SUMÁRIO EXECUTIVO

RESTAURAÇÃO RESILIENTE AO FOGO:

Modelagem de risco de incêndios em larga escala no Brasil

IIS INSTITUTO INTERNACIONAL PARA SUSTENTABILIDADE

iCS instituto CLIMA e SOCIEDADE

Apresentação

RESTAURAÇÃO EM LARGA ESCALA E RISCO DE INCÊNDIO

A restauração ambiental em larga escala é uma estratégia essencial para recuperar ecossistemas degradados, conservar a biodiversidade e aumentar a resiliência frente às mudanças climáticas. No entanto, o risco de incêndios representa uma das principais ameaças ao sucesso e à permanência desses projetos. Somente em 2024, mais de 21,8 milhões de hectares de vegetação nativa foram queimados no Brasil, evidenciando a necessidade de incorporar esse risco ao planejamento da restauração.

As mudanças climáticas, associadas à expansão das atividades humanas e às diferenças ecológicas entre os biomas brasileiros, tendem a aumentar a frequência e a intensidade dos incêndios. Ao mesmo tempo, projetos de restauração demandam, em média, 20 anos para alcançar resultados duradouros.

A **restauração ambiental** leva pelo menos **20 anos,** mas um incêndio pode **comprometer esse trabalho em poucas horas.**

POR QUE UM NOVO MODELO?

Muitas das ferramentas atualmente utilizadas para monitorar incêndios foram desenvolvidas para apoiar decisões de curto prazo e não atendem às necessidades do planejamento de projetos de restauração, que exigem uma visão de longo prazo.

Diante da necessidade de incorporar o risco de incêndios ao planejamento da restauração e da atualização do Plano Nacional para Recuperação da Vegetação Nativa (Planaveg 2025–2028), o Instituto Internacional para Sustentabilidade (IIS), em parceria com o Instituto Clima e Sociedade (iCS), desenvolveu um método inédito para mapear o risco de incêndios em áreas potencialmente restauráveis.

Este documento apresenta os principais resultados desse trabalho, incluindo o método desenvolvido, o processo de validação do modelo e suas aplicações para apoiar o planejamento e a tomada de decisão em iniciativas de restauração em larga escala no Brasil.

21,8 milhões de hectares de vegetação nativa queimados em 2024 no Brasil.

Como o risco de incêndio foi identificado?

CONSTRUÇÃO COLABORATIVA

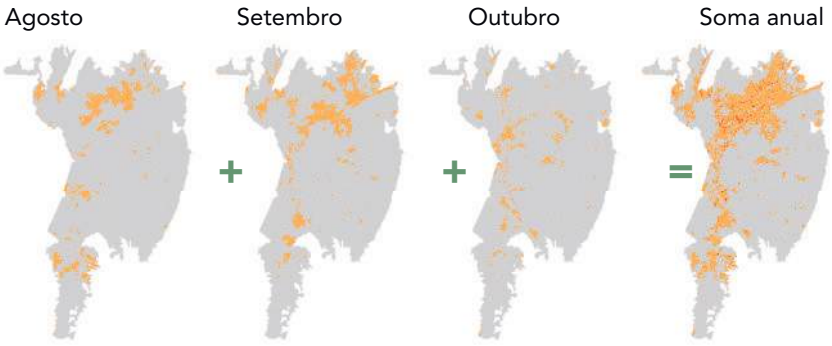
Mais de **50 especialistas em fogo** colaboraram na construção do método para risco de incêndio.

A construção do método para identificar o risco de incêndio contou com especialistas em ecologia do fogo nos diferentes biomas e representantes dos mercados de carbono, florestas plantadas, seguros e instituições financeiras, além de governo, organizações da sociedade civil, brigadas de incêndio e redes colaborativas.

COMO O MODELO FUNCIONA?

O objetivo do modelo é ser capaz de identificar por que algumas áreas queimam com mais frequência do que outras. Para isso, foi analisada uma longa série histórica de áreas queimadas (2002-2025). Essas áreas queimadas foram relacionadas a variáveis explicativas e, a partir dessas relações, foi possível prever quais áreas apresentam maior probabilidade de incêndios, tanto historica quanto futuramente.

