



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba
Campus João Pessoa

Programa de Pós-Graduação em Tecnologia da Informação
Nível Mestrado Profissional

JOSÉ MÁRIO FRAGA MIRANDA

INDIMAP: MONITORAMENTO DE DESMATAMENTO E
QUEIMADAS EM TERRAS INDÍGENAS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

JOÃO PESSOA

2026

JOSÉ MÁRIO FRAGA MIRANDA

**INDIMAP: MONITORAMENTO DE DESMATAMENTO E
QUEIMADAS EM TERRAS INDÍGENAS**

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre em Tecnologia da
Informação, pelo Programa de Pós-Graduação em
Tecnologia da Informação do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - IFPB.

Orientador: Prof. Dr. Diego Ernesto Rosa Pessoa

João Pessoa

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Nilo Peçanha - *campus* João Pessoa, PB.

M672i Miranda, José Mário Fraga.

INDIMAP : monitoramento de desmatamento e
queimadas em terras indígenas / José Mário Fraga Miranda. –
2026.

127 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Informação) –
Instituto Federal de Educação da Paraíba / Programa de
Pós-Graduação Tecnologia da Informação (PPGTI), 2026.

Orientação: Prof. Dr. Diego Ernesto Rosa Pessoa.

1. Terras indígenas brasileiras. 2. Desmatamento. 3.
Queimadas. 4. Monitoramento ambiental. 5. *Design science
research*. I. Título.

CDU 551.435.13(=87)(043)

JOSÉ MÁRIO FRAGA MIRANDA

INDIMAP: MONITORAMENTO DE DESMATAMENTO E QUEIMADAS EM TERRAS INDÍGENAS

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Tecnologia da Informação, pelo Programa de Pós-Graduação em Tecnologia da Informação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - IFPB.

Aprovado em 23 de Abril de 2026.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Diego Ernesto Rosa Pessoa
IFPB PPGTI

Dr. Francisco Dantas Nobre Neto
IFPB PPGTI

Dra. Elisiane Alba
UFRPE

João Pessoa

*Este trabalho é dedicado aos povos indígenas
brasileiros, guardiões ancestrais da nossa terra, e a
todos que, com coragem e determinação, lutam
diariamente pela preservação do meio ambiente.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço profundamente à minha esposa, Ana Rita, e aos meus filhos, Geovana, José Mário e Mariana, pelo amor, paciência e encorajamento ao longo desta caminhada. Vocês foram minha força motriz e o incentivo que me impulsionou a seguir em frente.

À minha mãe, Dona Graça, e ao meu pai, Seu Zezito, que, mesmo não estando mais fisicamente entre nós, continuam sendo uma das maiores inspirações da minha vida. Suas memórias sempre me motivarão a alcançar novas conquistas.

Às minhas queridas tias, Jussara e Carla, por todo o apoio incondicional que me proporcionaram, especialmente por terem contribuído de forma tão importante para que eu tivesse acesso a uma educação de qualidade. Seus cuidados e incentivo foram fundamentais na minha formação.

Minha gratidão se estende aos professores do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia da Informação do Instituto Federal da Paraíba (IFPB), com destaque especial ao meu orientador, Prof. Dr. Diego Ernesto Rosa Pessoa, cuja orientação, disponibilidade e apoio foram essenciais para a realização deste trabalho.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para esta conquista, expresso meu mais profundo agradecimento.

RESUMO

O Brasil, por abrigar uma das maiores extensões florestais do mundo, enfrenta desafios significativos relacionados à degradação ambiental, com impactos especialmente sensíveis em Terras Indígenas. Este trabalho investiga em que medida uma plataforma centralizada pode melhorar o acesso e a disseminação de alertas de desmatamento e queimadas nessas áreas, em comparação ao uso isolado das plataformas de origem. Para isso, adotou-se a metodologia Design Science Research (DSR), estruturada nas etapas de identificação do problema, definição dos objetivos da solução, design e desenvolvimento do artefato, demonstração, avaliação e comunicação. Na etapa de diagnóstico, utilizou-se um formulário com grupo focal para identificar necessidades de monitoramento, prioridades de uso e requisitos de acesso e disseminação. Com base nesses achados, foi concebido o IndiMap, plataforma que integra e organiza dados públicos de focos de calor e alertas de desmatamento provenientes de fontes como BDQueimadas/INPE, DETER/TerraBrasilis e MapBiomas Alerta. A avaliação do artefato foi realizada por dois eixos complementares: evidências técnicas, incluindo testes funcionais, contratuais e de desempenho da API, e evidências empíricas obtidas com 15 participantes de perfis complementares, entre comunidades indígenas, técnicos e agentes institucionais. Os resultados indicam percepção positiva quanto à clareza das informações, à facilidade de uso e à relevância prática dos alertas, além de comportamento consistente da API nos testes realizados. Observou-se também que a combinação entre plataforma web e canais de disseminação social tende a ampliar as possibilidades de acesso e circulação das informações. Como limitações, destacam-se o tamanho reduzido da amostra de avaliação e as diferenças metodológicas e operacionais entre as bases integradas. Conclui-se que o IndiMap apresenta evidências de utilidade como solução de centralização e disseminação de alertas ambientais em Terras Indígenas, ao mesmo tempo em que aponta direções concretas para seu aprimoramento.

Palavras-chave: Terras Indígenas; desmatamento; queimadas; monitoramento ambiental; Design Science Research; dados abertos.

ABSTRACT

Brazil, as home to one of the largest forest areas in the world, faces significant challenges related to environmental degradation, with particularly sensitive impacts on Indigenous Lands. This study investigates to what extent a centralized platform can improve access to and dissemination of deforestation and wildfire alerts in these areas when compared to the isolated use of source platforms. To address this question, the Design Science Research (DSR) methodology was adopted, structured into the stages of problem identification, definition of solution objectives, artifact design and development, demonstration, evaluation, and communication. In the diagnostic stage, a form applied to a focus group was used to identify monitoring needs, usage priorities, and requirements for access and dissemination. Based on these findings, IndiMap was developed as a platform that integrates and organizes public data on fire hotspots and deforestation alerts from sources such as BDQueimadas/INPE, DETER/TerraBrasilis, and MapBiomas Alerta. The artifact was evaluated through two complementary axes: technical evidence, including functional, contractual, and performance tests of the API, and empirical evidence obtained from 15 participants with complementary profiles, including Indigenous community members, technicians, and institutional agents. The results indicate a positive perception regarding clarity of information, ease of use, and practical relevance of the alerts, as well as consistent API behavior in the tests performed. It was also observed that the combination of a web platform and social dissemination channels tends to expand the possibilities for access to and circulation of information. As limitations, the study highlights the small size of the evaluation sample and the methodological and operational differences among the integrated data sources. It is concluded that IndiMap presents evidence of usefulness as a solution for centralizing and disseminating environmental alerts in Indigenous Lands, while also pointing to concrete directions for its improvement.

Keywords: Indigenous Lands; deforestation; wildfires; environmental monitoring; Design Science Research; open data.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Visão geral do método proposto para a classificação	31
Figura 2 - Fluxograma da metodologia de geração de polígonos de desmatamento utilizando U-Net e modelo de crescimento logístico.	33
Figura 3 - Fases do DSR	37
Figura 4 - Vigilância de Incêndios e Desmatamentos em Territórios Indígenas	39
Figura 5 - Conhecimento das Ferramentas de Monitoramento Ambiental	41
Figura 6 - Eficácia das atuais ferramentas de monitoramento ambiental, em especial, nos Territórios Indígenas	43
Figura 7 - Importância do Acesso Direto às Informações Ambientais pelas Comunidades Indígenas	44
Figura 8 - Potencialidade do Uso de Redes Sociais para Ampliar o Alcance das Informações Ambientais	45
Figura 9 - Utilização das Informações para Promover a Conscientização Ambiental	47
Figura 10 - Disseminação de Alertas e Notificações para Mitigar Danos Ambientais	48
Figura 11 - Funcionalidades Essenciais para um Sistema de Monitoramento Ambiental	49
Figura 12 - Principais Ilícitos Ambientais nas Terras Indígenas Brasileiras	51
Figura 13 - Arquitetura do IndiMap	60
Figura 14 - Exemplo de postagem no X	71
Figura 15 - Postagem de Alerta de focos de calor no Instagram	72
Figura 16 - Captura de quadros de um vídeo de alerta de desmatamento	73
Figura 17 - Interface Principal (https://www.indimap.org)	74
Figura 18 - Tela de Detalhamento de Alerta de Desmatamento	75
Figura 19 - Tela de Detalhamento de Focos de Incêndios em Terra Indígena	76
Figura 20 - Agrupamento dos focos de calor nas Terras Indígenas Brasileiras por mês e ano	79
Figura 21 - Total dos alertas MapBiomas e Deter por mês	80
Figura 22 - Distribuição por área de atuação dos respondentes	83
Figura 23 - Experiência prévia com ferramentas de monitoramento	84
Figura 24 - Facilidade de uso da plataforma	85
Figura 25 - Clareza e compreensibilidade das informações	86
Figura 26 - Desempenho (tempo de resposta) da plataforma	87
Figura 27 - Utilização dos filtros de data	88
Figura 28 - Relevância dos alertas de focos de calor e desmatamento	89
Figura 29 - Relevância dos dados históricos	90
Figura 30 - Comprovação de Alertas	91

Figura 31 - Percepção sobre utilidade de publicar alertas em redes sociais	92
Figura 32 - Canal preferido de acesso aos alertas	93
Figura 33 - Percepção de contribuição do IndiMap	94
Figura 34 - Avaliação geral da plataforma	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre trabalhos relacionados e o IndiMap	36
Tabela 2 - Descrição dos campos retornados pela IndiMap Open Data API	65
Tabela 3 - Tecnologias e versões utilizadas no desenvolvimento da plataforma IndiMap	76
Tabela 4 - Indicadores complementares de disseminação da plataforma IndiMap no período de abr. 2023 a mar. 2026.	81

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Sigla	Descrição
API	Interface de Programação de Aplicações (Application Programming Interface)
CAR	Cadastro Ambiental Rural
CE	Critérios de Exclusão
CI	Critérios de Inclusão
DETER	Deteção do Desmatamento em Tempo Real
DSR	Design Science Research
DSRM	Metodologia de Pesquisa em Design (Design Science Research Methodology)
DWBP	Data on the Web Best Practices
ETL	Extração, Transformação e Carga (Extract, Transform, Load)
FIRMS	Fire Information for Resource Management System
FUNAI	Fundação Nacional dos Povos Indígenas
GIS	Geographic Information System
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFPB	Instituto Federal da Paraíba
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
JSON	JavaScript Object Notation
k6	Ferramenta k6 (teste de carga)
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NGINX	NGINX (servidor web/proxy reverso)
OLI	Operational Land Imager
OpenAPI	Especificação OpenAPI

PostGIS	Extensão espacial do PostgreSQL
PostgreSQL	PostgreSQL (SGBD relacional)
PRODES	Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia
REST	Representational State Transfer
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SOL	SBC OpenLib
TI	Terra Indígena
TIs	Terras Indígenas
URL	Uniform Resource Locator
USGS	United States Geological Survey (Serviço Geológico dos Estados Unidos)
VIIRS	Visible Infrared Imaging Radiometer Suite
W3C	World Wide Web Consortium

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	Motivação e Definição do Problema	16
1.2	Questão de Pesquisa	18
1.3	Objetivos.....	18
1.3.1	Objetivo Geral.....	18
1.3.2	Objetivos específicos	18
1.4	Estrutura do Documento	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
2.1	Design Science Research	20
2.2	Terras Indígenas brasileiras	22
2.3	Formas de detecção de desmatamento / focos de calor	23
2.4	Plataformas de Monitoramento Existentes	24
2.4.1	BDQueimadas (INPE)	25
2.4.2	NASA FIRMS (Fire Information for Resource Management System)	25
2.4.3	TerraBrasilis (DETER - Avisos de Desmatamento).....	25
2.4.4	MapBiomass Alerta	26
2.4.5	Síntese e implicações para o IndiMap	27
2.5	Trabalhos Relacionados.....	28
2.5.1	Método para a classificação de áreas Queimadas Baseado em Aprendizado de Máquina	30
2.5.2	Towards the automatic monitoring of deforestation in Brazilian Rainforest ...	31
2.5.3	Dados e Informações Geospaciais para Análise Territorial e Ambiental na Amazônia Legal no Brasil	34
2.5.4	Infraestruturas de Dados Espaciais na Integração entre Ciência e Comunidades para Promover a Sustentabilidade Ambiental.....	34
2.5.5	Comparação entre os trabalhos relacionados e o projeto IndiMap	35
3	METODOLOGIA.....	37
3.1	Identificação e Motivação do Problema	38
3.1.1	Análise das Respostas	39
3.1.2	Conclusão Geral da análise de respostas do formulário	52
3.2	Definição de Objetivos para uma Solução.....	52
3.3	Design e Desenvolvimento	54
3.4	Demonstração	55
3.5	Avaliação	56
3.5.1	Métricas e critérios utilizados	57
3.5.2	Resultados da avaliação	57

3.6 Comunicação	58
4 A FERRAMENTA INDIMAP	60
4.1 Arquitetura	60
4.1.1 Data Layer.....	60
4.1.2 ETL Extract.....	61
4.1.3 ETL Processor.....	61
4.1.4 Internal API.....	62
4.1.5 User Presentation Layer	62
4.2 Aplicabilidade	63
4.3 Integração de Dados	63
4.3.1 Dicionário de Dados	64
4.3.2 API de Dados Abertos (visão geral)	64
4.3.3 Endpoints principais e parâmetros	64
4.3.4 Formato de resposta e descrição dos campos	65
4.3.5 Autenticação e limites.....	66
4.3.6 Conformidade com as DWBP (W3C).....	67
4.3.7 Exemplos de uso	67
4.3.8 Testes e validação	68
4.4 Módulo de Processamento	69
4.5 Integração com as Redes Sociais	70
4.6 Geração de alerta de focos de incêndios.....	71
4.7 Geração de alerta de Desmatamento, degradação e mineração	72
4.8 Plataforma Web	73
4.9 Tecnologias Utilizadas.....	76
4.9.1 Frontend	77
4.9.2 Backend.....	78
4.9.3 ETLs (Extract, Transform, Load)	78
4.9.4 Banco de Dados	78
5 RESULTADOS OBTIDOS	79
5.1 Focos de Calor	79
5.2 Alertas de Desmatamento	80
5.3 Indicadores complementares de disseminação	81
5.4 Avaliação da Ferramenta IndiMap	82
5.4.1 Perfil dos Respondentes	82
5.4.2 Usabilidade da Plataforma	85
5.4.3 Relevância e Aplicabilidade	88
5.4.4 Disseminação e Engajamento Social	91
5.4.5 Avaliação Geral e Sugestões Futuras.....	95
5.4.6 Análise e discussão da avaliação do IndiMap.....	97
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	100
6.1 Propostas para Continuação da Pesquisa	101

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102
APÊNDICES	107
APÊNDICE A - Formulário SOBRE Percepção e Eficácia das Ferramentas de Monitoramento Ambiental em Territórios Indígenas	108
APÊNDICE B - Avaliação da Ferramenta IndiMap para Monitoramento Ambiental em Territórios Indígenas.....	113
APÊNDICE C - Dicionário de Dados das Principais Tabelas da Plataforma Indimap	116
APÊNDICE D - Especificação Técnica e Documentação da Indimap Open Data API	120
D.1 Introdução	120
D.2 Metodologia de Desenvolvimento	120
D.3 Endpoints e Parâmetros	120
D.4 Estrutura das Respostas	120
D.5 Exemplos Reais de Uso	121
D.6 Testes e Validação	122
D.7 Boas Práticas e Limitações	122
APÊNDICE E - Evidências de Validação Contratual da IndiMap Open Data API com Schemathesis.....	123
E.1 Objetivo.....	123
E.2 Procedimento e artefatos de evidência	123
E.3 Resultados consolidados por rodada	123
E.4 Resultados consolidados por endpoint	124
E.5 Interpretação dos resultados	124
APÊNDICE F - Evidências dos testes de desempenho (k6).....	125
F.1 Objetivo	125
F.2 Procedimento e artefatos de evidência	125
F.3 Resultados consolidados por rodada	125
F.4 Consolidação geral (3 rodadas)	126
F.5 Resultados dos checks (validações funcionais durante o teste).....	126
F.6 Interpretação dos resultados	126
APÊNDICE G - Evidência complementar de visitas à plataforma web	127

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, é apresentada uma visão abrangente do tema do trabalho, juntamente com a motivação para a definição do problema. Também são delineados os objetivos gerais e específicos, além de uma descrição detalhada da estrutura do documento.

