

Fogo no Mato: Serviço de Apoio à Decisão em Tempo Real para Combate a Incêndios Florestais

Tiago Brasileiro Araújo¹, Damião Ribeiro de Almeida¹, José Gomes Lopes Filho², Hicaro Ferreira Brasil¹, Igor Silva Sobral¹, Ana Lícia Ferreira Soares¹, Anna Beatriz Gomes Sales¹

¹Instituto Federal da Paraíba, Soledade/Monteiro, Brasil

{tiago.brasileiro, damiao.almeida}@ifpb.edu.br

{hicaro.brasil, igor.sobral,

ana.licia, gomes.anna}@academico.ifpb.edu.br

²Fundação Parque Tecnológico Itaipu (Itaipu Parquetec), Foz do Iguaçu, Brasil

jose.lopes@itaipuparquetec.org.br

Abstract. *Fogo no Mato¹ is a socio-environmental and educational initiative focused on the monitoring, prevention, and understanding of fire outbreaks in rural areas and native vegetation. By integrating remote sensing data from satellites and other sensors, the project aims to combine citizen science and geotechnologies to support wildfire response efforts and guide public policy. The initiative proposes the integration of multiple data sources through techniques in data science, artificial intelligence, and geoprocessing. The project is carried out in partnership with the Military Fire Department of Paraíba, which actively participates in testing and evaluating the tool, contributing suggestions for its continuous improvement.*

Resumo. *Fogo no Mato é uma iniciativa de caráter socioambiental e educativo voltada para o monitoramento, prevenção e compreensão dos focos de queimadas em áreas rurais e de vegetação nativa. Integrando dados de sensoriamento remoto provenientes de satélites e outros sensores, o projeto busca aliar ciência cidadã e geotecnologias para apoiar ações de combate às queimadas e orientar políticas públicas. A iniciativa propõe a integração de múltiplas fontes de dados por meio de técnicas de ciência de dados, inteligência artificial e geoprocessamento. O projeto conta com a parceria do Corpo de Bombeiros Militar da Paraíba (CBMPB), que participa ativamente da avaliação e testes da ferramenta, contribuindo com sugestões para seu aprimoramento contínuo.*

1. Introdução

De acordo com dados do *Programa de Queimadas²* do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o Brasil registrou 278.299 focos de incêndio em 2024, um aumento de 46,5% em relação aos focos identificados em 2023. Esse resultado supera também as mais

¹<https://drive.google.com/drive/folders/1xnnqHiiR-6gTUKPF7-7Vnc3WXvrd7r0F?usp=sharing>

²<https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/portal/>

de 200.000 ocorrências contabilizadas em 2022 e confirma a tendência de alta já observada no primeiro bimestre de 2024, quando o total de focos quase dobrou em comparação ao mesmo período do ano anterior. Considerando os dados de 2025, 12.5% dos focos de incêndio situam-se no bioma Caatinga, que cobre cerca de 11% do território brasileiro. No Brasil, o uso do fogo para limpeza de áreas agrícolas continua sendo mais econômico do que investir em equipamentos e mão de obra [Silva Junior and Pacheco 2021]. O combate a incêndios em áreas de vegetação é complexo e exige planejamento, coordenação, grandes equipes e recursos variados. Na Caatinga, os desafios incluem delimitar a área atingida, avaliar fontes de água, relevo e estradas próximas, bem como deslocar com eficiência pessoal e equipamentos (viaturas, caminhões e materiais de combate).

Até onde se tem conhecimento, a maioria das corporações de bombeiros no Brasil ainda carece de *softwares* de apoio, apesar da era digital atual. Nesse sentido, o objetivo geral é desenvolver um sistema integrado de monitoramento de queimadas em tempo real, voltado a auxiliar bombeiros na detecção, análise e resposta a incêndios. Os objetivos específicos incluem implementar uma plataforma que integra sensores IoT, imagens de satélite e APIs meteorológicas, além de um sistema de *Business Intelligence* (BI) com painéis e relatórios analíticos para apoiar decisões rápidas e eficientes.