ETAPA 1: REPRESENTAÇÃO DA SAZONALIDADE DA QUEIMA



FOCO
auge da estação seca

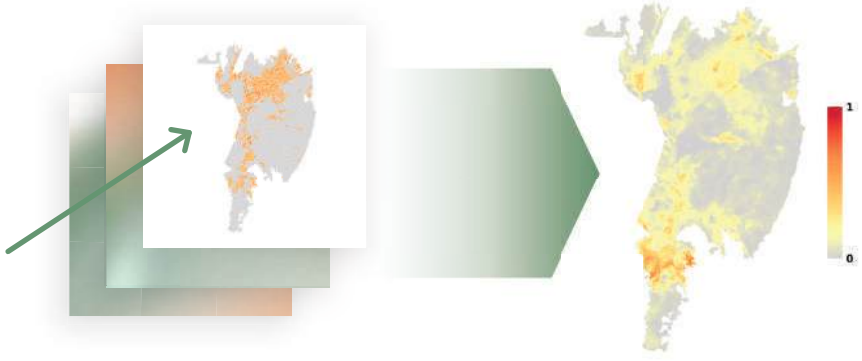
1 **QUEIMOU**
pixel recebe 1

0 **SE NÃO,**
pixel recebe 0

SAÍDA
1 mapa cumulativo/ano

Para o Pantanal, o modelo foca no auge da estação seca (ago-out). Os três mapas mensais são somados para gerar um único mapa anual.

ETAPA 2: ÍNDICE HISTÓRICO DE RECORRÊNCIA



SOBREPOSIÇÃO
soma dos mapas anuais

PESO TEMPORAL
anos mais recentes recebem peso superior a 50%

RESULTADO
índice normalizado de 0 a 1 (1=maior probabilidade)

Todos os mapas anuais são sobrepostos. Registros recentes recebem peso maior, e o resultado é normalizado. Valores próximos a 1 correspondem à maior probabilidade ou recorrência histórica da queima no Pantanal.

Quais informações entram no modelo?

O risco de incêndio é resultado da interação entre **clima, vegetação, relevo e ação humana.**

VARIÁVEIS EXPLICÁVEIS:

São combinadas ao índice histórico de recorrência para compreender o padrão de queima, histórico e futuro, no Brasil.

Pressão Antrópica

A presença humana aumenta as chances de ignições acidentais ou intencionais.

Uso da terra, distância de estradas e cidades, densidade populacional e presença de brigadas de incêndio.

Topografia

O relevo influencia a velocidade e direção do fogo, alterando o seu comportamento.

Declividade e orientação solar das vertentes, fatores que influenciam a propagação do fogo e a umidade.

Vegetação

Atua como combustível para o fogo, e sua quantidade e condição determinam a facilidade de ignição e intensidade do fogo.

Biomassa seca, regeneração secundária e índices de vegetação (NDVI, EVI e SAVI)

Clima

Condições meteorológicas que criam ambiente favorável à ignição e propagação do fogo.

Déficit Hídrico Climático (CWD), temperatura e precipitação, que influenciam a disponibilidade de água e a inflamabilidade da vegetação.

CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (2041 A 2070)

Para projetar o risco futuro, o estudo utilizou o modelo climático global MPI-ESM 1-2-HR em dois cenários socioeconômicos do IPCC:

SSP3-7.0

Trajetória intermediária -alta de emissões de gases de efeito estufa.