1.1 Motivação e Definição do Problema

O Brasil destaca-se como um país com uma das maiores extensões florestais do mundo, em razão da biodiversidade presente em seus diferentes biomas. Esses recursos naturais desempenham papel fundamental na manutenção do equilíbrio ambiental, contribuindo para a regulação do clima, a absorção de gás carbônico, a produção de oxigênio e a conservação de serviços ecossistêmicos essenciais. Nesse contexto, o monitoramento ambiental torna-se uma atividade estratégica para acompanhar alterações na cobertura vegetal, identificar focos de calor, detectar indícios de desmatamento e apoiar ações de prevenção, fiscalização e preservação.

Atualmente, existem no Brasil iniciativas consolidadas voltadas ao monitoramento de queimadas e desmatamento. O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), por meio do Programa Queimadas, disponibiliza informações sobre focos de calor detectados por satélites. O INPE também opera o Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real (DETER), disponibilizado na plataforma TerraBrasilis, que identifica áreas de desmatamento, mineração e degradação por meio de imagens de satélite (INPE, 2024). As informações do DETER são organizadas em grandes recortes territoriais, como Amazônia Legal e Cerrado, que, conforme descrito na plataforma TerraBrasilis (INPE, 2024), quando somadas suas extensões, ocupam parcela expressiva do território nacional. Outro sistema relevante é o MapBiomas Alerta, que, por meio da colaboração de diferentes instituições e especialistas, emite alertas a partir da análise de mudanças no uso e cobertura do solo em todo o território nacional (MAPBIOMAS, 2024).

Embora essas iniciativas sejam fundamentais para o monitoramento ambiental, seus dados são disponibilizados por meio de plataformas próprias, com diferentes interfaces, formatos, critérios de consulta e formas de acesso. Essa fragmentação dificulta a consulta integrada das informações e limita a leitura rápida dos alertas quando se deseja observar recortes territoriais específicos. Assim, o problema identificado nesta pesquisa está relacionado à ausência de uma camada centralizada, acessível e orientada a um recorte territorial definido, capaz de reunir, organizar e disseminar alertas ambientais provenientes de diferentes bases oficiais.

Essa lacuna torna-se especialmente relevante quando se considera o contexto das Terras Indígenas brasileiras. Segundo a FUNAI (2024), o território brasileiro possui 782 Terras Indígenas (TIs), correspondendo a aproximadamente 13,8% de sua extensão. Esses territórios

exercem papel essencial na conservação ambiental, na proteção da biodiversidade e na manutenção dos modos de vida dos povos indígenas. Adicionalmente, de acordo com Alencar et al. (2022), houve aumento médio de 153% do desmatamento na Amazônia entre os anos de 2019 e 2021. Embora esse percentual se refira à região amazônica como um todo, o dado reforça o cenário de intensificação da degradação ambiental no bioma, contexto que torna ainda mais relevante o desenvolvimento de meios administrativos e técnicos voltados ao monitoramento e à preservação ambiental em Terras Indígenas.

A motivação desta pesquisa decorre, portanto, da necessidade de ampliar a transparência, facilitar a leitura e fortalecer a disseminação de informações ambientais relacionadas ao desmatamento e às queimadas em Terras Indígenas brasileiras. Embora existam plataformas oficiais e iniciativas consolidadas de monitoramento ambiental, os dados encontram-se distribuídos em diferentes sistemas, o que pode dificultar o acesso integrado por comunidades indígenas, órgãos públicos, pesquisadores e demais interessados. Nesse contexto, esta pesquisa parte da premissa de que uma plataforma centralizada, orientada especificamente às Terras Indígenas, pode contribuir para tornar esses alertas mais acessíveis, compreensíveis e reutilizáveis.

Para suprir essa lacuna, foi concebida, projetada e avaliada, como parte deste trabalho, a ferramenta IndiMap, disponível em <https://indimap.org>, juntamente com sua API pública de dados abertos, disponível em <https://data.indimap.org/docs>. A plataforma visa fornecer uma solução integrada para o monitoramento de desmatamento e queimadas em Terras Indígenas brasileiras, reunindo dados geoespaciais de diferentes fontes, incluindo as bases de queimadas do INPE, os alertas de desmatamento e mineração do DETER e os dados da plataforma MapBiomas Alerta. Além de organizar essas informações em uma plataforma web interativa e em uma API pública, o IndiMap também apoia a disseminação de alertas por canais digitais, buscando favorecer a conscientização, o engajamento social e o acesso mais amplo às informações ambientais.

O IndiMap foi desenvolvido com base na metodologia Design Science Research (DSR), conforme descrito por Hevner et al. (2004). Essa abordagem é adequada para a concepção, o desenvolvimento e a avaliação de artefatos tecnológicos voltados à resolução de problemas práticos. A DSR proporciona um processo iterativo de desenvolvimento e avaliação, envolvendo a identificação do problema, a definição dos objetivos da solução, o design e desenvolvimento do artefato, a demonstração, a avaliação e a comunicação dos resultados (DRESCH et al., 2015). No contexto deste trabalho, a DSR é utilizada tanto no desenvolvimento quanto na validação e avaliação da contribuição do IndiMap para ampliar o acesso, a compreensão e a disseminação de alertas ambientais em Terras Indígenas brasileiras.

1.2 Questão de Pesquisa

Em que medida uma plataforma centralizada melhora o acesso e a disseminação de alertas de desmatamento e queimadas em Terras Indígenas, quando comparada ao uso isolado das plataformas de origem?

Para fins deste trabalho, a eficácia da plataforma é compreendida como sua capacidade de centralizar, processar e disponibilizar informações sobre alertas de desmatamento e queimadas em Terras Indígenas de forma tecnicamente funcional e útil aos usuários. Essa avaliação é realizada a partir de dois eixos complementares. O primeiro eixo considera indicadores técnicos e quantitativos, como a quantidade de fontes integradas, a automação dos fluxos de coleta e processamento, a disponibilização dos dados em módulo web e API, o volume de alertas processados e publicados e o desempenho da API em testes funcionais e de carga. O segundo eixo considera indicadores empíricos obtidos por meio de questionário de avaliação com usuários, abrangendo utilidade percebida, clareza das informações, facilidade de uso, satisfação geral e percepção de valor da plataforma para o monitoramento ambiental em Terras Indígenas.

1.3 Objetivos

Nesta seção são dispostos o objetivo geral deste trabalho, assim como seus objetivos específicos.

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver, validar e avaliar a eficácia de uma plataforma web centralizada para monitoramento de desmatamento e queimadas em Terras Indígenas brasileiras, verificando sua capacidade de favorecer a percepção, o acesso e a disseminação das informações sobre ilícitos ambientais.

1.3.2 Objetivos específicos

- Integrar dados do BDQueimadas/INPE, DETER/TerraBrasilis — Amazônia Legal e Cerrado — e MapBiomas Alerta para organizar alertas ambientais em Terras Indígenas brasileiras.
- Desenvolver um sistema de processamento de dados para gerar alertas e notificações sobre eventos relevantes de desmatamento.
- Avaliar a eficácia de uma plataforma web interativa na visualização e no compartilhamento de alertas de desmatamento e queimadas em Terras Indígenas.
- Analisar o impacto da disseminação de alertas ambientais em redes sociais no engajamento da sociedade civil e na ampliação da percepção sobre desmatamento e queimadas em Terras Indígenas.

1.4 Estrutura do Documento

A estrutura subsequente deste trabalho está organizada da seguinte maneira:

O Capítulo 2 aborda a fundamentação teórica, apresentando os principais conceitos relacionados ao trabalho. Além disso, realiza uma revisão bibliográfica e descreve trabalhos relacionados à pesquisa em questão.

O Capítulo 3 expõe a metodologia utilizada neste estudo, detalhando sua aplicação na construção da solução proposta.

O Capítulo 4 apresenta a solução desenvolvida, descrevendo sua arquitetura, os módulos que a compõem, as tecnologias empregadas e os fluxos de processamento utilizados pela plataforma.

O Capítulo 5 apresenta e discute os resultados obtidos, incluindo a avaliação da eficácia da plataforma, as percepções dos usuários e as análises realizadas a partir dos dados processados.

Por fim, o **Capítulo 6** reúne as considerações finais, destacando as contribuições do trabalho, suas limitações e sugestões para pesquisas futuras.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, são abordados os principais conceitos teóricos que fundamentam este trabalho. São discutidos a metodologia *Design Science Research* (DSR), a importância das Terras Indígenas brasileiras na conservação ambiental, as técnicas de detecção de desmatamento e focos de calor, as melhores práticas para publicação de dados na Web e alguns trabalhos relacionados. Esses tópicos fornecem o embasamento necessário para a compreensão do contexto e das ferramentas utilizadas na concepção do IndiMap, bem como as bases teóricas que sustentam a pesquisa.

2.1 Design Science Research

Design Science Research (DSR) é uma metodologia de pesquisa que se concentra na criação e avaliação de artefatos destinados a resolver problemas práticos (DRESCH et al., 2015). Diferente das ciências naturais, que buscam entender e explicar fenômenos, a DSR é orientada para a resolução de problemas e à inovação. A ideia de "ciência do design" foi primeiramente proposta por Herbert Simon em 1969, destacando a diferença entre a ciência natural e a ciência do design. Simon argumentou que, enquanto as ciências naturais explicam como o mundo é, a ciência do design busca criar artefatos que mudem o mundo de uma maneira desejada (Simon, 1969).

Dresch et al. (2015) destacam que o objetivo da DSR é projetar e produzir algo que ainda não existe, ou modificar soluções existentes para alcançar melhores resultados. A pesquisa em ciência do design é definida como "pesquisa que inventa um novo artefato com propósito para abordar um tipo generalizado de problema e avaliar sua utilidade para resolver problemas desse tipo" (Venable & Baskerville, 2012, p. 142). Esta abordagem é aplicável em diversos contextos disciplinares e tem sido extensivamente desenvolvida em estudos de gestão e pesquisa de sistemas de informação (Venable, 2010).

Os artefatos desenvolvidos podem ser modelos, métodos, instâncias e construções, cada um contribuindo para a prática e teoria ao proporcionar soluções inovadoras para problemas práticos. Johannesson e Perjons (2014) destacam que os artefatos podem ser objetos físicos, produtos, serviços, métodos, diretrizes ou processos, criados com a intenção de resolver problemas específicos.

O processo de DSR é iterativo e sistemático, envolvendo a observação empática, a compreensão das necessidades dos usuários e o desenvolvimento de abordagens inovadoras para atender a essas necessidades (Schallmo et al., 2018). Esse processo é frequentemente visualizado como um ciclo que começa com a investigação do problema, segue com o desenvolvimento da solução, validação do design, implementação e avaliação da implementação (Wieringa, 2009).

A avaliação é um componente crítico na DSR, pois a utilidade, qualidade e eficácia dos artefatos devem ser rigorosamente demonstradas por meio de métodos de avaliação bem executados (Hevner et al., 2004). A metodologia de pesquisa em design enfatiza tanto a construção quanto a avaliação dos artefatos de design, garantindo que as soluções desenvolvidas sejam não apenas inovadoras, mas também eficazes e aplicáveis em contextos práticos.

A DSR proporciona contribuições significativas tanto para o conhecimento teórico quanto para a prática. A abordagem permite a integração de teorias científicas na criação de soluções práticas, pois parte da compreensão da realidade existente, isto é, dos problemas, limitações e necessidades observadas, para projetar uma situação desejada, materializada em um artefato capaz de melhorar esse contexto (Hevner & Chatterjee, 2010). Assim, a DSR auxilia os pesquisadores na geração de conhecimento durante o processo de concepção, desenvolvimento e avaliação de artefatos.

De acordo com Peffers et al. (2007), a metodologia de pesquisa em design (DSRM) destaca a importância da relevância do problema, a contribuição da pesquisa e o rigor metodológico. A DSR é aplicada na criação de sistemas, aplicações e métodos que potencialmente contribuem para a eficácia dos sistemas de informação nas organizações.

Peffers et al. (2007), ainda descrevem as fases do DSR da seguinte maneira:

- Identificação do Problema e Motivação: esta fase envolve a definição clara do problema a ser resolvido e a motivação para sua resolução. É essencial entender a relevância do problema e os objetivos da pesquisa.
- Definição dos Objetivos da Solução: baseando-se no problema identificado, são definidos os objetivos que a solução deve alcançar. Esta fase ajuda a direcionar o desenvolvimento do artefato.
- Design e Desenvolvimento: nesta fase, o artefato é projetado e desenvolvido. Isso inclui a criação de modelos, métodos ou instâncias que possam resolver o problema identificado.
- Demonstração: o artefato desenvolvido é demonstrado em um contexto prático para mostrar sua eficácia. Esta fase pode envolver protótipos, simulações ou estudos de caso.
- Avaliação: a eficácia do artefato é rigorosamente avaliada. A avaliação pode incluir métodos qualitativos e quantitativos para assegurar que o artefato atende aos objetivos definidos.
- Comunicação: os resultados da pesquisa e o conhecimento adquirido são comunicados para a comunidade acadêmica e outros stakeholders. Esta fase é crucial para a disseminação das descobertas e contribuições da pesquisa.

2.2 Terras Indígenas brasileiras

Os povos indígenas desempenham um papel muito importante na conservação das florestas, como evidenciado por Walker et al. (2020). O equilíbrio criado pelo uso tradicional dos recursos naturais e a proteção, seja ativa ou inata, dos territórios indígenas, permite que a paisagem se transforme minimamente, mantendo os serviços ecossistêmicos. Em regiões como a Bacia Amazônica, os povos indígenas e comunidades locais têm atuado como os guardiões de fato do maior trecho remanescente de floresta tropical no planeta.

Para garantir que esses territórios continuem a desempenhar seu papel como habitat dos povos indígenas na Amazônia, essenciais como fronteiras contra o desmatamento e os incêndios (WALKER et al., 2020), é imperativo que sejam tomadas medidas eficazes para prevenir invasões, assim como desmatamentos, queimadas e garimpos nestas áreas protegidas. Segundo Silveira et al. (2019), a integridade das terras indígenas é vital não apenas para a preservação das culturas e modos de vida dos povos indígenas, mas também para a manutenção da biodiversidade e do equilíbrio climático global.

