ambientais.
- Métodos de extração e processamento com métodos eficientes e sustentáveis, de forma a garantir a preservação dos compostos ativos.
- Processamento em pó ou solução concentrada para facilitar o transporte e armazenamento.
- Análise econômica do custo de produção em larga escala: estimado em 30% a 50% menor do que os Líquidos Geradores de Espuma (LGE) sintéticos.

3 Metodologia

A metodologia será baseada em uma análise detalhada das publicações acadêmicas, artigos científicos, dissertações e teses disponíveis sobre o tema proposto. Segundo Silva et al. (2020, p. 17), “a revisão sistemática da literatura permite identificar lacunas no conhecimento e direcionar futuras pesquisas de forma mais eficiente”. Nesse sentido, essa abordagem será utilizada para identificar as plantas nativas da Amazônia que possuem propriedades espumantes, surfactantes e emulsificantes, possibilitando sua adição à água utilizada no combate a incêndios florestais.

Após a coleta dos dados, será feita uma síntese qualitativa das informações. Conforme destaca Oliveira (2021, p. 25), “a análise qualitativa permite a organização dos achados mais relevantes e sua contextualização dentro do problema de pesquisa”. Assim, serão apontadas as plantas nativas da região amazônica com maior potencial para extração desses aditivos.

Em um segundo momento, a metodologia aplicada também se concentrará na extração dessas substâncias em laboratório. De acordo com Santos et al. (2019, p. 33), “os métodos laboratoriais são fundamentais para validar a presença e a eficiência de compostos bioativos em matrizes vegetais”. Após a extração, as



substâncias serão analisadas e testadas quanto à sua eficácia quando adicionadas à água no combate a incêndios florestais.

Por fim, será realizado um estudo sobre os desafios associados à implementação em larga escala dessas substâncias naturais. Como afirmam Almeida e Costa (2022, p. 45), “a viabilidade econômica e a logística de aplicação são fatores determinantes para a adoção de novas tecnologias no combate a incêndios”. Dessa forma, aspectos como impacto ambiental, transporte e regulamentação serão considerados, além da comparação da eficiência desses compostos com produtos sintéticos disponíveis no mercado.

Com base nos resultados obtidos, serão propostas recomendações para futuras investigações e estratégias para a adoção dessas soluções no manejo sustentável de incêndios florestais. Como aponta Ferreira (2023, p. 112), “a inovação no controle de incêndios depende da convergência entre ciência, políticas públicas e sustentabilidade ambiental”.

4 Resultados e Discussões

Os resultados desta pesquisa foram obtidos, principalmente, por meio da revisão sistemática da literatura, visto que não foi possível realizar os experimentos laboratoriais inicialmente previstos na metodologia. Apesar dessa limitação, o estudo permanece viável, direcionando a análise para o mapeamento do estado atual da área de estudo e para a identificação de lacunas que poderão ser abordadas em pesquisas futuras.

A revisão da literatura permitiu identificar diferentes espécies vegetais da Amazônia com potencial aplicação como aditivos naturais no combate a incêndios florestais. Entre elas destacam-se:

- **Sapindus saponaria (saboeiro)**, rico em saponinas, com efeito espumante e detergente, capaz de aumentar a aderência da água e reduzir a reignição (Cavaletti, 2023, p. 45);
- **Spondias mombin (juá)**, que apresenta compostos com propriedades espumantes e emulsificantes, além de baixo impacto ambiental (Souza, 2021, p. 31);



- **Andiroba, copaíba e tucumã**, cujos óleos vegetais atuam como emulsificantes, melhorando a dispersão da água e prolongando seu efeito resfriador (Pereira; Costa, 2021, p. 33);
- **Fibras vegetais de açaí e buriti**, com propriedades espessantes, capazes de aumentar a viscosidade da água e favorecer maior aderência aos combustíveis (Fernandez, 2018).