SSP5-8.5

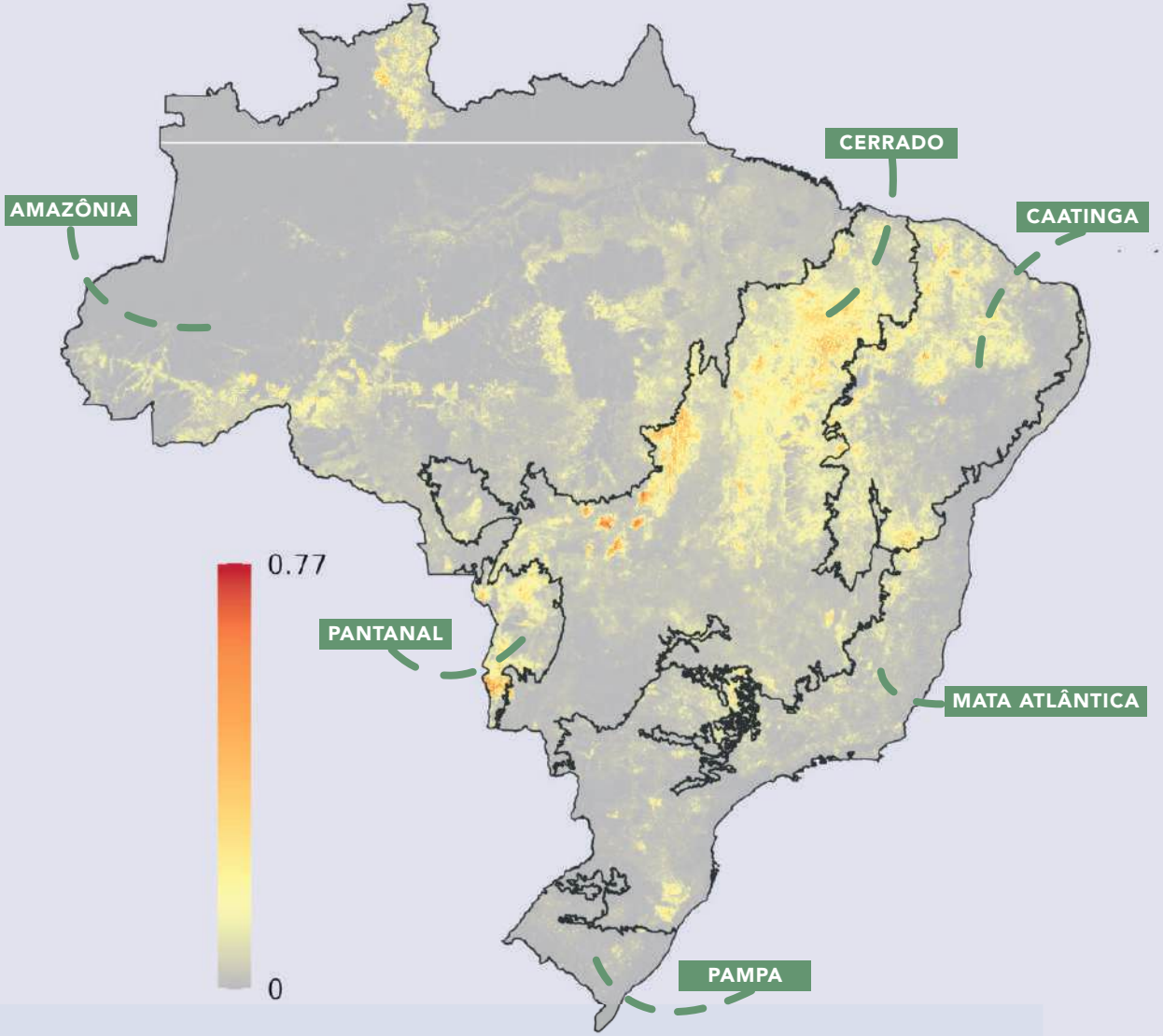
Trajetória de altas emissões.

Decifrando duas décadas de fogo no Brasil

Ao longo dos 23 anos analisados (2002-2025), o déficit hídrico climático e a duração da estação seca estiveram entre os principais fatores associados à recorrência de queimadas nos biomas brasileiros.