Segundo a FUNAI (2024), as Terras Indígenas no Brasil abrangem aproximadamente 13,82% do território nacional, distribuídas em 782 áreas que estão em diferentes etapas do processo de demarcação. Estas terras são classificadas e possuem status conforme descrito a seguir:

- Terras homologadas, reservadas, declaradas e regularizadas: O Brasil possui 571 terras que foram homologadas pela Presidência da República, adquiridas pela União ou doadas por terceiros.
- Terras em Identificação: Atualmente, há 145 terras em processo de estudo conduzido por grupos de trabalho nomeados pela FUNAI, incluindo 6 terras interditadas para proteção de grupos indígenas em isolamento voluntário.
- Reservas indígenas: Somam um total de 60 áreas, sendo 37 regularizadas e 23 encaminhadas para regularização.

Essas áreas somam mais de 117 milhões de hectares, a maioria localizada na Amazônia Legal, onde a presença indígena é crucial para a conservação da floresta. Esses territórios são habitados por cerca de 305 diferentes etnias, que falam 274 línguas distintas (IBGE, 2010). A diversidade cultural e linguística dos povos indígenas do Brasil é uma das maiores do mundo, destacando a importância de proteger esses territórios não apenas pela sua relevância ambiental, mas também pelo seu valor cultural e social.

Fellows et al. (2021) destacam que o Cadastro Ambiental Rural (CAR), um sistema auto declaratório de propriedades rurais, constitui um indicador categórico de pressão sobre as terras indígenas na Amazônia. Durante o período de 2016 a 2020, houve um alarmante aumento de 55% na área registrada irregularmente dentro dessas terras. Este aumento significou que a área

declarada como propriedade particular nas terras indígenas saltou de aproximadamente 2,3 milhões de hectares para 3,57 milhões de hectares em apenas cinco anos.

A pressão sobre as Terras Indígenas é exacerbada pela ausência de fiscalização eficaz e pela falta de demarcação completa desses territórios. De acordo com Ferreira et al. (2018), a falta de demarcação definitiva e a insegurança jurídica resultante são fatores que contribuem significativamente para a vulnerabilidade dessas áreas a invasões e degradação ambiental. Além disso, o enfraquecimento das políticas de proteção ambiental e a redução de recursos destinados à fiscalização intensificam ainda mais os desafios enfrentados pelos povos indígenas.

2.3 Formas de detecção de desmatamento / focos de calor

A detecção de desmatamento e focos de calor é essencial para a conservação das florestas e a prevenção de incêndios. Diversas técnicas e tecnologias têm sido desenvolvidas e aprimoradas para monitorar e identificar essas ocorrências de forma eficiente e precisa.

O sensoriamento remoto é uma das principais ferramentas utilizadas para detectar desmatamento e focos de calor. De acordo com Aragão et al. (2018), imagens de satélite permitem a observação contínua e em larga escala das florestas, possibilitando a identificação de mudanças na cobertura vegetal ao longo do tempo. Satélites como o Landsat, Sentinel-2 e MODIS fornecem dados valiosos que podem ser utilizados para monitorar a extensão e a localização do desmatamento. Em termos práticos, esses sensores apresentam diferentes resoluções espaciais e temporais, o que influencia diretamente sua aplicação no monitoramento ambiental em Terras Indígenas. O Sentinel-2, por exemplo, apresenta resolução espacial de 10 metros e ciclo de revisita de 5 dias na configuração com dois satélites (EUROPEAN SPACE AGENCY, 2013), enquanto o Landsat 8 apresenta resolução espacial de 30 metros nas bandas multiespectrais e ciclo de revisita de 16 dias (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2013).

Sensores como o MODIS, por sua vez, oferecem cobertura global em 1 a 2 dias e produtos com resolução espacial de 250 m, 500 m e 1 km, o que os torna mais adequados para o monitoramento de eventos em escala regional (NASA EARTHDATA, 2025; NASA EARTHDATA, 2021). Essas imagens de satélite, em diferentes resoluções espaciais e temporais, podem ser processadas por meio de técnicas de análise geoespacial, índices espectrais e algoritmos de detecção de mudanças. Estudos como o de Hansen et al. (2013) demonstram que a combinação de bandas espectrais e indicadores derivados da vegetação pode contribuir para a identificação de alterações na cobertura florestal. No contexto das plataformas utilizadas nesta dissertação, esses princípios aparecem em sistemas como o DETER/TerraBrasilis e o MapBiomas Alerta, que utilizam imagens orbitais e procedimentos próprios de processamento, validação ou geração de alertas para apoiar o monitoramento ambiental.

Sistemas de alerta em tempo real, como o DETER (Detecção de Desmatamento em Tempo Real), também desenvolvido pelo INPE, são fundamentais para a detecção rápida e a resposta imediata a atividades ilegais de desmatamento e incêndios. De acordo com Assunção et al. (2019), o DETER utiliza imagens de satélite com resolução espacial moderada para identificar e alertar sobre desmatamento em curso, permitindo que as autoridades tomem medidas rápidas para conter a degradação ambiental.

A detecção de incêndios e focos de calor por meio de satélites é uma abordagem crucial para o monitoramento de áreas extensas e remotas. Satélites como o MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), à bordo dos satélites Terra e Aqua, são amplamente utilizados para identificar focos de calor com curta defasagem temporal. De acordo com Giglio et al. (2016), o MODIS pode detectar temperaturas anômalas na superfície da Terra, indicando a presença de incêndios florestais e queimadas. Outra ferramenta importante é o VIIRS (*Visible Infrared Imaging Radiometer Suite*), que oferece uma resolução espacial mais alta que o MODIS, permitindo a detecção de focos de calor menores e mais intensos. Schroeder et al. (2014) ressaltam que o VIIRS é capaz de detectar incêndios de pequena escala, o que é essencial para uma resposta rápida e eficaz.

Tais dados de satélite são integrados em sistemas de monitoramento e alerta que fornecem informações críticas para as autoridades responsáveis pela gestão e controle de incêndios. Além disso, a análise temporal dos dados permite identificar padrões e tendências na ocorrência de incêndios, contribuindo para a elaboração de estratégias de prevenção e mitigação. O sistema de monitoramento de focos de calor do INPE, conhecido como Programa Queimadas (INPE, 2025), utiliza dados de satélites para detectar incêndios e fornecer alertas em tempo real. Segundo Fonseca et al. (2019), o sistema Queimadas integra dados de múltiplos satélites e disponibiliza informações sobre a localização e a intensidade dos focos de calor, auxiliando na coordenação de ações de combate e prevenção de incêndios.

2.4 Plataformas de Monitoramento Existentes

Os dados obtidos por sensores orbitais são processados por meio de diferentes técnicas de análise geoespacial, permitindo a identificação de padrões, anomalias e mudanças na superfície terrestre. No caso do desmatamento, são frequentemente utilizadas comparações temporais entre imagens, classificação de cobertura do solo, análise de bandas espectrais e aplicação de índices de vegetação, como o NDVI e o EVI, que auxiliam na identificação de alterações na densidade e no vigor da vegetação. Já a detecção de focos de calor baseia-se principalmente na identificação de anomalias térmicas registradas por sensores capazes de captar variações de temperatura na superfície, como MODIS e VIIRS. Assim, o sensoriamento remoto fornece a base técnica para diferentes sistemas de monitoramento ambiental, permitindo acompanhar tanto mudanças graduais na cobertura vegetal quanto eventos térmicos associados

a queimadas e incêndios. A aplicação operacional dessas técnicas em sistemas e plataformas de monitoramento é apresentada na seção seguinte.

2.4.1 BDQueimadas (INPE)

O Banco de Dados de Queimadas (BDQueimadas), mantido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) no âmbito do Programa Queimadas, disponibiliza um acervo de detecções de focos de calor obtidos por satélites, apoiando análises espaciais e temporais dessas ocorrências. A plataforma oferece consulta e visualização em ambiente web, além de produtos derivados, como mapas, gráficos e estatísticas, constituindo uma importante fonte de informação para estudos e aplicações de monitoramento ambiental (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2025).

Em termos de atualização, o Programa Queimadas informa que a base de detecção de focos no BDQueimadas é atualizada a cada 10 minutos, após controle automático de qualidade, conforme consulta realizada em 13 nov. 2025, o que favorece aplicações de acompanhamento quase em tempo real (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2025).

Para este trabalho, o BDQueimadas se destaca por oferecer dados abertos e frequentemente atualizados de focos de calor, permitindo integrações para alertas e análises em recortes territoriais específicos.

2.4.2 NASA FIRMS (Fire Information for Resource Management System)

O FIRMS é um sistema da NASA voltado à disponibilização de dados de focos ativos e anomalias térmicas detectados por sensores orbitais, com distribuição em tempo quase real por meio de mapas online, dados para download e serviços web, como camadas e interfaces de acesso para integração em aplicações externas (NASA EARTHDATA, 2025). A plataforma reúne produtos derivados principalmente dos sensores MODIS e VIIRS, que apresentam características complementares para o monitoramento de focos de calor. Enquanto o MODIS possui ampla cobertura temporal e série histórica consolidada, o VIIRS oferece maior detalhamento espacial, com produto de focos ativos em resolução espacial nominal de aproximadamente 375 m por pixel, o que favorece a detecção de focos em áreas relativamente menores. Para dados globais, o FIRMS informa disponibilidade típica em até 3 horas após a observação do satélite, reforçando seu papel em monitoramento operacional e resposta rápida (NASA EARTHDATA, 2025).

No contexto desta dissertação, o FIRMS é relevante por complementar fontes nacionais, fornecendo uma referência internacional consolidada para focos de calor e permitindo interoperabilidade com fluxos de dados globais.

2.4.3 TerraBrasilis (DETER - Avisos de Desmatamento)

O TerraBrasilis é uma plataforma desenvolvida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) para organização, acesso e disseminação de dados geográficos produzidos pelos programas de monitoramento ambiental, incluindo bases como PRODES e DETER. Na consulta realizada à plataforma TerraBrasilis em 14 jul. 2024, observou-se a versão 2.4.1 da aplicação. Dentro desse ecossistema, o DETER (Sistema de Detecção do Desmatamento em Tempo Real) tem por objetivo detectar e enviar avisos de supressão e degradação da vegetação, com foco em suporte à fiscalização, e teve início na Amazônia em 2004, com expansões posteriores, como o DETER Cerrado.

É importante destacar que o próprio INPE ressalta que o DETER (em especial o DETER-B) é um sistema expedito de alerta para priorização de ações de fiscalização e que seus números não devem ser interpretados como taxa mensal consolidada de desmatamento.

Além da visualização em painéis e mapas, o TerraBrasilis mantém área de downloads com dados (por exemplo, em formato Shapefile) para uso em SIG e integrações.

Para o IndiMap, o DETER é central por fornecer alertas estruturados e atualizados, permitindo cruzamentos geoespaciais em recortes como Terras Indígenas e geração de notificações. Quanto à granularidade espacial, o DETER permite a identificação e o mapeamento de alterações na cobertura florestal com área mínima próxima de 3 hectares. Entretanto, por se tratar de um sistema expedito de alerta voltado ao apoio à fiscalização, seus dados não devem ser interpretados como validação definitiva em campo nem como taxa consolidada de desmatamento. No contexto do IndiMap, os dados do DETER são utilizados como alertas não validados em campo pela plataforma, servindo como indícios de alteração ambiental a serem consultados, monitorados e, quando necessário, verificados por órgãos competentes ou atores locais.

2.4.4 MapBiomias Alerta

O MapBiomias Alerta é um sistema que realiza validação e refinamento de alertas de desmatamento em todos os biomas brasileiros. Em uma única plataforma, integra alertas provenientes de múltiplos sistemas de detecção, cruza essas informações com recortes territoriais e disponibiliza laudos detalhados de forma aberta e gratuita. A iniciativa descreve que esses alertas são validados e refinados com imagens diárias de alta resolução espacial, de até 3,7 m, e passam por etapas de verificação, como pré-validação, validação e auditoria, combinando processamento automatizado e análise por especialistas (MAPBIOMAS, 2024).

Adicionalmente, a plataforma disponibiliza uma interface de consulta via API, com uso da linguagem GraphQL, o que facilita integrações com aplicações externas e a construção de serviços orientados a dados (MAPBIOMAS, 2026).

No âmbito desta dissertação, o MapBiomias Alerta agrega valor ao oferecer maior nível de evidência e detalhamento do evento, incluindo imagens antes/depois e laudo, funcionando

como fonte complementar para verificação e enriquecimento dos alertas integrados. Quanto à granularidade espacial, a plataforma informa que a área mínima de desmatamento para publicação de alertas é de 0,3 hectare. Diferentemente dos alertas expedidos pelo DETER, os alertas do MapBiomas passam por processo de validação e refinamento, com uso de imagens de satélite de alta resolução, cruzamentos territoriais e geração de laudos detalhados. Assim, no contexto do IndiMap, os dados do MapBiomas Alerta são tratados como alertas validados e refinados pela própria plataforma de origem, ainda que sua interpretação também deva considerar as limitações metodológicas e operacionais da fonte.

2.4.5 Síntese e implicações para o IndiMap

Em conjunto, BDQueimadas/INPE, NASA FIRMS, TerraBrasilis (DETER) e MapBiomas Alerta evidenciam a consolidação de um ecossistema de monitoramento ambiental baseado em sensoriamento remoto, com produtos voltados tanto à detecção quase em tempo real (especialmente para focos de calor) quanto à geração e validação de alertas de desmatamento. Apesar de complementares, essas iniciativas apresentam diferenças quanto ao objetivo operacional, escala espaço-temporal, nível de refinamento e formas de disponibilização dos dados (interfaces, formatos e serviços), o que tende a fragmentar o acesso à informação e aumentar o esforço necessário para consulta integrada, comparação entre fontes e disseminação rápida de alertas para públicos específicos.

Nesse contexto, o IndiMap se posiciona como uma camada de integração e disseminação orientada especificamente às Terras Indígenas brasileiras, reunindo alertas provenientes de múltiplas bases e promovendo a padronização do acesso em um ponto central. A proposta não substitui as plataformas de origem; ao contrário, busca potencializar seu uso ao organizar os alertas segundo o recorte territorial das Terras Indígenas, permitir filtragens espaciais por esses territórios e apoiar estratégias de comunicação automatizada. Assim, a centralização e a integração contribuem para aumentar a visibilidade e a circulação de informação qualificada sobre pressões ambientais em Terras Indígenas, fortalecendo o suporte à vigilância territorial e à tomada de decisão por atores interessados no monitoramento ambiental.

Embora essa integração amplie o acesso e a circulação das informações, é importante reconhecer que as fontes utilizadas apresentam diferenças metodológicas, temporais e operacionais que afetam a interpretação dos dados de forma integrada. O BDQueimadas e o FIRMS priorizam a detecção rápida de focos de calor, enquanto o DETER opera como sistema expedito de alerta para apoio à fiscalização, sem finalidade de estimativa consolidada de desmatamento, e o MapBiomas Alerta incorpora etapas de validação e refinamento com maior detalhamento dos eventos. Além disso, essas bases possuem diferentes latências de atualização, resoluções espaciais e níveis de verificação, de modo que os alertas nelas disponibilizados não devem ser interpretados como equivalentes entre si nem como confirmação definitiva da

ocorrência em campo. No contexto do IndiMap, essas diferenças não inviabilizam a integração, mas exigem cautela analítica na leitura comparada dos dados e na formulação de conclusões a partir das informações disponibilizadas.

2.5 Trabalhos Relacionados

Esta seção apresenta trabalhos relacionados à temática de queimadas, desmatamento e monitoramento de Terras Indígenas, com detalhamento dos principais estudos nas subseções seguintes. O levantamento bibliográfico realizado teve caráter exploratório e orientado ao problema de pesquisa, não se configurando como uma revisão sistemática formal da literatura. O objetivo foi identificar estudos e iniciativas com aderência temática à proposta do IndiMap, especialmente em relação ao uso de sensoriamento remoto, monitoramento ambiental, integração de dados geoespaciais, disseminação de informações e apoio à gestão territorial. Para isso, foram realizadas buscas nas plataformas ACM Digital Library, IEEE Xplore, Google Scholar, SBC OpenLib (SOL) e Portal de Periódicos CAPES, selecionadas com o objetivo de assegurar cobertura ampla e diversificada da literatura relacionada ao tema.