Portanto, o sistema combina análise de dados em tempo real com visualização e previsão avançadas, criando uma nova abordagem para o combate a incêndios. Sua arquitetura escalável adapta-se a diferentes biomas e regiões, considerando características locais, ampliando seu potencial impacto. A infraestrutura tecnológica robusta transforma o combate tradicional em operações mais inteligentes e coordenadas, avançando a gestão de desastres e promovendo segurança, eficiência e proteção ambiental.

2. Fundamentação

A crescente frequência e severidade dos incêndios florestais ressalta a necessidade de estratégias inovadoras de prevenção e combate. Este estudo explora o papel da tecnologia, especialmente do *Software* como Serviço (SaaS), no aprimoramento das capacidades de combate e mitigação de riscos. SaaS é um modelo em nuvem no qual o *software* é hospedado remotamente e entregue via *web* [Ghouri and Mani 2019], reduzindo encargos de infraestrutura e permitindo foco nas atividades-fim. Por isso, o SaaS tem sido adotado em diversas aplicações, inclusive na gestão de desastres [Ibrahim et al. 2023]. Este trabalho propõe um serviço de apoio à decisão baseado em SaaS para enfrentar desafios, melhorar a resposta a incêndios e proteger ecossistemas e comunidades.

Este projeto integra conhecimentos de Sensoriamento Remoto, Sistemas de Informação Geográfica (SIG), *Internet* das coisas (IoT) e BI. Plataformas de sensoriamento remoto identificam anomalias ambientais precocemente [Arab et al. 2022], enquanto SIG facilita a visualização de perímetros, rotas de evacuação e infraestrutura crítica [Subburaj et al. 2024]. Dispositivos IoT capturam dados ambientais em tempo real [Shah et al. 2019], e princípios de BI transformam esses dados em insights para gestores [Milanés-Batista et al. 2020]. Este artigo explora a integração desses domínios para potencializar o serviço proposto.

Outra ferramenta essencial é o *Machine Learning* (ML), que permite analisar grandes volumes de dados de diferentes fontes. Algoritmos de ML ajudam a identificar padrões, prever ocorrências e otimizar estratégias de resposta, mitigando impactos.

Em [Jain et al. 2020], os autores categorizam abordagens supervisionadas, não supervisionadas e métodos baseados em agentes. Neste estudo, técnicas não supervisionadas foram aplicadas para agrupar focos de incêndio, reduzindo a poluição visual em mapas e facilitando a interpretação dos dados.

3. Um Serviço de Apoio à Decisão para Combate a Incêndios Florestais

A Caatinga é o bioma mais importante para a pecuária no semiárido brasileiro [Silva Junior and Pacheco 2021]. Um aliado relevante nessa tarefa de preservação é o serviço de apoio à decisão³ proposto neste trabalho. Esta seção apresenta sua arquitetura, enfocando componentes internos e mecanismos de gestão de dados.

3.1. Visão Geral da Arquitetura

A arquitetura do sistema desenvolvido é modular e divide-se em três componentes principais (Figura 1): Fontes de Dados, Back-end e Front-end, garantindo escalabilidade e processamento eficiente em tempo real.

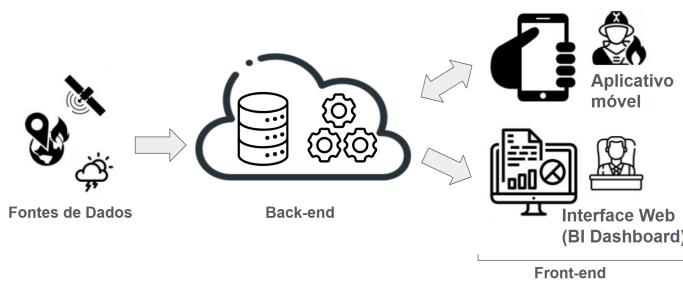


Figura 1. Arquitetura da aplicação proposta.