Essas propriedades se alinham aos mecanismos necessários para superar as limitações do uso exclusivo da água, como evaporação rápida e baixa penetração no combustível. Estudos já realizados em outros contextos apontam que a adição de pequenas concentrações de saponinas (0,1% a 0,5%) pode ampliar a eficiência da água em até 30% na supressão das chamas, além de reduzir o consumo hídrico em até 40% (Martins, 2019, p. 47; Souza; Cunha, 2020, p. 47).

Embora os testes laboratoriais não tenham sido realizados, a análise comparativa dos dados secundários reforça o potencial técnico e ambiental do uso de aditivos naturais como alternativa sustentável ao LGE sintético. A principal contribuição desses compostos está na combinação entre eficácia extintora e sustentabilidade, visto que são biodegradáveis, apresentam baixa toxicidade e não comprometem a regeneração do solo (Silva; Lima, 2021, p. 49).

Por outro lado, a literatura também destaca limitações e riscos que precisariam ser avaliados experimentalmente. Entre eles, estão possíveis reações alérgicas em contato direto com saponinas de alta atividade hemolítica, além da necessidade de estudos toxicológicos para assegurar a segurança dos operadores (Plantaciência, 2024, p. 51).

Dessa forma, este estudo contribui para a sistematização do conhecimento existente, evidenciando espécies amazônicas promissoras e demonstrando a relevância de sua aplicação em estratégias de combate a incêndios florestais. Como limitação, ressalta-se a ausência de experimentos laboratoriais, o que impossibilitou a validação prática das propriedades identificadas. No entanto, esse aspecto reforça a necessidade de continuidade da pesquisa, por meio de parcerias institucionais que viabilizem ensaios em condições controladas e análises de viabilidade econômica em larga escala.

Assim, os resultados obtidos sugerem que os aditivos naturais amazônicos representam uma alternativa sustentável ao uso do LGE convencional, com



potencial de aumentar a eficiência do combate a incêndios florestais e reduzir os impactos ambientais, desde que acompanhados de estudos futuros que validem sua eficácia em campo.

O quadro comparativo abaixo na figura 1, evidenciou que nenhuma espécie isolada reúne todas as propriedades necessárias para substituir plenamente os aditivos sintéticos. Contudo, a associação estratégica de diferentes plantas pode gerar soluções integradas, ampliando a eficácia da água no combate às chamas, reduzindo o consumo hídrico e minimizando a reignição. Segue a tabela 1 abaixo com um quadro de propriedades e aplicações de acordo com cada fonte.

Tabela 1 – Quadro expositivo das propriedades e aplicações de plantas amazônicas

Planta (nome científico e popular)	Composto principal	Propriedade no combate ao fogo	Potencial de aplicação	Fonte
Sapindus saponaria (saboeiro)	Saponinas	Espumante e surfactante	Cria espuma biodegradável, aumenta aderência da água e reduz reignição	Cavaletti (2023)
Spondias mombin (juá)	Saponinas e glicolipídios	Espumante e emulsificante	Aumenta o contato da água com o combustível, dificultando reignição	Souza (2021)
Euterpe oleracea (açai) e Mauritia flexuosa (buriti)	Fibras vegetais	Espessante	Eleva a viscosidade da água, melhora aderência em superfícies inflamáveis	Fernandes (2018); Yuyama (2013)
Carapa guianensis (andiroba)	Óleo vegetal	Emulsificante	Melhora a dispersão da água e prolonga efeito resfriador	Pereira; Costa (2021)
Copaifera officinalis (copaíba)	Óleo-resina	Emulsificante e antibacteriano	Auxilia na dispersão da água e não contamina o solo	Núcleo do Conhecimento (2022)
Astrocaryum vulgare (tucumã)	Óleo vegetal	Emulsificante	Reduz escorrimento da água e aumenta tempo de contato	Pereira; Costa (2021)
Aloe vera (babosa) e Bactris gasipaes (pupunha)	Gomas e amidos	Espessante e umectante	Retém umidade por mais tempo, retardando evaporação	CEAgro (2022); UNIR (2022)

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

5 Conclusão

O presente trabalho teve como objetivo analisar o uso de aditivos naturais extraídos de plantas amazônicas como alternativa sustentável ao Líquido Gerador de Espuma (LGE) no combate a incêndios florestais, com foco no contexto



operacional do Corpo de Bombeiros Militar do Amazonas (CBMAM). Buscou-se identificar espécies vegetais com potencial para produção de compostos espumantes, emulsificantes, espessantes e umectantes, além de discutir seus impactos ambientais e a viabilidade de aplicação em larga escala.