As buscas foram conduzidas com foco prioritário em publicações em português e inglês, especialmente nas áreas de Computação, Ciências Ambientais, Geoprocessamento e campos correlatos. Como recorte temporal principal, priorizaram-se estudos publicados nos últimos 10 anos, sem prejuízo da inclusão pontual de trabalhos anteriores quando considerados relevantes para a fundamentação conceitual da pesquisa, especialmente em aspectos relacionados à integração de dados espaciais, participação social e infraestrutura de informação geográfica.

Para a recuperação dos estudos, foram utilizadas as seguintes strings de busca, padronizadas conforme as especificidades de cada plataforma:

- ACM Digital Library: (DEFORESTATION) AND (FOREST FIRES OR BURNING) AND (INDIGENOUS LANDS OR AMAZON) AND (REMOTE SENSING OR MONITORING OR SYSTEMS OR MACHINE LEARNING OR GIS OR SOFTWARE).
- IEEE Xplore: ("ALL METADATA": DEFORESTATION) AND ("ALL METADATA": FOREST FIRES OR BURNING) AND ("ALL METADATA": INDIGENOUS LANDS OR AMAZON) AND ("ALL METADATA": MONITORING OR REMOTE SENSING OR SYSTEMS OR MACHINE LEARNING OR GIS OR SOFTWARE).
- Google Scholar, Portal de Periódicos CAPES e SBC-OpenLib (SOL): (DESMATAMENTO) AND (INCÊNDIOS FLORESTAIS OR QUEIMADAS) AND (TERRAS INDÍGENAS OR AMAZÔNIA) AND (MONITORAMENTO OR SENSORIAMENTO REMOTO OR SISTEMAS OR APRENDIZADO DE MÁQUINA OR GIS OR SOFTWARE).

Após a recuperação inicial dos estudos, foi realizada uma triagem preliminar com base na leitura de títulos, resumos e palavras-chave, com o objetivo de identificar trabalhos

potencialmente aderentes ao problema investigado. Em seguida, os estudos considerados mais relevantes foram analisados de forma mais detalhada, observando-se sua contribuição para a compreensão do monitoramento de queimadas e desmatamento, do uso de dados geoespaciais, da integração de fontes de informação e da disseminação de dados aplicados ao contexto de Terras Indígenas. Ao final desse processo, foram selecionados quatro trabalhos para análise detalhada nesta dissertação, por apresentarem maior aderência temática e metodológica à proposta do IndiMap. A seleção final priorizou estudos relacionados à detecção ou classificação de queimadas e desmatamento, ao uso de dados geoespaciais, à integração de informações ambientais e à disseminação de dados para apoio à gestão territorial. As plataformas SOMAI e ImazonGeo, embora mencionadas por participantes no formulário diagnóstico, não foram incluídas nessa análise por não terem sido utilizadas como fontes de dados no IndiMap e por não integrarem o escopo principal de comparação da solução desenvolvida.

Os critérios de inclusão e exclusão adotados para a seleção dos estudos foram os seguintes:

Critérios de Inclusão (CI):

- Estudos publicados na íntegra, em português ou inglês, com resultados completos;
- Estudos das áreas de Computação, Ciências Ambientais, Geoprocessamento ou áreas correlatas;
- Estudos publicados preferencialmente nos últimos 10 anos;
- Estudos que abordem diretamente temas relacionados a desmatamento, queimadas, Terras Indígenas, Amazônia, monitoramento ambiental, sensoriamento remoto, sistemas, aprendizado de máquina, GIS ou software, conforme as strings de busca utilizadas;
- De forma complementar, trabalhos conceituais ou anteriores ao recorte temporal principal, quando relevantes para sustentar a discussão sobre infraestrutura de dados espaciais, acesso à informação e integração entre ciência, tecnologia e sociedade.

Critérios de Exclusão (CE):

- Estudos que não abordam de forma direta ou relevante as temáticas de desmatamento, queimadas, Terras Indígenas, Amazônia ou monitoramento ambiental;
- Estudos sem aderência ao problema de pesquisa ou sem contribuição efetiva para a fundamentação do artefato proposto;
- Trabalhos exclusivamente introdutórios, opinativos ou sem relação com dados, métodos, plataformas ou processos de monitoramento;
- Documentos duplicados ou versões redundantes de um mesmo estudo.

A aplicação desses critérios teve como objetivo selecionar trabalhos com maior aderência ao problema investigado, permitindo identificar contribuições relevantes, limitações

das abordagens existentes e lacunas que justificam a proposta do IndiMap.

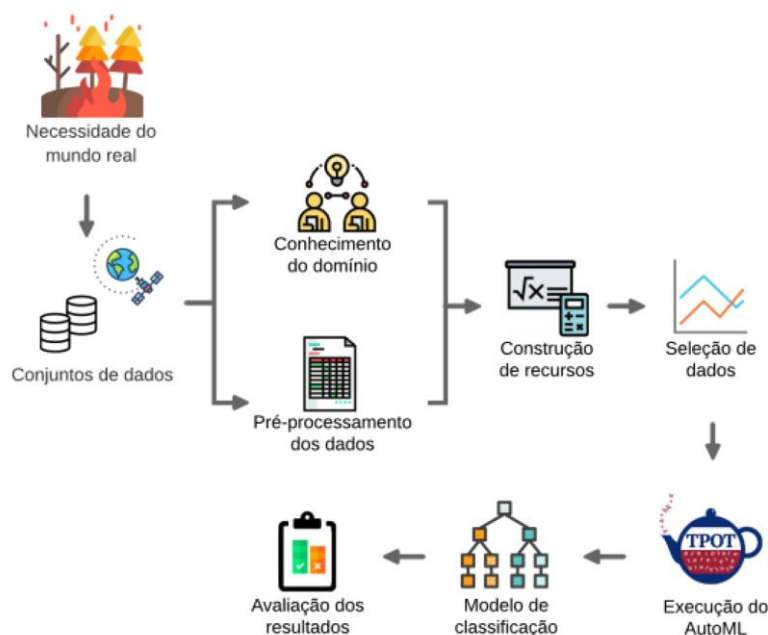
2.5.1 Método para a classificação de áreas Queimadas Baseado em Aprendizado de Máquina

O trabalho de Coelho et al. (2022), intitulado 'Método para a Classificação de Áreas Queimadas Baseado em Aprendizado de Máquina Automatizado', propõe um método para a classificação automatizada de áreas queimadas, utilizando técnicas de aprendizado de máquina com conjuntos de dados e imagens do satélite americano Landsat 8/OLI de 2018 e 2019. O Landsat 8/OLI, operado pela NASA e pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), fornece dados fundamentais para o monitoramento ambiental e a detecção de mudanças na superfície terrestre (Roy et al., 2014). A pesquisa destaca a importância de desenvolver um sistema eficaz para lidar com a extensão territorial e a complexidade na obtenção de amostras validadas de áreas queimadas.

Nesse contexto, o termo Automated Machine Learning (AutoML) refere-se ao uso de técnicas e ferramentas que automatizam etapas do desenvolvimento de modelos de aprendizado de máquina, como a seleção de algoritmos, o ajuste de hiperparâmetros e a avaliação de desempenho. No estudo de Coelho et al. (2022), o AutoML é empregado como estratégia para identificar, entre diferentes alternativas de modelagem, aquela mais adequada à classificação de áreas queimadas com base nos dados analisados. Tal abordagem é relevante porque reduz a dependência de escolhas exclusivamente manuais e contribui para tornar o processo de experimentação mais sistemático e orientado por métricas de desempenho.

Assim, sua contribuição para o IndiMap é predominantemente conceitual e metodológica, servindo como referência para compreender técnicas de processamento e qualificação de dados, mas não como modelo direto para o artefato proposto. Cabe destacar que a comparação entre o estudo de Coelho et al. (2022) e o IndiMap deve ser interpretada com cautela, pois se trata de abordagens metodológicas distintas. Enquanto Coelho et al. (2022) investigam o uso de imagens de satélite e técnicas de aprendizado de máquina para classificar automaticamente áreas queimadas, o IndiMap não tem como objetivo gerar novos dados de detecção por classificação supervisionada ou não supervisionada. A proposta desta dissertação utiliza bases de dados oficiais já disponibilizadas por instituições de monitoramento ambiental, concentrando-se na integração, filtragem por Terras Indígenas, organização, disponibilização e disseminação dos alertas. Assim, a relação com esse trabalho é conceitual e comparativa, e não metodológica direta, reforçando que a contribuição do IndiMap está na centralização e circulação qualificada das informações, e não na criação de um novo classificador de queimadas. A Figura 1 ilustra a visão geral do método proposto para a classificação automática de áreas queimadas.

Figura 1 - Visão geral do método proposto para a classificação



Fonte: COELHO, Marcelly Homem et al 2022

Inicialmente, há a identificação da necessidade de automatizar tarefas relacionadas à caracterização e classificação de áreas queimadas. Em seguida, são adquiridos conjuntos de dados históricos referentes às ocorrências de queimadas. Posteriormente, ocorre a execução do AutoML para descobrir o modelo de aprendizado de máquina mais indicado para os conjuntos de dados específicos. Após a identificação do modelo, é realizada a implementação do modelo preditivo sugerido pelo framework. Por fim, são avaliadas as métricas de desempenho, como precisão, probabilidade de detecção e taxa de acerto média, para cada experimento construído, a fim de verificar a eficácia do método na classificação automatizada de áreas queimadas.

Os resultados obtidos pelo experimento sugerem que o método proposto é apropriado para o desenvolvimento de um sistema de classificação automática de áreas queimadas para o ano seguinte aos dos dados de treinamento. A pesquisa destaca que os valores das métricas de desempenho obtidos pelo modelo foram próximos ao valor estabelecido como precisão de 95%, indicando a viabilidade de utilizar essa estratégia para promover a classificação automática de áreas queimadas. Além disso, o estudo ressalta a importância de considerar diferentes abordagens e técnicas para a classificação de áreas queimadas, sugerindo a incorporação de novos recursos para o treinamento de modelos de aprendizado de máquina.

2.5.2 Towards the automatic monitoring of deforestation in Brazilian Rainforest

O trabalho de Bragagnolo et al. (2021), intitulado "Towards the automatic monitoring of deforestation in Brazilian Rainforest", propõe uma metodologia para o monitoramento automático de desmatamento na Floresta Amazônica Brasileira, com o objetivo de aumentar a eficácia e precisão dos sistemas de monitoramento atuais. Para isso, o trabalho é dividido

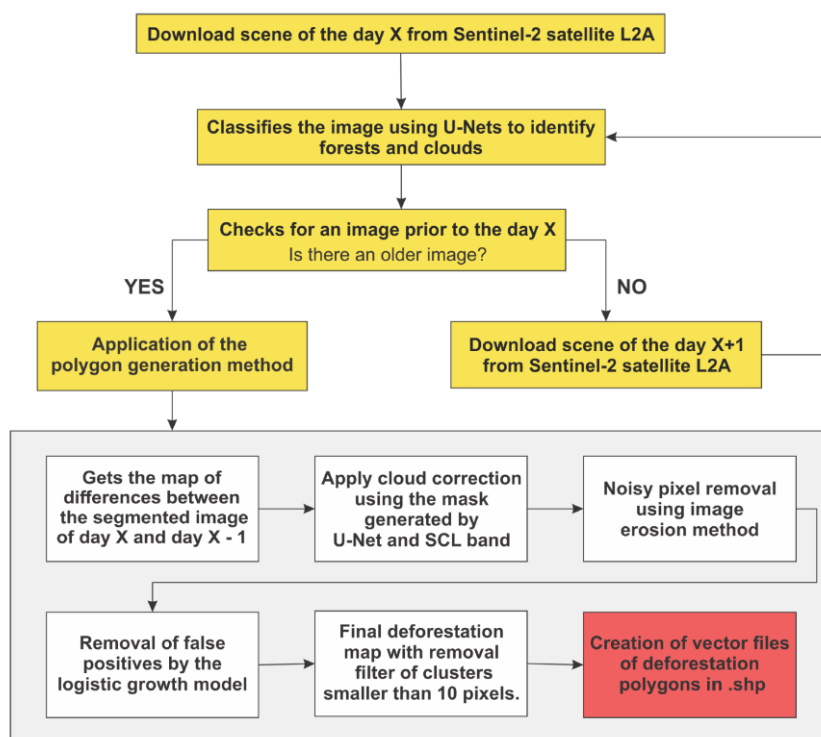
basicamente em três etapas principais: 1 - descrição da arquitetura U-Net e seu treinamento, que incluem o mapeamento das regiões florestais e a identificação de nuvens; 2 - descrição e aplicação de um modelo logístico para identificar áreas com reduzida densidade vegetal; e 3 - apresentação de um sistema automatizado de mapeamento de áreas desmatadas.

De acordo com BRAGAGNOLO (2021), a U-Net é uma Rede Neural Convolucional Totalmente Conectada projetada para segmentação semântica de imagens. Ela possui uma estrutura que inclui um caminho de contração para extrair características e um caminho de expansão para recuperar a informação espacial das classes identificadas, resultando em uma imagem segmentada do mesmo tamanho e resolução da imagem de entrada. Essa arquitetura, proposta por Ronneberger, Fischer e Brox (2015), foi inicialmente utilizada na segmentação de imagens biomédicas.

A Figura 2 demonstra através de um fluxograma como é a metodologia para a geração de polígonos de desmatamento. Tudo começa com o download e preparação das imagens de satélite, em que as cenas são cortadas em sub-imagens de 512 x 512 pixels. Após a classificação pelas redes neurais U-Net, que identificam florestas e nuvens, gera-se um mapa de diferenças entre a imagem mais antiga e a mais recente. Pixels que indicam perda de cobertura florestal recebem o valor 1, enquanto os demais recebem o valor 0.

Para reduzir falsos positivos e ruídos, as imagens classificadas pela U-Net são corrigidas com base na presença de nuvens e outras interferências, utilizando a SCL layer (Scene Classification Layer), que de acordo com BRAGAGNOLO (2021) é uma camada que é baixada junto com as demais bandas da imagem de satélite, porém, esta representa a classificação de determinados objetos na cena como nuvens, água etc.; a segmentação de nuvens pela U-Net. A SCL Layer que originalmente possuía a resolução de 20 m é reajustada para 10 m e elimina áreas com nuvens, pixels defeituosos e outras interferências. Estas mesmas imagens são aplicadas a um modelo logístico que usa para eliminar polígonos erroneamente classificados, para isso é utilizado Enhanced Vegetation Index (EVI), que de acordo com BRAGAGNOLO (2021), é uma medida utilizada para avaliar a densidade da vegetação, proporcionando uma análise pixel a pixel e podendo ser escalado para representar a densidade florestal em modelos logísticos. Ao final deste processo são criados arquivos vetoriais de polígonos de desmatamento no formato Shapefile (.shp).

Figura 2 - Fluxograma da metodologia de geração de polígonos de desmatamento utilizando U-Net e modelo de crescimento logístico.



Fonte: BRAGAGNOLO, L.; DA SILVA, Roberto Valmir; GRZYBOWSKI, José Mario Vicensi, 2021.