As **Fontes de Dados** abrangem serviços meteorológicos (*Weather API*)⁴, dados de satélite do FIRMS⁵ e informações do *OpenStreetMap*⁶, além de dados gerados pelos usuários (imagens, vídeos e relatos manuais). O **Back-end** é responsável pela extração, transformação, armazenamento e disponibilização dos dados utilizados pelo sistema. Esse módulo foi implementado em *Python*, além da aplicação do framework *Flask*⁷ para construção da API. Por meio de uma arquitetura de comunicação assíncrona, o *Back-end* coleta dados provenientes de sensores remotos, realizando etapas de limpeza, padronização e integração dessas informações. Os dados processados são então armazenados no banco de dados *Cloud Firestore*⁸, que oferece escalabilidade e sincronização em tempo real.

No *Back-end*, técnicas de aprendizado não supervisionado são empregadas para agrupar focos e evitar a sobreposição de alertas em áreas próximas. Foram avaliados três algoritmos (OPTICS, HDBSCAN e DBSCAN), o DBSCAN apresentou o melhor equilíbrio entre agrupamento de focos próximos, preservação de focos isolados e eficiência computacional, sendo então o algoritmo selecionado.

³Devido a restrições de propriedade intelectual, entre em contato com os autores por e-mail para acessar o repositório.

⁴<https://www.weatherapi.com/>

⁵<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>

⁶<https://www.openstreetmap.org/>

⁷<https://flask.palletsprojects.com/>

⁸<https://firebase.google.com/>

Com o objetivo de garantir desempenho em consultas realizadas durante operações críticas, o sistema incorpora técnicas de indexação espacial e filtragem temporal, otimizando o acesso aos dados relevantes. A comunicação entre o *Back-end* e o *Front-end* é realizada por meio de APIs RESTful, assegurando a interoperabilidade e a modularidade da aplicação. O *Front-end* é composto por aplicativo móvel em *React Native*⁹ e uma aplicação *web* construída com *Next.js*¹⁰. O aplicativo fornece acesso em campo e permite registrar novos focos, rotas e mídias. A interface BI apresenta painéis analíticos para gestores.

4. Aplicação e Implantação

O principal objetivo do aplicativo móvel é fornecer, em tempo real, informações essenciais para o combate a incêndios florestais, facilitando o acesso por parte de bombeiros e equipes de campo. Após a autenticação, o usuário tem acesso a um mapa interativo que exibe os focos de queimadas detectados nas últimas 48 horas (período ajustável conforme a necessidade). A renderização do mapa é realizada por meio do SDK do *Mapbox*¹¹ para *React Native*, o que garante responsividade e integração com dados geoespaciais. A Figura 2 ilustra os principais cenários de uso do aplicativo móvel para monitoramento de queimadas.