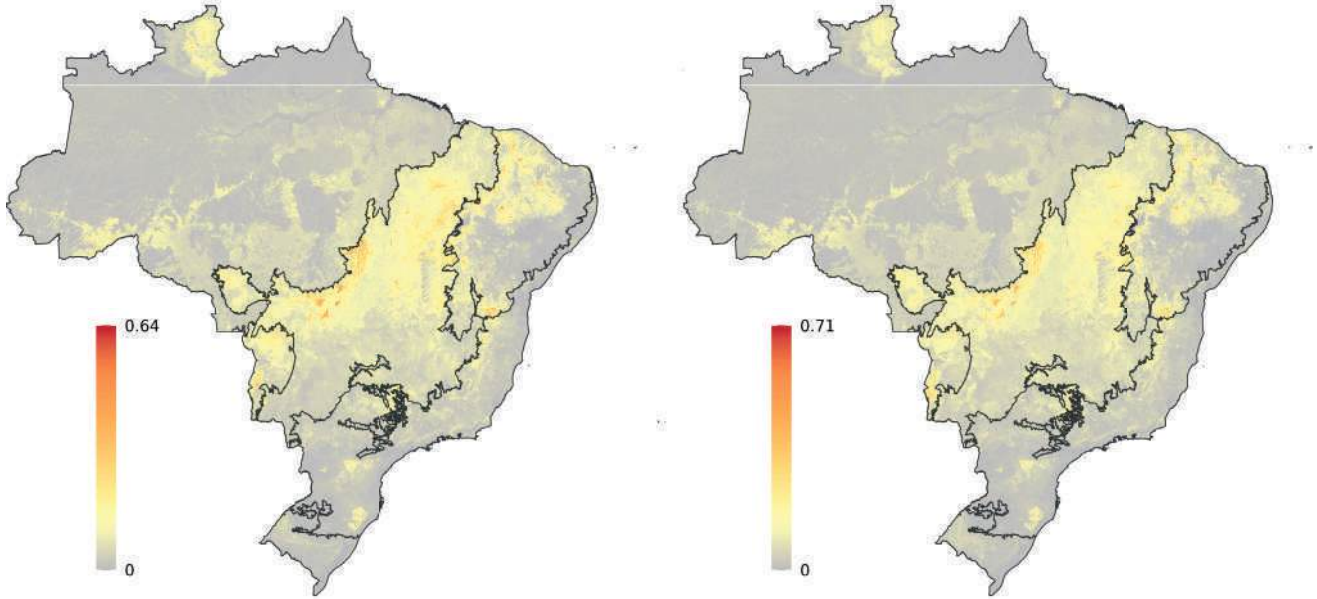
As áreas com maior risco histórico concentram-se no Cerrado central, no Matopiba, no Pantanal e em Roraima (em vermelho/laranja no mapa).

Estes resultados reforçam a importância da disponbilidade hídrica para o risco de incêndio histórico, embora cada bioma apresente combinações específicas de fatores explicativos.



Alerta geral para o futuro

As projeções indicam que o risco de incêndio não deve apenas aumentar, mas também mudar de distribuição geográfica até 2070. Áreas atualmente menos expostas poderão se tornar mais suscetíveis ao fogo, especialmente no sul da Amazônia, próximo ao arco do desmatamento, e em porções centrais do Pantanal e do Cerrado.



À esquerda, cenário futuro SSP3-7.0. À direita, SSP5-8.5. Em vermelho/laranja, localidades que exibem maior risco futuro.