Assim como observado na análise do estudo de Coelho et al. (2022), a comparação entre a metodologia de Bragagnolo et al. (2021) e o IndiMap deve ser compreendida com cautela, pois os objetivos e procedimentos adotados são distintos. Bragagnolo et al. (2021) propõem uma abordagem para geração de polígonos de desmatamento a partir do processamento de imagens de satélite, redes neurais e modelos logísticos. O IndiMap, por sua vez, não realiza classificação automática de imagens nem produz novos polígonos de desmatamento a partir de modelos próprios, mas utiliza bases oficiais e produtos já disponibilizados por sistemas de monitoramento, concentrando sua contribuição na integração, filtragem territorial por Terras Indígenas, organização, disponibilização e disseminação dos alertas ambientais.

Os resultados indicam que a metodologia proposta pode contribuir para o aumento da eficácia e precisão dos sistemas de monitoramento atuais, além de fornecer identificação ágil e precisa de perdas de cobertura florestal e fornecer um processamento eficiente. Para avaliar a precisão dos resultados, foram calculadas métricas como acurácia (0,9940), precisão (0,9402), recall (0,8570) e F1-score (0,8941), indicando um desempenho robusto do modelo proposto. Além disso, os autores também compararam os polígonos de desmatamento gerados com os do projeto MapBiomass Alertas, obtendo resultados promissores. Isso sugere que a metodologia pode ser aplicada em sistemas de monitoramento automático autônomos ou como complemento a sistemas existentes.

2.5.3 Dados e Informações Geoespaciais para Análise Territorial e Ambiental na Amazônia Legal no Brasil

O estudo de Dos Santos Mota et al. (2015) analisa a distribuição e a qualidade dos dados geoespaciais na Amazônia Legal, abordando as dificuldades e desafios relacionados à obtenção e atualização dessas informações. Os autores destacam que, apesar da existência de diversas fontes de dados distribuídas por órgãos municipais, estaduais e federais, ainda há fragilidades na sua disponibilização, especialmente no que diz respeito à qualidade, acessibilidade e atualização.

O estudo ressalta a importância das infraestruturas de dados espaciais (IDE) para facilitar a gestão territorial e ambiental na região amazônica. Segundo os autores, a implementação de infraestruturas locais de dados pode aprimorar o acesso às informações e permitir a melhor tomada de decisão por parte de gestores públicos e pesquisadores. Além disso, o artigo menciona que o uso de sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica (SIG) é essencial para superar as dificuldades impostas pela vastidão e complexidade da Amazônia Legal.

2.5.4 Infraestruturas de Dados Espaciais na Integração entre Ciência e Comunidades para Promover a Sustentabilidade Ambiental

O estudo de Davis Jr. et al. (2009) apresenta uma abordagem ampliada para as Infraestruturas de Dados Espaciais (IDE), propondo sua evolução de meros repositórios de dados para plataformas dinâmicas que incentivem a colaboração entre cientistas, formuladores de políticas e comunidades locais. Os autores destacam que a efetividade das políticas ambientais depende do acesso equitativo a informações geoespaciais, permitindo que diferentes atores compreendam e participem ativamente da gestão territorial. Para tanto, defendem que as IDEs devem incorporar mecanismos interativos e estratégias de engajamento que facilitem a participação social na produção e interpretação de dados ambientais.

A pesquisa explora como as IDEs podem potencializar a disseminação de informações ambientais, tornando os dados mais acessíveis e fomentando uma cultura de tomada de decisão baseada em evidências. Nesse contexto, os autores argumentam que a adoção de tecnologias colaborativas, como redes sociais, plataformas de geotagging e integração com Web 2.0, pode transformar as IDEs em instrumentos mais eficientes de monitoramento ambiental. Essas inovações não apenas ampliam o alcance da informação, mas também incentivam a participação cidadã, permitindo que comunidades locais contribuam com conhecimento empírico e complementem as análises técnicas.

2.5.5 Comparação entre os trabalhos relacionados e o projeto IndiMap

O trabalho de Coelho et al. (2022) propõe um método automatizado de classificação de áreas queimadas utilizando aprendizado de máquina aplicado a imagens de satélite Landsat 8/OLI. Essa abordagem é eficaz na identificação e classificação de áreas queimadas com alta precisão, utilizando técnicas de AutoML para selecionar o melhor modelo de aprendizado de máquina. Em comparação, o projeto IndiMap também utiliza dados de satélite para monitoramento ambiental, mas sua proposta se diferencia ao integrar múltiplas fontes de dados (INPE, DETER, MapBiomias Alertas) e ao focar especificamente nas Terras Indígenas. Enquanto o trabalho de Coelho et al. é altamente especializado na classificação de queimadas, o IndiMap oferece uma visão mais abrangente ao monitorar tanto desmatamento quanto queimadas, além de fornecer uma interface interativa para disseminação de alertas, com integração em redes sociais, ampliando o alcance das informações.

Por outro lado, o trabalho de Bragagnolo et al. (2021) apresenta uma metodologia para o monitoramento automático de desmatamento na Floresta Amazônica Brasileira, utilizando a arquitetura U-Net para segmentação de imagens de satélite e aplicação de modelos logísticos para a identificação de áreas desmatadas. Semelhante ao projeto IndiMap, o foco está no uso de imagens de satélite para detecção de mudanças na cobertura florestal. No entanto, enquanto Bragagnolo et al. se concentram na precisão da segmentação e na geração de polígonos de desmatamento, o IndiMap se destaca por integrar esses dados com alertas de outras fontes e focar na aplicação específica em Terras Indígenas, além de fornecer ferramentas para a disseminação dessas informações ao público geral, facilitando o engajamento e a proteção das áreas monitoradas.

Em relação ao IndiMap, a pesquisa de Dos Santos Mota et al. (2015) contribui para o entendimento dos desafios da integração de dados ambientais e territoriais na Amazônia. Enquanto o IndiMap busca centralizar e disseminar alertas ambientais em Terras Indígenas, o estudo dos autores evidencia a necessidade de aprimorar a qualidade e acessibilidade das bases de dados utilizadas em iniciativas de monitoramento. Assim, a plataforma IndiMap se beneficia desse contexto ao estruturar seus processos de ETL para garantir a atualização contínua e a confiabilidade dos dados geoespaciais, suprimindo lacunas apontadas na literatura.

A relevância do estudo de Davis Jr. et al. (2009) para o IndiMap reside na convergência entre os princípios das IDEs expandidas e a proposta da plataforma de monitoramento ambiental. Enquanto os autores sugerem que uma Amazônia Digital deve utilizar tecnologias participativas para fortalecer o envolvimento da sociedade na preservação ambiental, o IndiMap já implementa estratégias semelhantes ao integrar alertas de desmatamento e queimadas em Terras Indígenas a um ambiente digital acessível. A utilização de APIs abertas, disseminação via redes sociais e ferramentas de compartilhamento de dados no IndiMap está alinhada à visão proposta por Davis Jr. et al. (2009), demonstrando como infraestruturas modernas de dados

espaciais podem viabilizar maior transparência, colaboração e impacto na sustentabilidade ambiental.

Com o objetivo de explicitar as convergências e diferenças entre os trabalhos relacionados e a proposta do IndiMap, apresenta-se a Tabela 1. A comparação considera critérios diretamente associados ao problema de pesquisa e aos requisitos funcionais do artefato, incluindo: recorte territorial (foco em Terras Indígenas), integração de múltiplas fontes, acessibilidade para públicos não especializados, disponibilização de dados abertos por meio de API e estratégias de disseminação ativa de informações.

Tabela 1 - Comparação entre trabalhos relacionados e o IndiMap

Trabalho	Foco específico em Terras Indígenas	Integra dados de múltiplas fontes	Acesso para cidadão / uso amplo	API / Dados abertos	Disseminação em redes sociais
Classificação de áreas queimadas com AutoML	✗	(✓)*	✗	✗	✗
Monitoramento automático de desmatamento (U-Net + modelo logístico)	✗	(✓)**	✗	✗	✗
Dados e Informações Geoespaciais para Análise Territorial e Ambiental na Amazônia Legal no Brasil	✗	✓ (conceitual)	(✓) (ênfase em acesso)	(✓) (discussão, não implementação)	✗
Infraestruturas de Dados Espaciais na Integração entre Ciência e Comunidades para Promover a Sustentabilidade Ambiental	✗	✓ (conceitual)	(✓) (participação / engajamento)	(✓) (direcionamento conceitual)	✓ (proposto)
IndiMap	✓	✓	✓	✓	✓

Legenda: ✓ = presente/atendido; ✗ = ausente; (✓) = parcialmente/indiretamente (conceitual ou componente do método, mas não como plataforma/serviço ao usuário).

* Coelho et al. (2022) utiliza dados e imagens (p.ex., Landsat e conjuntos do Programa Queimadas), porém o foco é método de classificação, não integração de plataformas.

** Bragagnolo et al. (2021) combina múltiplos elementos de processamento (imagens, camadas e índices) no método, porém não se configura como integração de “múltiplas fontes/plataformas” com disponibilização ao público.

Fonte: Elaborado pelo autor.

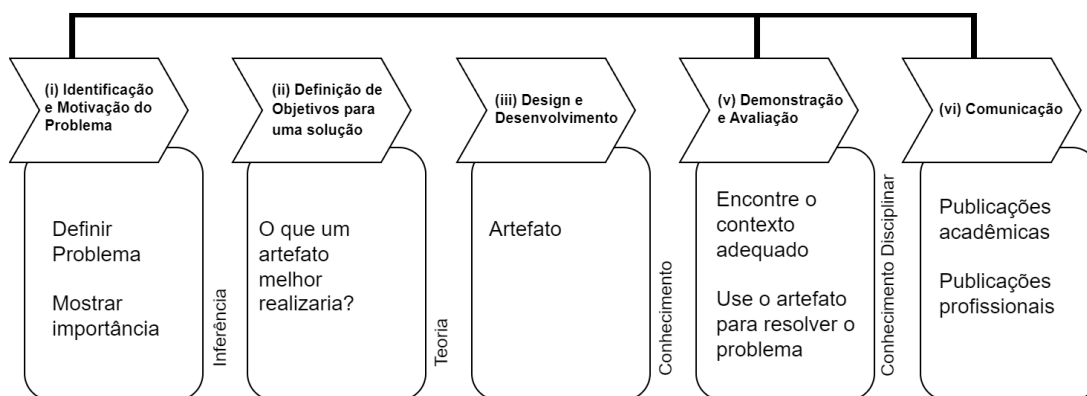
Observa-se que os trabalhos de Coelho et al. (2022) e Bragagnolo et al. (2021) concentram-se principalmente em métodos e arquiteturas de detecção/classificação, contribuindo para a evolução técnica do monitoramento, mas sem se caracterizarem como plataformas orientadas à integração e à disseminação ao público. Por outro lado, Dos Santos Mota et al. (2015) e Davis Jr. et al. (2009) abordam, em nível conceitual, aspectos de infraestrutura, acesso e participação social, aproximando-se de requisitos de abertura e disseminação, ainda que não entreguem um artefato operacional voltado a alertas territoriais específicos. Nesse cenário, o IndiMap diferencia-se por combinar, em um único artefato, integração de bases, recorte por Terras Indígenas, mecanismos de acesso e consulta, API de dados abertos e disseminação ativa, buscando reduzir a fragmentação informacional e ampliar o alcance prático dos alertas.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo, detalhamos o processo de design e desenvolvimento da plataforma IndiMap, adotando a Metodologia Design Science Research (DSR). A DSR, com sua abordagem estruturada e iterativa, foi escolhida por sua eficácia na solução de problemas práticos através da criação e avaliação de artefatos voltados à resolução de problemas.

Para este estudo, a DSR permite a integração de conhecimentos teóricos e práticos, facilitando a criação de soluções tecnológicas adequadas às questões ambientais que motivam este projeto. Conforme Peffers et al. (2007), a Design Science Research Methodology (DSRM) pode ser organizada em seis atividades principais: (1) identificação do problema e motivação, na qual se define claramente o problema a ser resolvido e se justifica sua relevância; (2) definição dos objetivos da solução, que consiste em estabelecer os resultados esperados para o artefato; (3) design e desenvolvimento, etapa em que o artefato é projetado e construído; (4) demonstração, na qual o artefato é aplicado ou apresentado em um contexto de uso; (5) avaliação, que verifica em que medida o artefato atende aos objetivos definidos; e (6) comunicação, etapa em que os resultados e conhecimentos gerados são disseminados para a comunidade acadêmica e demais interessados. Essas etapas são ilustradas na Figura 3 e detalhadas nas seções subsequentes.

Figura 3 - Fases do DSR



Fonte: Adaptado de DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES Jr., J. A. V. Design Science Research: A Method for Science and Technology Advancement. Springer, 2015.

No contexto desta pesquisa, a rastreabilidade da DSR foi organizada da seguinte forma: a etapa de Identificação e Motivação do Problema foi conduzida por meio da análise do contexto do monitoramento ambiental em Terras Indígenas e da aplicação do Formulário 1 ao grupo focal, permitindo explicitar a lacuna prática e as necessidades dos usuários; a Definição dos Objetivos da Solução foi derivada diretamente dos achados desse diagnóstico; a etapa de Design e Desenvolvimento correspondeu à concepção da arquitetura, dos fluxos de integração de dados, da API, da plataforma web e dos mecanismos de disseminação; a Demonstração consistiu na apresentação e uso do artefato em contexto aplicado; a Avaliação foi realizada por

dois eixos complementares, envolvendo evidências técnicas, por meio de testes funcionais, contratuais e de desempenho da API, e evidências empíricas, obtidas com o Formulário 2 aplicado aos participantes; por fim, a Comunicação se materializa nesta dissertação, na documentação técnica da solução e nos produtos de disseminação associados ao artefato.

A seguir, cada uma dessas fases é detalhada no contexto da plataforma IndiMap.

3.1 Identificação e Motivação do Problema

O primeiro passo da DSR na criação da ferramenta IndiMap envolveu uma análise aprofundada do contexto do desmatamento em Terras Indígenas no Brasil, assim como as instituições que trabalham no levantamento dessas informações e combate a estas práticas. Buscou-se compreender e mapear os resultados gerados por estas instituições, examinando suas bases de dados, relatórios ambientais e estudos acadêmicos relevantes. A identificação da lacuna existente nas plataformas de monitoramento disponíveis, que não atendiam adequadamente às necessidades de monitoramento específicas das terras indígenas, foi decisiva para direcionar o desenvolvimento da ferramenta IndiMap.

Além disso, foi realizada a aplicação de formulários junto ao grupo focal onde foram incluídos representantes de comunidades indígenas, colaboradores de organizações não governamentais e servidores de órgãos governamentais responsáveis pela proteção ambiental.

De acordo com DE CAMPOS CORRÊA (2021), Grupo Focal é um conjunto de pessoas selecionadas e reunidas por pesquisadores para discutir e comentar um tema, que é o objeto de pesquisa, a partir de sua experiência pessoal. Essa técnica permite coletar insights detalhados e diversificados sobre as percepções e necessidades dos usuários, favorecendo uma análise rica e contextualizada. De Campos Corrêa também cita Gatti (2005) que destaca que o Grupo Focal, como técnica de pesquisa, tem sua própria constituição e desenvolvimento em razão do problema de pesquisa. Nesta perspectiva, é necessário que a problematização esteja clara, pois favorecerá o levantamento das questões relevantes e contextualizadas, assim como a elaboração de um roteiro preliminar de trabalho com o grupo.

Essa abordagem participativa permitiu uma compreensão mais ampla das demandas e expectativas dos usuários finais da ferramenta, garantindo que as funcionalidades e recursos da IndiMap fossem alinhados com as necessidades reais do campo. A análise detalhada do problema e a colaboração com os principais interessados foram fundamentais para estabelecer as bases sólidas do projeto e orientar as etapas subsequentes de design, implementação e avaliação da ferramenta IndiMap dentro do escopo da Metodologia DSR.