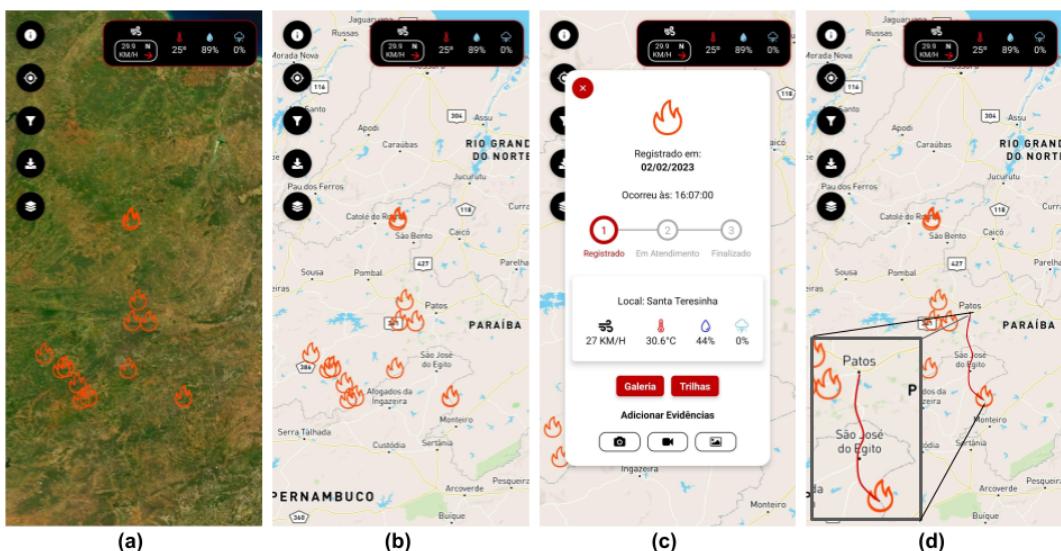


Figura 2. Telas da aplicação: (a) focos em vista satélite; (b) focos em vista de estradas; (c) detalhes de um foco; (d) rota possível até o foco.

As Figuras 2(a) e 2(b) apresentam diferentes estilos de mapas disponíveis na aplicação, incluindo os modos relevo, satélite, mapa de estradas e híbrido. Essas opções permitem que o usuário selecione a visualização mais adequada conforme a necessidade do momento. O ícone em formato de chama, exibido sobre o mapa, representa um foco de incêndio detectado ou registrado na região. Ao interagir com esse ícone, o usuário é direcionado para uma tela com informações detalhadas sobre o evento, conforme ilustrado

⁹<https://reactnative.dev/>

¹⁰<https://nextjs.org/>

¹¹<https://www.mapbox.com/>

na Figura 2(c). Entre os dados disponíveis estão: nome do município, condições meteorológicas atuais, horário de registro, além de opções para anexar ou visualizar imagens e vídeos relacionados ao incêndio. A Figura 2(d) apresenta a funcionalidade do aplicativo que permite registrar e compartilhar rotas até focos de incêndio. Essa ferramenta é útil especialmente em áreas de difícil acesso, auxiliando no deslocamento das equipes. Ao traçar a rota no mapa, o percurso fica disponível para outros membros da equipe, facilitando a coordenação, a navegação e o planejamento de estratégias de aproximação mais seguras e eficientes.

A barra superior do aplicativo exibe quatro métricas climáticas relevantes para as operações: velocidade do vento, temperatura, umidade relativa do ar e probabilidade de precipitação. Essas informações são atualizadas em tempo real e adaptadas à localização do usuário, oferecendo suporte rápido e preciso à tomada de decisão em campo. A barra lateral do aplicativo reúne controles que auxiliam na navegação e personalização da visualização do mapa durante as operações. Entre as funcionalidades disponíveis estão: exibição da legenda dos focos de incêndio, centralização do mapa, filtragem temporal dos registros (hoje, últimas 24h ou 48h), captura da tela, e seleção do tipo de mapa (rua, satélite, tráfego ou geográfico).

A interface do BI, apresenta gráficos, mapas de calor e relatórios que auxiliam na identificação de padrões, alocação de recursos e planejamento de ações preventivas. O *dashboard* exibe um relatório geral sobre o total de queimadas no estado, com possibilidade de filtragem por município e período de tempo. São apresentados cinco *cards* com os seguintes indicadores: total de incêndios no período selecionado e sua variação percentual em relação ao período anterior; total de ocorrências atendidas; tempo médio de resposta; temperatura média e precipitação média.