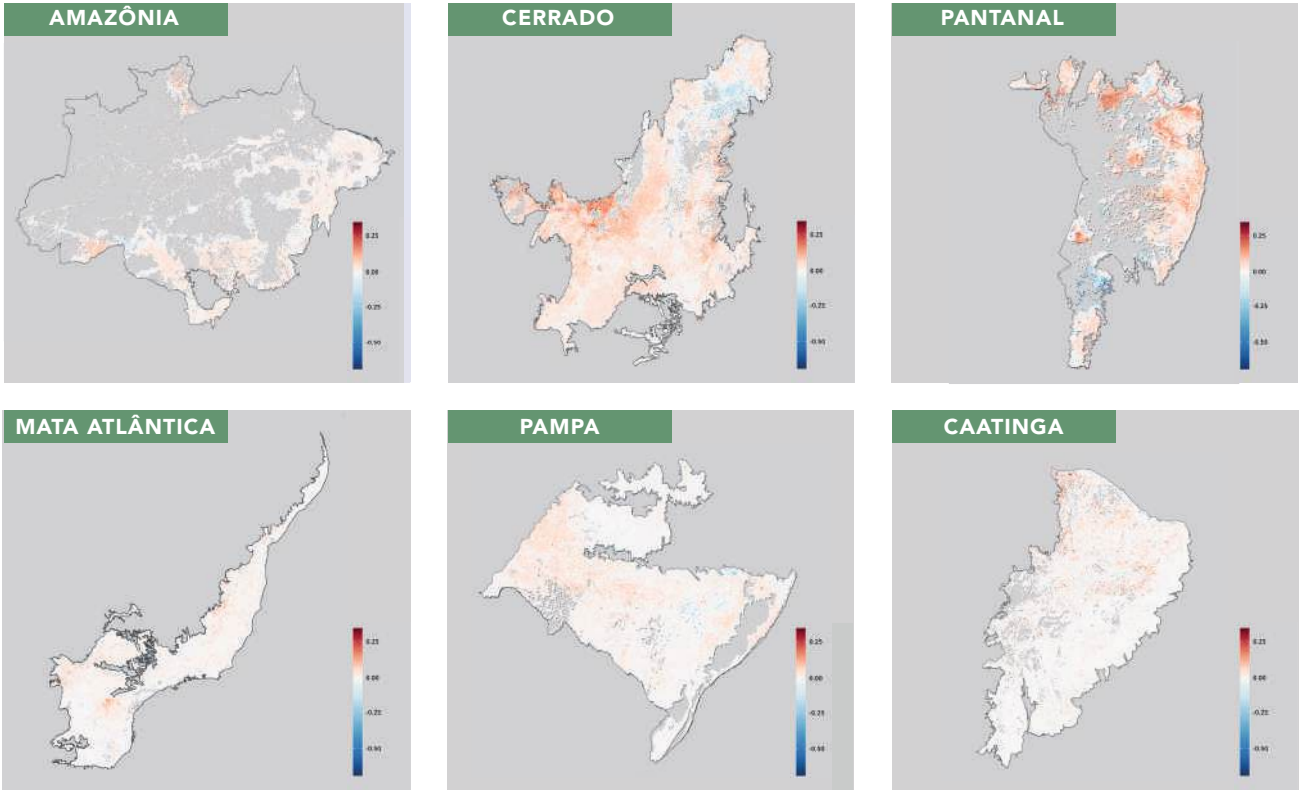
RISCO NÃO SIGNIFICA INVIABILIDADE

Uma área classificada como de alto risco futuro não deve ser automaticamente descartada para investimento. Projetos de restauração e carbono podem alterar a dinâmica econômica e social de territórios historicamente associados ao uso do fogo, estimulando a proteção das áreas e a articulação com brigadas.

Assim, os mapas devem indicar onde serão necessários maiores investimentos em prevenção, engajamento social, governança e educação comunitária. A capacidade de resposta do território, relacionada a fatores como renda, escolaridade e presença de brigadas, também é relevante para reduzir o risco.

Aplicações práticas e recomendações territoriais

O desenvolvimento desta ferramenta atribui inteligência espacial explícita ao planejamento da restauração ambiental no Brasil, permitindo alocar recursos de forma mais estratégica. Um exemplo prático deste potencial é a combinação de áreas restauráveis preconizadas pelo Planaveg (2025-2028) aos mapas de tendência do risco (= risco futuro – risco histórico) para o cenário de altas emissões.



As áreas em cinza representam regiões não restauráveis. Nas áreas restauráveis, os tons de vermelho indicam localidades onde o risco futuro de incêndio é maior do que o risco histórico; os tons de azul indicam localidades onde o risco histórico é maior do que o risco futuro. Já o branco representa localidades sem diferenças significativas entre os riscos histórico e futuro.

AMAZÔNIA E MATA ATLÂNTICA

Priorizar ordenamento territorial, atuação de brigadas e redução da fragmentação florestal. A proteção das bordas ajuda a reduzir a exposição das florestas ao fogo.