A formação do Grupo Focal foi cuidadosamente planejada para incluir uma diversidade de especialistas e representantes das comunidades diretamente impactadas pelo desmatamento em terras indígenas. O grupo foi composto por profissionais com conhecimento em áreas relevantes, como biologia, meteorologia, geoprocessamento e engenharia florestal, além de

representantes de organizações não governamentais e servidores públicos de órgãos intergovernamentais e federais. Entre os participantes, estavam um sócio fundador de uma empresa ambiental, um executivo de uma empresa de engenharia florestal, meteorologistas de instituições públicas e intergovernamentais, analistas de sistemas atuando tanto no setor público quanto na iniciativa privada, além de geógrafos vinculados a ONGs que atuam na proteção da Amazônia. O grupo também incluiu oito representantes indígenas residentes nos estados da Amazônia Brasileira. Essa composição diversificada garantiu que as discussões fossem amplas e integrassem múltiplas perspectivas, permitindo uma compreensão holística dos desafios e necessidades associadas ao monitoramento de desmatamento em terras indígenas.

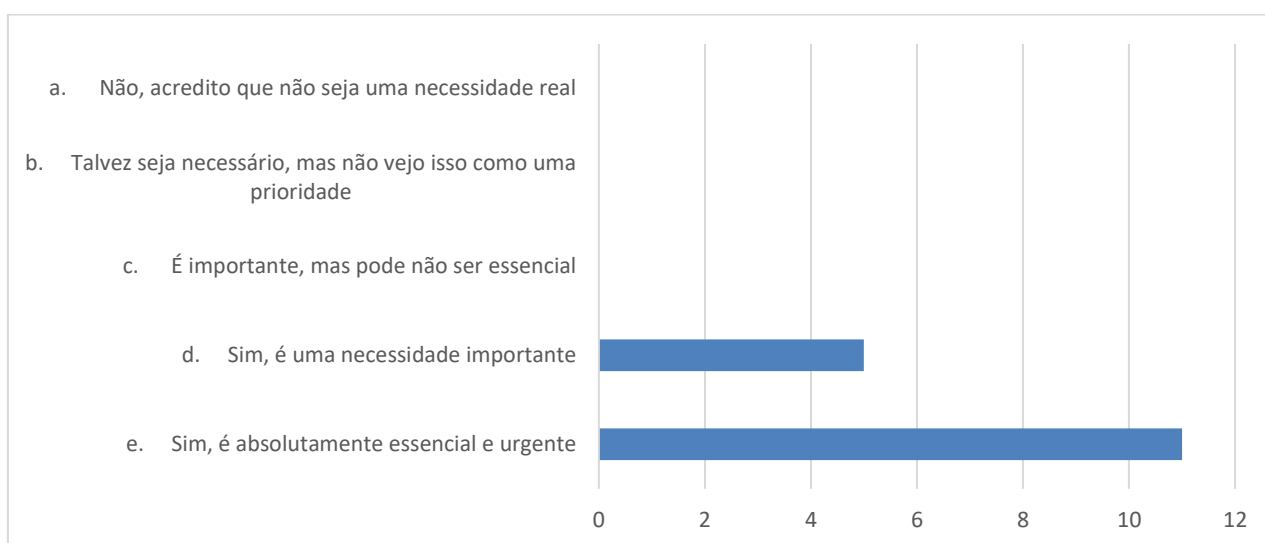
A seguir, são apresentadas as questões e respostas obtidas com o formulário aplicado ao Grupo Focal. Considerando que esta seção corresponde à etapa de identificação e motivação do problema na metodologia DSR, essas respostas são tratadas como evidências diagnósticas, e não como avaliação final da ferramenta. A análise permite compreender os desafios e necessidades identificados pelos participantes em relação ao monitoramento do desmatamento em Terras Indígenas, contribuindo para a definição dos requisitos e para o desenvolvimento de uma solução mais alinhada às demandas do público envolvido.

3.1.1 Análise das Respostas

Pergunta 1: Você acredita que a vigilância de incêndios e desmatamentos em territórios indígenas é uma necessidade real?

Esta pergunta buscou aferir a percepção dos participantes sobre a relevância e a urgência do monitoramento ambiental em Terras Indígenas.

Figura 4 - Vigilância de Incêndios e Desmatamentos em Territórios Indígenas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Distribuição das Respostas (Figura 4):

- a. Não, acredito que não seja uma necessidade real: 0 respostas
- b. Talvez seja necessário, mas não vejo isso como uma prioridade: 0 respostas
- c. É importante, mas pode não ser essencial: 0 respostas
- d. Sim, é uma necessidade importante: 5 respostas
- e. Sim, é absolutamente essencial e urgente: 11 respostas

Análise:

- [1] Falta de Respostas Negativas: Nenhum respondente escolheu as opções "Não, acredito que não seja uma necessidade real", "Talvez seja necessário, mas não vejo isso como uma prioridade", ou "É importante, mas pode não ser essencial". Isso indica que todos os participantes reconhecem, pelo menos, alguma necessidade de vigilância.
- [2] Reconhecimento da Importância: Cinco respondentes indicaram que a vigilância é uma necessidade importante, embora não a classifiquem como urgentemente essencial. Isso sugere um reconhecimento da importância do monitoramento ambiental, mesmo sem uma percepção de emergência imediata.
- [3] Predominância da Urgência: A maioria dos respondentes (11) considera a vigilância como absolutamente essencial e urgente. Isso demonstra uma forte percepção de necessidade crítica e imediata para monitoramento ambiental em territórios indígenas.

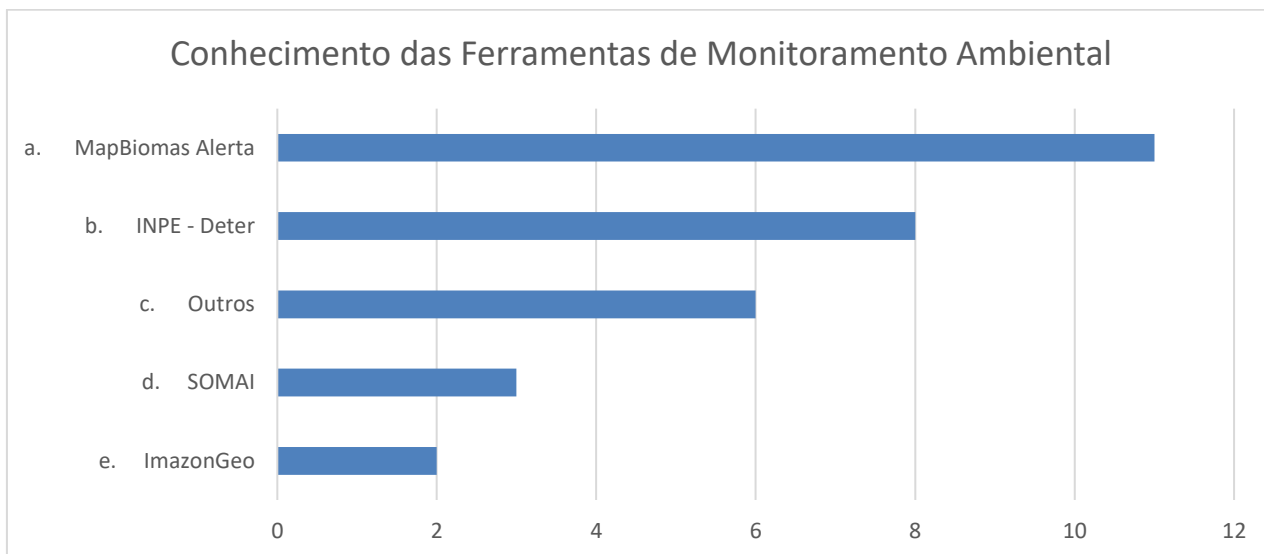
Conclusão da Pergunta 1

As respostas indicam um consenso significativo sobre a necessidade de vigilância de incêndios e desmatamentos em territórios indígenas, com uma predominância da urgência dessa necessidade. Não houve respondentes que desconsiderassem a necessidade de vigilância ou que a classificassem como não prioritária, reforçando a percepção de que este é um tema de grande relevância e prioridade para os participantes da pesquisa.

Pergunta 2: Quais das ferramentas de monitoramento ambiental abaixo você conhece?

Esta pergunta buscou identificar o grau de familiaridade dos participantes com ferramentas já existentes de monitoramento ambiental

Figura 5 - Conhecimento das Ferramentas de Monitoramento Ambiental



Fonte: Elaborado pelo autor.

Distribuição das Respostas (Figura 5):

- a. MapBiomas Alerta: 11 menções
- b. INPE - Deter: 8 menções
- c. Outros: 6 menções
- d. SOMAI: 3 menções
- e. ImazonGeo: 2 menções

Análise:

- [1] Predominância de MapBiomas Alerta e INPE - Deter: Assim como observado anteriormente, "MapBiomas Alerta" e "INPE - Deter" são as ferramentas mais conhecidas entre os respondentes, com 11 e 8 menções, respectivamente. Isso indica que essas ferramentas têm maior visibilidade ou utilização no contexto dos participantes.
- [2] Ferramentas mencionadas com menor frequência: Embora menos citadas, as ferramentas "SOMAI" e "ImazonGeo" foram mencionadas por parte dos participantes, com 3 e 2 menções, respectivamente. Essas ocorrências indicam que alguns respondentes possuem conhecimento prévio de outras iniciativas de monitoramento ambiental, ainda que elas não tenham sido incorporadas como fontes de dados nem analisadas como trabalhos relacionados no escopo desta pesquisa.
- [3] Categoria Outros: A categoria "Outros" recebeu 6 menções, indicando que existem várias outras ferramentas ou respostas não padronizadas como: "GeoPortal e Firms da Nasa" mencionadas pelos participantes. Isso sugere que, além das ferramentas listadas, há um reconhecimento de outras opções de monitoramento ambiental, embora com menos frequência.

Conclusão da Pergunta 2

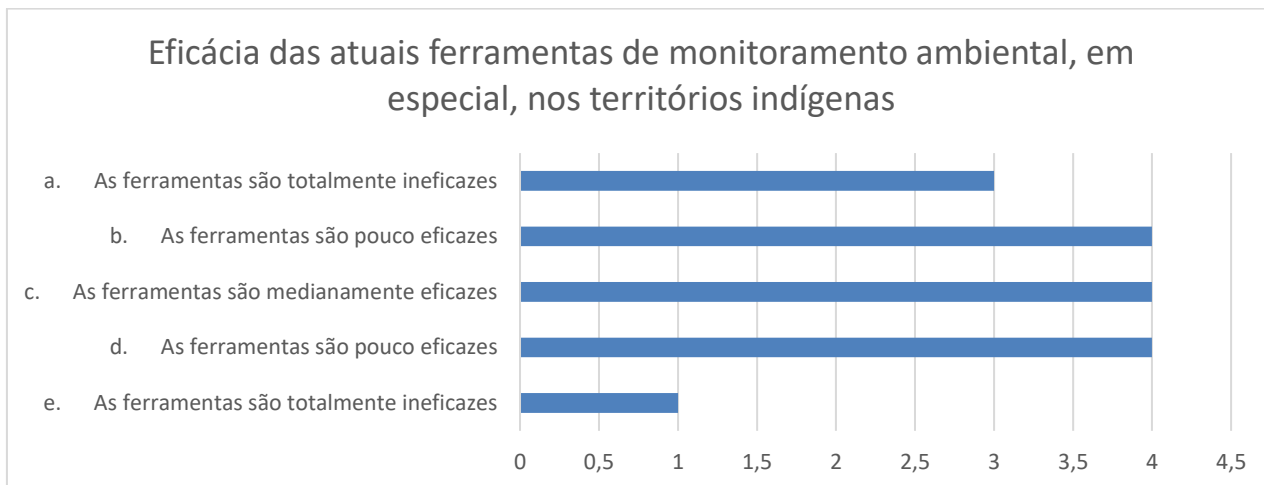
O conhecimento sobre ferramentas de monitoramento ambiental entre os respondentes é concentrado principalmente em "MapBiomas Alerta" e "INPE - Deter". No entanto, existe uma variedade de outras ferramentas mencionadas, agrupadas na categoria "Outros", que também são reconhecidas. Esse cenário sugere que, enquanto algumas ferramentas são bem estabelecidas e amplamente conhecidas, há espaço para aumentar a visibilidade e o uso de outras ferramentas no monitoramento ambiental.

Ressalta-se que as menções a SOMAI e ImazonGeo no formulário tiveram caráter exploratório, voltado ao levantamento das ferramentas conhecidas pelos participantes. Essas plataformas não foram incluídas no levantamento dos trabalhos relacionados por não terem sido utilizadas como fontes de dados no IndiMap e por não integrarem o escopo principal de comparação da solução. A seleção dos trabalhos relacionados priorizou estudos e iniciativas com maior aderência ao problema de pesquisa, especialmente quanto à integração de dados, monitoramento ambiental em Terras Indígenas, disponibilização de informações geoespaciais e disseminação de alertas.

Pergunta 3: Como você avalia a eficácia das atuais ferramentas de monitoramento ambiental, em especial, nos territórios indígenas, quando o foco é disponibilizar estas informações para o cidadão comum?

Esta pergunta buscou aferir a percepção dos participantes sobre a efetividade das ferramentas existentes quanto à acessibilidade e à compreensão das informações pelo público não especializado.

Figura 6 - Eficácia das atuais ferramentas de monitoramento ambiental, em especial, nos Territórios Indígenas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Distribuição das Respostas (Figura 6):

- a. As ferramentas são totalmente ineficazes: 1 resposta
- b. As ferramentas são pouco eficazes: 4 respostas
- c. As ferramentas são medianamente eficazes: 4 respostas
- d. As ferramentas são bastante eficazes: 4 respostas
- e. As ferramentas são extremamente eficazes: 3 respostas

Análise:

- [1] Percepção de Ineficácia Total: Apenas 1 respondente considerou as ferramentas "totalmente ineficazes". Esta é a opinião menos comum entre os participantes, sugerindo que a maioria vê algum valor nas ferramentas atuais.
- [2] Divisão de Opiniões: As respostas são bastante equilibradas entre "pouco eficazes", "medianamente eficazes" e "bastante eficazes", com cada uma dessas categorias recebendo 4 respostas. Isso indica uma diversidade de opiniões sobre a eficácia das ferramentas, com muitos vendo-as como tendo algum nível de eficácia.
- [3] Alta Eficácia: 3 respondentes consideraram as ferramentas "extremamente eficazes", indicando que uma porção significativa dos participantes vê as ferramentas de monitoramento como altamente eficazes.

Conclusão da pergunta 3:

As respostas indicam uma ampla gama de percepções sobre a eficácia das ferramentas de monitoramento ambiental. Embora haja um pequeno número de respondentes que veem as ferramentas como totalmente ineficazes, a maioria dos participantes acredita que as ferramentas têm algum grau de eficácia, variando de pouco a extremamente eficazes. Essa diversidade de

opiniões sugere que, embora as ferramentas atuais sejam valiosas, há espaço para melhorias e ajustes para aumentar sua eficácia percebida entre os usuários.

Pergunta 4: Você considera importante que as comunidades indígenas tenham acesso direto às informações sobre o estado ambiental (queimadas e desmatamento) de suas terras?

Esta pergunta buscou verificar a importância atribuída ao acesso direto das comunidades indígenas às informações ambientais relacionadas aos seus territórios.