5. Resultados e Discussões

Os testes controlados realizados entre 2022 e 2024 desempenharam um papel fundamental na validação e no aprimoramento do sistema de monitoramento de incêndios florestais antes de sua adoção operacional em campo. Durante esse período, foram avaliados o desempenho do *pipeline* de ETL (*Extract, Transform, Load*), com tempo médio de execução de 1,24 minuto, e a latência de resposta ao usuário, variando entre 500 ms e 2 segundos. Os dados de satélite e meteorológicos são atualizados a cada três horas, enquanto as interfaces do *Front-end* consultam periodicamente o *Back-end* a cada 30 minutos. A validação cruzada com dados do FIRMS e do BD Queimadas¹² indicou uma precisão espacial de aproximadamente 92%. Atualmente, o sistema encontra-se em uso pelo Corpo de Bombeiros da Paraíba, também sendo utilizado para a coleta de dados históricos, com o objetivo de enriquecer os relatórios analíticos.

6. Trabalhos Relacionados

Ferramentas como *FireScope*¹³, *Firefighter Log*¹⁴, *FireReady*¹⁵ e *Wildfire*¹⁶ oferecem suporte a incêndios em outros países, mas faltam soluções que centralizem grande volume

¹²<https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/>

¹³<https://firescope.caloes.ca.gov/>

¹⁴<http://www.firefighterlog.com/>

¹⁵<https://fireready.org.au/>

¹⁶<https://www.nifc.gov>

de informações em dispositivos portáteis para o contexto brasileiro. O serviço proposto foi concebido para a realidade da Caatinga e incorpora dados locais, promovendo evolução contínua a partir do feedback das equipes.

7. Conclusão e Trabalhos Futuros

Este artigo descreveu o desenvolvimento e a implantação de um serviço que integra dados de múltiplas fontes e os disponibiliza em interfaces amigáveis, apoiando brigadas no planejamento e na ação. O sistema já está em uso no Corpo de Bombeiros da Paraíba. Como trabalhos futuros, pretende-se: *i*) expandir o uso para outras corporações no Brasil; *ii*) integrar algoritmos de ML para previsão de ocorrências; *iii*) avaliar algoritmos alternativos de clusterização visando ganhos de precisão e desempenho.

Referências

- Arab, S. T., Islam, M. M., Shamsuzzoha, M., Alam, K. F., Muhsin, N., Noguchi, R., and Ahamed, T. (2022). A review of remote sensing applications in agriculture and forestry to establish big data analytics. *Remote Sensing Application: Regional Perspectives in Agriculture and Forestry*, pages 1–24.
- Ghouri, A. M. and Mani, V. (2019). Role of real-time information-sharing through saas: An industry 4.0 perspective. *International Journal of Information Management*, 49:301–315.
- Ibrahim, A. M. A., Abdullah, N. S., and Bahari, M. (2023). Software as a service challenges: A systematic literature review. In *Proceedings of the Future Technologies Conference*, pages 257–272. Springer.
- Jain, P., Coogan, S. C., Subramanian, S. G., Crowley, M., Taylor, S., and Flannigan, M. D. (2020). A review of machine learning applications in wildfire science and management. *Environmental Reviews*, 28(4):478–505.
- Milanés-Batista, C., Tamayo-Yero, H., De Oliveira, D., and Nuñez-Alvarez, J. (2020). Application of business intelligence in studies management of hazard, vulnerability and risk in cuba. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, volume 844, page 012033. IOP Publishing.
- Shah, S. A., Seker, D. Z., Hameed, S., and Draheim, D. (2019). The rising role of big data analytics and iot in disaster management: recent advances, taxonomy and prospects. *IEEE Access*, 7:54595–54614.
- Silva Junior, J. A. d. and Pacheco, A. d. P. (2021). Avaliação de incêndio em ambiente de caatinga a partir de imagens landsat-8, índice de vegetação realçado e análise por componentes principais. *Ciência Florestal*, 31:417–439.
- Subburaj, J., Murugan, K., Keerthana, P., and Aalam, S. S. (2024). Catastropheguard: A guard against natural catastrophes through advances in ai and deep learning technologies. In *Internet of Things and AI for Natural Disaster Management and Prediction*, pages 28–55. IGI Global.