CERRADO, PANTANAL E PAMPA

Fortalecer o Manejo Integrado do Fogo (MIF), com brigadas especializadas e participação de povos indígenas e comunidades locais em ações preventivas, incluindo queimas prescritas quando adequadas.

CAATINGA

Direcionar prevenção e planejamento para as condições climáticas e topográficas associadas ao risco, considerando especialmente precipitação, evapotranspiração e elevação.

ZONAS DE TRANSIÇÃO, COMO CERRADO-AMAZÔNIA E MATOPIBA

Priorizar incentivos à restauração em áreas onde o risco tende a crescer, combinando recuperação da vegetação, prevenção de incêndios e proteção das áreas vizinhas.

Ferramentas para outras aplicações práticas

Os resultados também podem ser combinados com outras bases geoespaciais, como o Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR). Para ampliar o acesso e a utilização dos resultados, o projeto disponibilizou duas ferramentas:

Base de dados geoespacial

Disponível no Zenodo, reúne mapas, variáveis e áreas prioritárias para restauração, compatíveis com QGIS e ArcGIS.

Webmapa interativo

Permite visualizar mapas de risco, recorrência histórica do fogo e áreas potencialmente restauráveis.

*Escaneie os **QR Codes** abaixo e acesse:*

BASE DE DADOS

WEBMAPA

OUTROS EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

Concessões florestais (Flonas)

Avaliação do risco ao longo dos 30 anos de concessão.

Plataformas integradas

Incorporação dos resultados a painéis dinâmicos utilizados por empresas e gestores.

Investidores

Redução de incertezas sobre a permanência dos projetos e apoio a análises de risco, monitoramento e mitigação.

Políticas públicas e recomendações

O **aumento da frequência e da intensidade dos incêndios** amplia os riscos para investidores, seguradoras e gestores públicos.

Em alguns casos, o tempo necessário para uma seguradora **recuperar o prejuízo** de um grande incêndio florestal **pode superar 100 anos.**

Estratégias baseadas apenas no histórico de incêndios podem subestimar a exposição futura ao fogo, sobretudo onde as mudanças climáticas tendem a ampliar o déficit hídrico e prolongar a estação seca. Incorporar projeções de longo prazo é fundamental para a permanência de iniciativas de restauração.

A capacidade de prevenção e resposta, no entanto, é desigual. Grandes empreendimentos florestais frequentemente dispõem de estruturas próprias de monitoramento e combate, enquanto pequenos produtores e iniciativas locais enfrentam maiores restrições de recursos, crédito e mecanismos de mitigação de riscos.

Os mapas desenvolvidos no estudo podem apoiar a antecipação de vulnerabilidades, a priorização de recursos e medidas como MIF, fortalecimento de brigadas, monitoramento contínuo e planejamento da paisagem. Com base nos resultados do estudo e nas contribuições obtidas ao longo de oficinas e reuniões, são apresentadas a seguir recomendações para diferentes setores estratégicos.

RECOMENDAÇÕES POR SETOR

Governo

- Incorporar avaliações de risco de incêndio de longo prazo ao planejamento da restauração e da adaptação climática.
- Combinar sistemas de alerta de curto prazo com indicadores estruturais, como recorrência histórica, duração da estação seca e déficit hídrico.
- Priorizar prevenção e monitoramento nas áreas de maior risco futuro.
- Ampliar a capacidade operacional de brigadas locais, especialmente nas novas fronteiras de risco.
- Estruturar e aprimorar o Sistema Nacional de Informações sobre Fogo (Sisfogo), permitindo diferenciar queima prescrito e incêndios.
- Combater o desmatamento no entorno de áreas de restauração, especialmente em florestas úmidas.

Mercado financeiro e de carbono

- Utilizar mapas de risco na alocação de recursos, na precificação de riscos e nas estratégias de mitigação.
- Incorporar o risco de incêndio às análises de viabilidade e permanência de projetos de restauração, carbono e ativos florestais.
- Ampliar o acesso ao financiamento para pequenos proprietários e projetos coletivos em áreas estratégicas para restauração.