Figura 7 - Importância do Acesso Direto às Informações Ambientais pelas Comunidades Indígenas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Distribuição das Respostas (Figura 7):

- a. Não, não considero importante: 0 respostas
- b. Acho que é um pouco importante, mas não crucial: 0 respostas
- c. É importante, mas não é uma prioridade: 0 respostas
- d. Sim, é bastante importante: 6 respostas
- e. Sim, é extremamente importante e necessário: 10 respostas

Análise:

[1] Consenso sobre a Importância: Nenhum dos respondentes considerou o acesso direto às informações ambientais pelas comunidades indígenas como "não importante", "um pouco importante, mas não crucial", ou "importante, mas não uma prioridade". Isso indica que todos os participantes reconhecem a relevância desse acesso.

[2] Alta Importância e Necessidade: A maioria dos respondentes (10) considera que

é "extremamente importante e necessário" que as comunidades indígenas tenham acesso direto às informações sobre o estado ambiental de suas terras. Isso demonstra uma forte percepção de necessidade e urgência para esse acesso.

- [3] Importância Significativa: Seis respondentes afirmaram que o acesso é "bastante importante", reforçando ainda mais a percepção de que o acesso direto às informações ambientais é crucial para as comunidades indígenas.

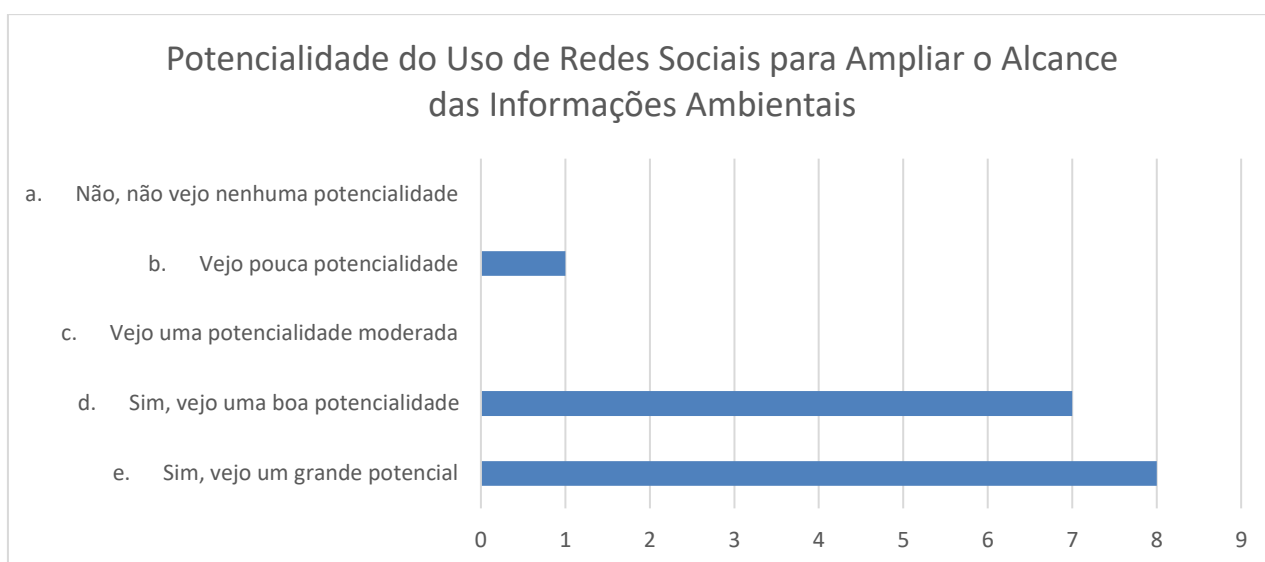
Conclusão da pergunta 4

As respostas indicam um consenso claro sobre a importância do acesso direto às informações ambientais pelas comunidades indígenas. A grande maioria dos participantes considera esse acesso como extremamente importante e necessário, o que reflete uma compreensão da necessidade crítica de informar e capacitar as comunidades indígenas para a gestão e proteção de seus territórios. Não houve respondentes que desconsiderassem ou minimizassem a importância desse acesso, destacando a relevância universal desta questão entre os participantes da pesquisa.

Pergunta 5: Você vê alguma potencialidade no uso de redes sociais para ampliar o alcance das informações sobre ilícitos ou problemas ambientais em territórios indígenas?

Esta pergunta buscou aferir a percepção dos participantes sobre o potencial das redes sociais como canais de disseminação de alertas e informações ambientais

Figura 8 - Potencialidade do Uso de Redes Sociais para Ampliar o Alcance das Informações Ambientais



Fonte: Elaborado pelo autor.

Distribuição das Respostas (Figura 8):

- a. Não, não vejo nenhuma potencialidade: 0 respostas

- b. Vejo pouca potencialidade: 1 resposta
- c. Vejo uma potencialidade moderada: 0 respostas
- d. Sim, vejo uma boa potencialidade: 7 respostas
- e. Sim, vejo um grande potencial: 8 respostas

Análise

- [1] Predominância de Percepções Positivas: A maioria dos respondentes vê um grande ou bom potencial no uso de redes sociais para ampliar o alcance das informações sobre problemas ambientais em territórios indígenas. Isso se reflete em 7 respondentes que veem "uma boa potencialidade" e 8 que veem "um grande potencial".
- [2] Baixa Percepção de Ineficácia: Apenas um respondente vê "pouca potencialidade" e nenhum vê "nenhuma potencialidade" ou "potencialidade moderada". Isso sugere que a maioria acredita na eficácia das redes sociais para esse propósito.
- [3] Reconhecimento do Potencial das Redes Sociais: A forte inclinação para respostas positivas indica um reconhecimento do papel que as redes sociais podem desempenhar na disseminação de informações e na conscientização sobre ilícitos ambientais em territórios indígenas.

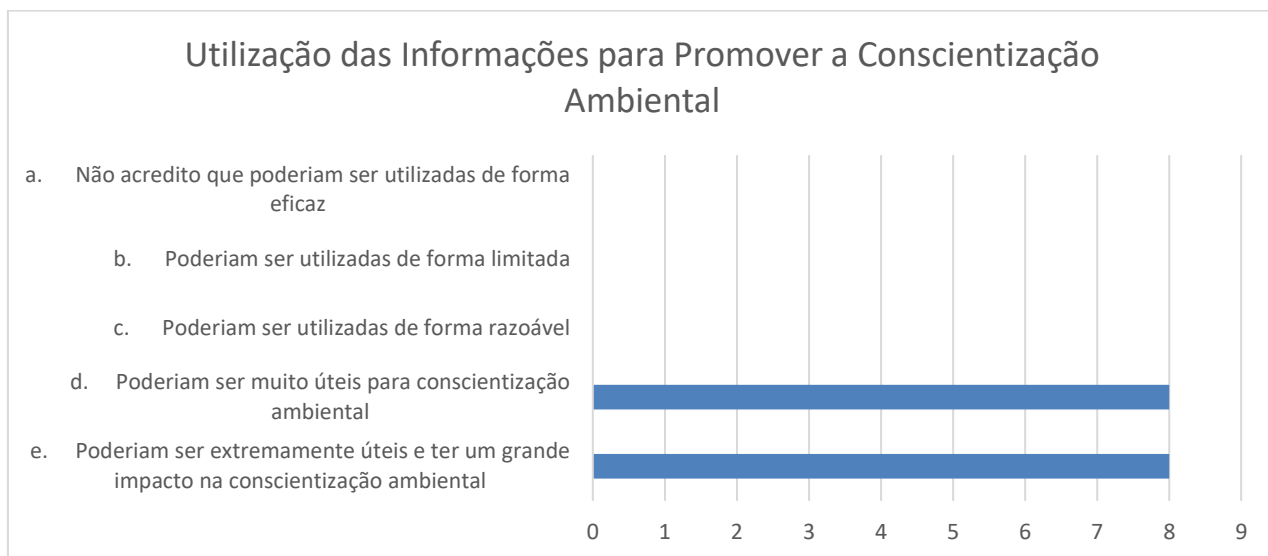
Conclusão da pergunta 5

As respostas indicam que há uma percepção amplamente positiva sobre a utilização de redes sociais para ampliar o alcance das informações sobre ilícitos ou problemas ambientais em territórios indígenas. A maioria dos participantes vê um grande ou bom potencial nas redes sociais para esse fim, indicando que essas plataformas são vistas como ferramentas eficazes para disseminação de informações e aumento da conscientização. Há muito pouca dúvida entre os participantes sobre a potencialidade dessas ferramentas, o que sugere um consenso sobre sua importância e utilidade.

Pergunta 6: Como você imagina que as informações geradas por um sistema de monitoramento ambiental poderiam ser utilizadas para promover a conscientização ambiental?

Esta pergunta buscou compreender como os participantes percebem o uso das informações ambientais como instrumento de conscientização e engajamento social

Figura 9 - Utilização das Informações para Promover a Conscientização Ambiental



Fonte: Elaborado pelo autor.

Distribuição das Respostas (Figura 9):

- a. Não acredito que poderiam ser utilizadas de forma eficaz: 0 respostas
- b. Poderiam ser utilizadas de forma limitada: 0 respostas
- c. Poderiam ser utilizadas de forma razoável: 0 respostas
- d. Poderiam ser muito úteis para conscientização ambiental: 8 respostas
- e. Poderiam ser extremamente úteis e ter um grande impacto na conscientização ambiental: 8 respostas

Análise:

- [1] Alta Percepção de Utilidade: As respostas estão divididas igualmente entre "muito úteis" e "extremamente úteis", com 8 menções cada. Isso indica uma forte percepção de que as informações geradas por um sistema de monitoramento ambiental podem ter um impacto significativo na conscientização ambiental.
- [2] Ausência de Respostas Negativas: Nenhum respondente acredita que essas informações seriam utilizadas de forma limitada, razoável, ou ineficaz. Isso mostra um consenso sobre a alta eficácia dessas informações para promover a conscientização ambiental.

Conclusão da pergunta 6:

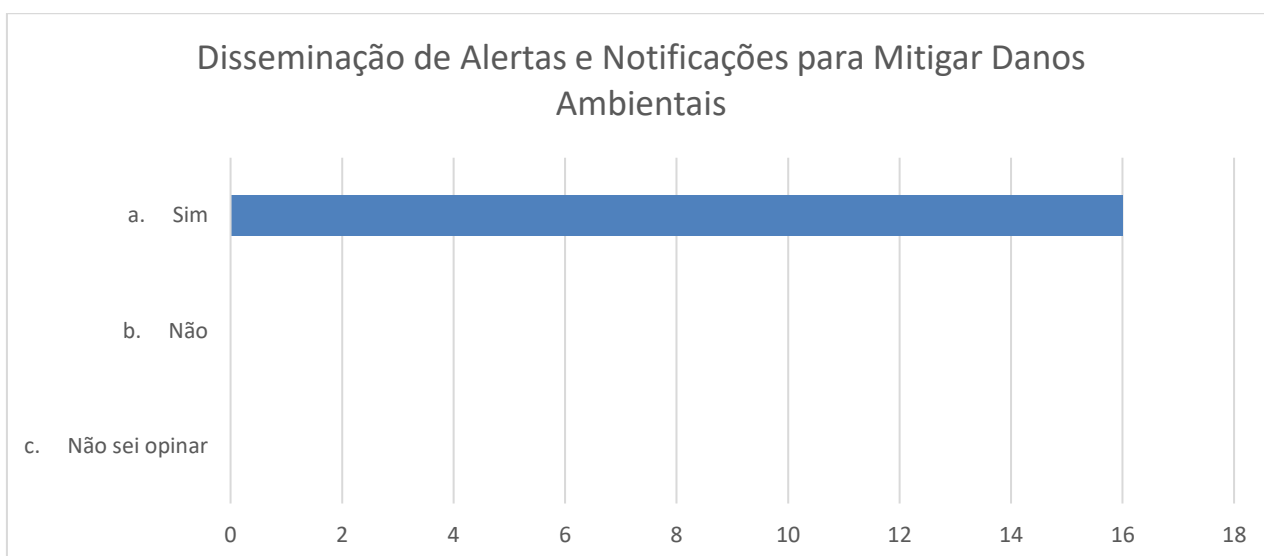
As respostas indicam que todos os participantes veem um grande potencial nas informações geradas por sistemas de monitoramento ambiental para promover a conscientização ambiental. A percepção é unânime quanto à utilidade dessas informações, com todos acreditando que elas seriam "muito úteis" ou "extremamente úteis e teriam um grande

impacto". Isso reflete a crença de que sistemas de monitoramento ambiental são ferramentas poderosas para aumentar a conscientização e possivelmente influenciar ações em prol do meio ambiente.

Pergunta 7: Você acredita que a disseminação de alertas e notificações sobre incêndios e desmatamentos pode ajudar a mitigar danos ambientais através da conscientização e democratização do acesso a estas informações?

Esta pergunta buscou verificar se os participantes associam a disseminação de alertas à mitigação de danos ambientais por meio da ampliação do acesso à informação.

Figura 10 - Disseminação de Alertas e Notificações para Mitigar Danos Ambientais



Fonte: Elaborado pelo autor.

Distribuição das Respostas (Figura 10):

- a. Sim: 16 respostas
- b. Não: 0 respostas
- c. Não sei opinar: 0 respostas

Análise:

- [1] **Consenso Positivo:** Todos os respondentes acreditam que a disseminação de alertas e notificações pode ajudar a mitigar danos ambientais. Isso mostra uma forte confiança no papel da comunicação e da democratização das informações para a conscientização e ação ambiental.
- [2] **Ausência de Ceticismo:** Nenhum dos participantes respondeu "Não" ou "Não sei opinar", indicando que não há dúvidas entre os respondentes sobre a eficácia dessa estratégia de disseminação de informações.

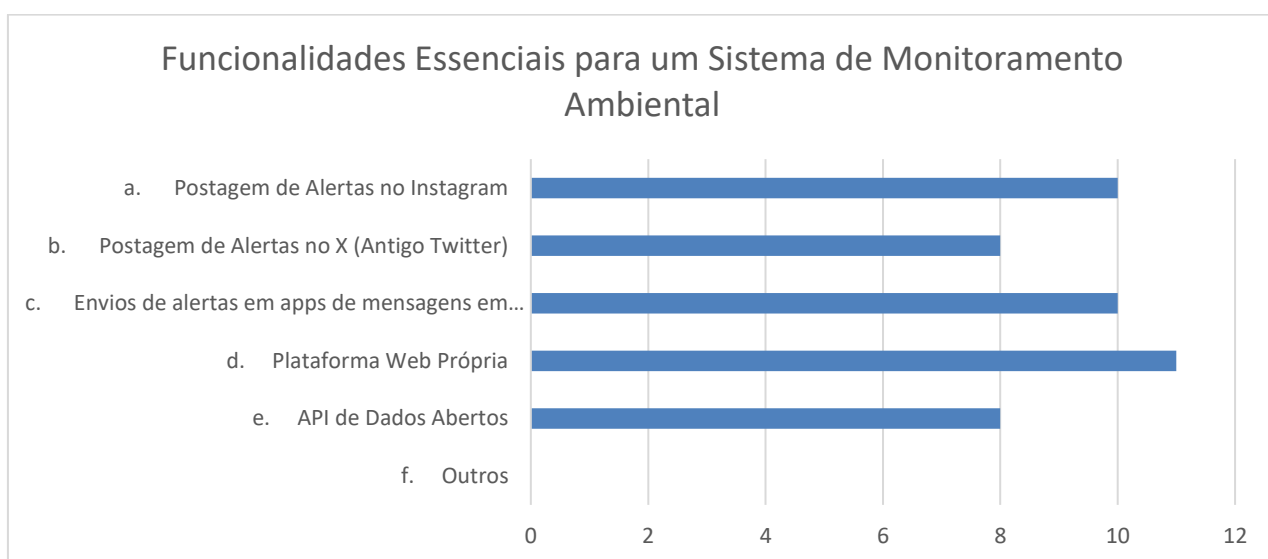
Conclusão da pergunta 7:

As respostas indicam um consenso unânime de que a disseminação de alertas e notificações sobre incêndios e desmatamentos é uma ferramenta eficaz para mitigar danos ambientais. Todos os participantes acreditam que essa abordagem ajuda na conscientização e na democratização do acesso às informações, reforçando a importância da comunicação ativa e acessível para a proteção ambiental.