A revisão da literatura permitiu identificar plantas amazônicas com propriedades relevantes para o combate ao fogo, como o saboeiro e o juá (ricos em saponinas), a andiroba, a copaíba e o tucumã (óleos vegetais de caráter emulsificante), além do açaí, buriti e pupunha (com fibras e amidos de efeito espessante e umectante). Esses compostos podem aumentar a eficiência da água, prolongar seu tempo de contato com os combustíveis e reduzir a reignição, configurando-se como alternativas promissoras e ambientalmente responsáveis.

As contribuições deste estudo concentram-se na sistematização do conhecimento disponível e na proposta de uma solução inovadora para o CBMAM, que alia ciência, logística e preservação ambiental. A incorporação de aditivos naturais pode significar ganhos práticos na redução do consumo de água, maior eficácia no combate às chamas e mitigação dos impactos ambientais do uso de produtos químicos convencionais. Além disso, oferece subsídios para a formação profissional e para a elaboração de políticas institucionais voltadas ao manejo sustentável de incêndios florestais.

Como limitação, destaca-se a impossibilidade de realização dos testes laboratoriais inicialmente previstos, o que impediu a validação experimental das propriedades descritas. Essa restrição, entretanto, não compromete os resultados alcançados, mas reforça a necessidade de continuidade da pesquisa em ambiente controlado e em condições reais de campo.

Recomenda-se, portanto, que estudos futuros contemplem a realização de ensaios laboratoriais e testes operacionais, a análise de custos e a viabilidade de produção em larga escala, bem como a definição de protocolos de uso adaptados à realidade do CBMAM. Dessa forma, será possível consolidar os aditivos naturais amazônicos como alternativa prática e sustentável para o enfrentamento dos incêndios florestais na Amazônia.



Referências

AGÊNCIA FAPESP. Incêndios em áreas de florestas maduras cresceram 152% na Amazônia em 2023, aponta estudo. Agência FAPESP, 2024. Disponível em: <https://agencia.fapesp.br/incendios-em-areas-de-florestas-maduras-cresceram-152-na-amazonia-em-2023-aponta-estudo/51315>. Acesso em: 27 fev. 2025.

ALMEIDA, J.; COSTA, R. A viabilidade econômica e logística de aplicação de tecnologias no combate a incêndios. *Revista de Gestão Ambiental*, v. 15, n. 3, p. 45-60, 2022.

ALMEIDA, R. Viabilidade econômica do uso de LGE em incêndios florestais: desafios e limitações. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*, v. 12, n. 4, p. 78-95, 2023.

BRANDO, P. M. et al. Fire-induced changes in forest recovery in Amazonian forests. *Journal of Ecology*, v. 100, n. 5, p. 1364-1373, 2012.

BRASIL. Lei nº 14.944, de 31 de julho de 2024. Institui a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo e altera as Leis nºs 7.735, de 22 de fevereiro de 1989, 12.651, de 25 de maio de 2012, e 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2024/lei-14944-31-julho-2024-796016-publicacaooriginal-172511-pl.html>. Acesso em: 8 abr. 2025.

BRASIL. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD). Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/defesa-civil>. Acesso em: 8 abr. 2025.

CAVALETTI, Juliana Cristina de Souza. Estudo das propriedades tensoativas das saponinas do pericarpo de *Sapindus saponaria* L. 2023. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2023. Disponível em: https://ri.ufmt.br/bitstream/1/6003/1/DISS_2023_Juliana%20Cristina%20de%20Souza%20Cavaletti.pdf. Acesso em: 28 fev. 2025.