Certificadoras

- Valorizar empreendimentos que adotem boas práticas de manejo, monitoramento e preparação para incêndios.
- Incentivar avaliações prospectivas que considerem cenários futuros de mudanças climáticas.
- Integrar gestão do fogo, conservação da biodiversidade e permanência dos estoques de carbono aos padrões de certificação.

Glossário

CWD (*Climatic Water Deficit*):
Déficit Hídrico Climático, indicador da disponibilidade de água no sistema, associado às condições de seca da vegetação.

Incêndio:
Fogo não planejado que se propaga pela vegetação, podendo ser gerado por uma queima descontrolada.

Matopiba:
Importante fronteira agrícola do Brasil, composta por partes dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia.

MIF (Manejo Integrado do Fogo):
Abordagem que combina prevenção, uso planejado do fogo, combate a incêndios e conhecimentos tradicionais.

NDVI, EVI e SAVI:
Índices de vegetação obtidos por sensoriamento remoto que fornecem informações sobre a condição e a qualidade da vegetação. NDVI: *Normalized Difference Vegetation Index*; EVI: *Enhanced Vegetation Index*; SAVI: *Soil Adjusted Vegetation Index*.

QGIS/ArcGIS:
São os dois principais Sistemas de Informação Geográfica (SIG) do mundo. Eles servem para criar, editar, analisar e exibir mapas e dados espaciais.

Queimada:
Uso intencional do fogo na vegetação, geralmente associado ao manejo agropecuário ou à limpeza de áreas.

Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR):
Plataforma eletrônica oficial do governo brasileiro criada para gerenciar, integrar e armazenar os dados do Cadastro Ambiental Rural (CAR) de todos os imóveis rurais do país. Acesso em https://www.car.gov.br/.

Sistema Nacional de Informações sobre Fogo (Sisfogo):
Plataforma oficial do governo brasileiro criada para gerenciar dados sobre incêndios florestais, queimas controladas e queimas prescritas.
Acesso em: https://dadosabertos.ibama.gov.br/dataset/sisfogo-roi.

SSPs (*Shared Socioeconomic Pathways*):
Cenários socioeconômicos utilizados pelo IPCC para representar diferentes trajetórias futuras de emissões de gases de efeito estufa.

Zenodo:
Repositório aberto de propósito geral desenvolvido no âmbito do programa europeu OpenAIRE e operado pelo CERN (*Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*). Acesso em: https://zenodo.org/.

Equipe técnica

Coordenador Técnico
Luiz Gustavo Oliveira (IIS)

Equipe Técnica
Clarice Braúna Mendes (IIS)
Diogo Rocha (IIS)
Erimágna Rodrigues (IIS)
Gabrielle Martins (IIS)
Helena Alves do Prado (IIS)
Katarzyna Korys (IIS)
Renata Capellão (IIS)
Viviane Dib (IIS)

Apoio
Carolina Salcedo

Comunicação
Carolina Mazzi (IIS)

Projeto Gráfico e Diagramação
Julia Venegas Claassen

Agência Executora
Instituto Internacional para Sustentabilidade (IIS)

Diretora Executiva
Agnieszka Latawiec (IIS)

Diretor Executivo de Ciência
Bernardo Strassburg (IIS)

Gestora do projeto
Maiara Mendes (IIS)

Este sumário foi realizado no âmbito do Projeto:

"Modelagem de Risco de Incêndio para Iniciativas de Restauração em Larga Escala no Brasil"

Apoiador Institucional do projeto:
Instituto Clima e Sociedade (iCS)

Citação sugerida:
MENDES, C.B., NASCIMENTO, G.M., RODRIGUES, E.M., MENDES, M., MAZZI, C., ROCHA, D.S.B., OLIVEIRA, L.G.S., CAPELLÃO, R., PRADO, H.A.. KORYS, K., DIB, V. Sumário Executivo para a restauração resiliente ao fogo: Modelagem de risco de incêndios em larga escala no Brasil. Projeto "Modelagem de Risco de Incêndio para Iniciativas de Restauração em Larga Escala no Brasil". Instituto Internacional para Sustentabilidade (IIS): Rio de Janeiro, 2026.