CENTRO DE ESTUDOS EM AGRONEGÓCIO (Cerat/UNESP). Mandioca e seu potencial na indústria de alimentos. 2022. Disponível em: [inserir link, se houver]. Acesso em: 28 fev. 2025.

CNN BRASIL. Amazônia tem ar mais poluído do Brasil devido a queimadas recorde, diz IPAM. CNN Brasil, 2024. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/norte/amazonia-tem-ar-mais-poluido-do-brasil-devido-a-queimadas-recordes-diz-ipam/>. Acesso em: 27 fev. 2025.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. Manual Básico de Combate a Incêndio: Módulo 1 – Comportamento do Fogo. Disponível em: https://bombeiros.pb.gov.br/wp-content/uploads/2022/05/COMBATE-A-INCENDIO-Mod_1-Comportamento-do-Fogo.pdf. Acesso em: 3 abr. 2025.



FERNANDES, José Henrique et al. Características físico-químicas e funcionais da polpa e do óleo de buriti (*Mauritia flexuosa*). *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v. 20, n. 2, p. 123-131, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/rbpa/article/view/7700>. Acesso em: 04 abr. 2025.

FERREIRA, J. Eficiência do combate a incêndios florestais na Amazônia: análise de métodos e desafios. *Cadernos de Defesa Ambiental*, v. 9, n. 3, p. 112-130, 2022.

FERREIRA, M. Inovação no controle de incêndios: desafios e perspectivas. *Cadernos de Sustentabilidade*, v. 8, n. 2, p. 112-130, 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA (INPA). Floresta Amazônica pode estar aquecendo o clima global, diz estudo com participação do INPA. INPA, 2023. Disponível em: <https://antigo.inpa.gov.br/index.php/ultimas-noticias/3880-floresta-amazonica-pode-estar-aquecendo-o-clima-global-diz-estudo-com-participacao-do-inpa>. Acesso em: 27 fev. 2025.

IPAM – INSTITUTO DE PESQUISAS AMBIENTAIS DA AMAZÔNIA. Cidades da Amazônia têm a pior qualidade do ar de todo o Brasil. IPAM, 2024. Disponível em: <https://ipam.org.br/cidades-da-amazonia-tem-a-pior-qualidade-do-ar-de-todo-o-brasil/>. Acesso em: 27 fev. 2025.

LIESENFELD, F. Impactos das Mudanças Climáticas sobre Incêndios Florestais na Amazônia. Rio de Janeiro: Editora Científica, 2014.

LIMA, F. et al. Logística no combate a incêndios florestais: dificuldades operacionais e novas abordagens. *Revista de Engenharia Florestal*, v. 6, n. 2, p. 25-45, 2019.

MARTINS, R. S. Estudo das propriedades ecológicas das saponinas e sua aplicabilidade em agentes espumantes. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019. Disponível em: <https://www.teses.usp.br>. Acesso em: 28 fev. 2025.

MIRACEMA-NUODEX. Liovac® AFFF: Alta qualidade, segurança e rapidez no combate a incêndios. 2025. Disponível em: <https://www.quimica.com.br/liovacafff-alta-qualidade-seguranca-e-rapidez-no-combate-a-incendios/>. Acesso em: 28 fev. 2025.

NÚCLEO DO CONHECIMENTO. Óleo de Andiroba. 2022. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/wp-content/uploads/2023/08/aplicacoes-dos-oleos-1.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2025.

PEREIRA, H.; COSTA, M. Propriedades emulsificantes e espumantes de extratos vegetais da Amazônia. *Ciências Naturais e Biotecnologia*, v. 11, n. 2, p. 33-50, 2021.

PLANTACIÊNCIA. Saponinas: as substâncias naturais bioativas que formam espuma. *PlantaCiência*, 2024. Disponível em: <https://www.plantaciencia.com/colunas/saponinas>. Acesso em: 4 abr. 2025.