Pergunta 8: Quais funcionalidades você acha essencial que um sistema de monitoramento ambiental ofereça para ser útil no seu contexto de trabalho e na geração de engajamento e conscientização?

Esta pergunta buscou identificar requisitos funcionais considerados essenciais para uma solução de monitoramento ambiental voltada ao acesso, à disseminação e ao reuso das informações.

Figura 11 - Funcionalidades Essenciais para um Sistema de Monitoramento Ambiental



Fonte: Elaborado pelo autor.

Distribuição das Respostas (Figura 11):

- a. Postagem de Alertas no Instagram: 10 menções
- b. Postagem de Alertas no X (Antigo Twitter): 8 menções
- c. Envios de alertas em apps de mensagens em específicos das principais terras indígenas no Telegram: 10 menções
- d. Plataforma Web Própria: 11 menções
- e. API de Dados Abertos: 8 menções

f. Outros: 0 menções

Análise:

- [1] Alta Demanda por Plataformas Web e Redes Sociais: A "Plataforma Web Própria" foi a funcionalidade mais mencionada (11 vezes), seguida de perto pelas "Postagem de Alertas no Instagram" e "Envios de alertas em apps de mensagens em específicos das principais terras indígenas no Telegram" (ambas com 10 menções). Isso indica uma forte preferência por plataformas que permitem a disseminação de informações e alertas de maneira acessível e direta.
- [2] API de Dados Abertos: A funcionalidade "API de Dados Abertos" também foi mencionada 8 vezes, refletindo a importância de fornecer acesso programático aos dados para desenvolvedores e pesquisadores que podem querer integrar ou analisar as informações.

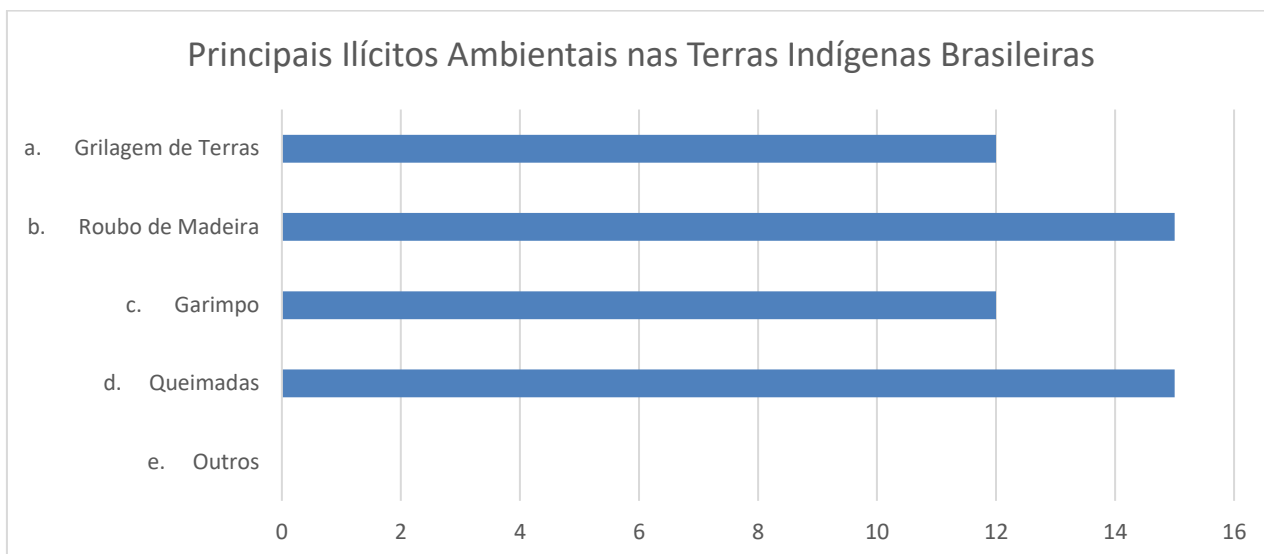
Conclusão da pergunta 8

As respostas indicam que, para ser útil no contexto de trabalho e na geração de engajamento e conscientização, um sistema de monitoramento ambiental deve incluir principalmente uma plataforma web própria, capacidade de postar alertas em redes sociais como Instagram e X (antigo Twitter), e enviar alertas específicos via Telegram. Além disso, fornecer uma API de dados abertos também é considerado importante. Essas funcionalidades são vistas como essenciais para garantir que as informações sejam acessíveis, dissemináveis e utilizáveis tanto pelo público geral quanto por profissionais e pesquisadores.

Pergunta 9: Quais os principais ilícitos ambientais que você acredita que ocorram nas Terras indígenas Brasileiras?

Esta pergunta buscou identificar a percepção dos participantes sobre os principais tipos de pressão e ilícitos ambientais associados às Terras Indígenas brasileiras.

Figura 12 - Principais Ilícitos Ambientais nas Terras Indígenas Brasileiras



Fonte: Elaborado pelo autor.

Distribuição das Respostas (Figura 12):

- a. Grilagem de Terras: 12 menções
- b. Roubo de Madeira: 15 menções
- c. Garimpo: 12 menções
- d. Queimadas: 15 menções
- e. Outros: 0 menções

Análise:

- [1] Predominância de Roubo de Madeira e Queimadas: As atividades de "Roubo de Madeira" e "Queimadas" foram mencionadas 15 vezes cada, indicando que são percebidas como os ilícitos ambientais mais comuns nas terras indígenas.
- [2] Grilagem de Terras e Garimpo: Ambas as atividades foram mencionadas 12 vezes, sugerindo que também são vistas como problemas significativos, embora ligeiramente menos mencionados do que roubo de madeira e queimadas.
- [3] Ausência de Outras Atividades: Nenhum respondente mencionou outras atividades ilícitas além das listadas, o que pode indicar que os ilícitos principais são bem definidos e reconhecidos pelos participantes.

Conclusão da pergunta 9:

As respostas indicam que os principais ilícitos ambientais nas terras indígenas brasileiras são o roubo de madeira e as queimadas, seguidos de perto pela grilagem de terras e o garimpo. Essa percepção pode refletir a prevalência dessas atividades nas áreas indígenas e a preocupação dos respondentes com os impactos ambientais resultantes dessas práticas. A

ausência de menções a "Outros" ilícitos sugere que os problemas são bem identificados e reconhecidos pelos participantes da pesquisa.

3.1.2 Conclusão Geral da análise de respostas do formulário

O questionário revela uma forte percepção da importância e urgência do monitoramento ambiental em territórios indígenas. As ferramentas de monitoramento atuais são conhecidas e vistas como eficazes, mas há espaço para melhorias. As comunidades indígenas precisam de acesso direto às informações ambientais, e as redes sociais são vistas como plataformas eficazes para disseminar essas informações. A disseminação de alertas e notificações é unanimemente considerada útil para mitigar danos ambientais. As funcionalidades mais desejadas para um sistema de monitoramento incluem uma plataforma web própria, integrações com redes sociais e APIs de dados abertos. Os principais ilícitos ambientais identificados são o roubo de madeira e as queimadas.

3.2 Definição de Objetivos para uma Solução

Após identificar o problema, a metodologia Design Science Research (DSR) exige a definição clara e verificável dos objetivos do artefato a ser desenvolvido. Neste trabalho, esses objetivos derivaram diretamente dos achados do Formulário 1 (grupo focal), que evidenciou prioridades de uso, expectativas de acesso e estratégias de disseminação consideradas mais efetivas no contexto do monitoramento ambiental em Terras Indígenas.

Em primeiro lugar, o grupo focal indicou alta urgência e relevância do monitoramento de incêndios e desmatamentos em Terras Indígenas, com predominância de respostas que o classificam como “absolutamente essencial e urgente”, sem registro de percepções de baixa prioridade. Esse resultado fundamenta o requisito central de tempestividade, isto é, a solução deve ser capaz de processar e publicar alertas de forma contínua, com atualização frequente e automação dos fluxos de dados, reduzindo atrasos entre a detecção do evento e sua disponibilização ao público.

No que se refere ao ecossistema atual de monitoramento, o formulário apontou que o conhecimento dos participantes concentra-se principalmente em MapBiomias Alerta e INPE/DETER, embora outras fontes também sejam mencionadas. Esse achado sustenta o requisito de integração de múltiplas fontes (com prioridade inicial para aquelas mais reconhecidas pelo público do estudo), bem como a necessidade de uma arquitetura que permita extensibilidade para inclusão de novas bases e produtos de monitoramento ao longo do ciclo de vida da ferramenta.

Apesar de as ferramentas atuais serem percebidas como tendo algum nível de eficácia, o grupo focal apresentou avaliações distribuídas (de “pouco eficazes” a “extremamente eficazes”) quando o foco é disponibilizar as informações para públicos envolvidos ou interessados no monitoramento ambiental em Terras Indígenas. Esse resultado fundamenta um

requisito de acessibilidade comunicacional e usabilidade, no sentido de que a IndiMap deve traduzir alertas técnicos para formas de apresentação mais compreensíveis, com linguagem objetiva, contextualização mínima e caminhos diretos para consulta e verificação dos registros.

Outro ponto fortemente sustentado pelo Formulário 1 é a necessidade de acesso direto às informações pelas comunidades indígenas, considerado universalmente importante pelos respondentes, com predominância da avaliação de que é “extremamente importante e necessário”. Assim, estabelece-se como requisito que a solução disponibilize os dados e alertas por canais que reduzam barreiras de acesso, promovendo transparência, autonomia informacional e apoio à gestão territorial e à proteção dos territórios.

No eixo de disseminação e engajamento, o grupo focal foi especialmente conclusivo: há percepção amplamente positiva sobre o uso de redes sociais como meio de ampliar alcance, com predominância de respostas indicando “bom” ou “grande potencial”. Além disso, todos os respondentes concordaram que a disseminação de alertas e notificações pode mitigar danos ambientais por conscientização e democratização do acesso. Em coerência com esses resultados, o Formulário 1 também identificou como funcionalidades essenciais: plataforma web própria, postagens em Instagram, envios por aplicativos de mensagens (Telegram), postagens no X (Twitter) e API de dados abertos. Desse conjunto de evidências derivam requisitos funcionais explícitos de publicação multicanal, centralização via plataforma web e exposição de dados por API, de modo a atender simultaneamente público geral, comunidades e usuários técnicos (pesquisadores/desenvolvedores).

Por fim, o grupo focal indicou percepção clara sobre os principais ilícitos ambientais associados às Terras Indígenas, com destaque para roubo de madeira e queimadas, seguidos por grilagem e garimpo, sem menções adicionais fora das opções apresentadas. Embora o escopo central do artefato esteja associado ao monitoramento de desmatamento e queimadas, esses achados reforçam o requisito de que a IndiMap deve permitir contextualização temática dos alertas (ao menos por categorias correlatas), favorecendo leitura pública do problema e apoiando análises territoriais mais completas.

Diante do exposto, os objetivos da IndiMap foram definidos como a implementação de um artefato que: (i) integre e processe dados de múltiplas fontes reconhecidas no domínio, com atualização automatizada; (ii) amplie a acessibilidade e compreensibilidade das informações para o cidadão comum; (iii) disponibilize acesso direto às comunidades indígenas e demais interessados; e (iv) realize disseminação multicanal de alertas, apoiada por plataforma web e API de dados abertos, em alinhamento com as funcionalidades consideradas essenciais pelo grupo focal.

3.3 Design e Desenvolvimento

O terceiro passo da metodologia Design Science Research (DSR) consistiu no design e desenvolvimento do artefato IndiMap, conduzido a partir dos requisitos derivados do Formulário 1 e dos objetivos definidos na etapa anterior. Nesta fase, a ênfase não recaiu na descrição exaustiva de componentes tecnológicos, mas na explicitação de como decisões de projeto e um padrão arquitetural coerente foram adotados para viabilizar, de modo rastreável, as funcionalidades demandadas e os atributos de qualidade esperados (tempestividade, acesso amplo, reuso e disseminação).

Para atender ao requisito de atualização contínua e tempestiva dos alertas — associado à percepção de urgência e essencialidade do monitoramento —, o desenho da solução adotou uma separação explícita entre aquisição de dados, processamento e disponibilização, permitindo que a ingestão e transformação ocorram de forma automatizada e recorrente, sem depender de intervenções manuais e sem comprometer a camada de apresentação ao usuário. Essa decisão de projeto estabelece um fluxo controlado e repetível, no qual dados provenientes de múltiplas fontes são incorporados, normalizados e consolidados antes de serem expostos ao usuário final, reduzindo atrasos e favorecendo consistência operacional.

Em alinhamento ao requisito de integração de múltiplas fontes de dados geoespaciais (com destaque para aquelas mais reconhecidas pelos participantes do estudo), o desenvolvimento foi organizado em uma arquitetura modular em cinco camadas, conforme apresentada na Figura 13. Essa arquitetura contempla: (i) uma camada de dados, responsável por manter, de forma estruturada, os eventos e seus atributos; (ii) uma camada de extração, encarregada de coletar dados brutos das fontes monitoradas; (iii) uma camada de processamento, responsável por realizar padronizações, filtrações, integrações e derivação de atributos; (iv) uma camada de APIs, dedicada à disponibilização estruturada dos dados e funcionalidades; e (v) uma camada de apresentação e disseminação, voltada à disponibilização ao usuário e à distribuição por diferentes canais. O fluxo entre essas camadas se inicia na obtenção dos dados de origem, segue pelo processamento e armazenamento, e se conclui na oferta das informações por meio das APIs e das interfaces de acesso.

O requisito de publicação multicanal — evidenciado pela demanda por plataforma web, redes sociais e aplicações de mensagens — foi contemplado por um desenho que separa o “núcleo” do sistema (integração, armazenamento e seleção de alertas) dos módulos de disseminação, que atuam como adaptadores para diferentes canais. Essa decisão reduz acoplamento e favorece a manutenção: o mesmo alerta consolidado pode ser apresentado em uma interface web, ao mesmo tempo em que é formatado e distribuído conforme restrições e padrões de cada canal. Assim, a disseminação é tratada como uma capacidade transversal da arquitetura, derivada diretamente do requisito central de ampliar alcance e engajamento.

Em consonância com o requisito de acesso aberto e reutilização por diferentes perfis de usuários (público geral, pesquisadores e profissionais), adotou-se uma abordagem API-first, na qual a disponibilização dos dados é concebida como serviço consumível por aplicações externas e pela própria interface web. Essa escolha é coerente com a necessidade de democratização do acesso e viabiliza reuso, auditoria e integração com outras iniciativas, além de sustentar consistência entre o que é visualizado pelo usuário e o que é disponibilizado para consumo programático.

Quanto ao requisito de acessibilidade comunicacional e usabilidade, associado à percepção de que plataformas existentes não atendem plenamente o cidadão comum, o design de interação priorizou a apresentação dos alertas com clareza e contextualização mínima, garantindo que a informação territorial seja compreensível sem exigir conhecimento técnico especializado. Do ponto de vista arquitetural, essa preocupação se materializa na separação entre a lógica de processamento e as camadas de apresentação, permitindo que a experiência do usuário evolua por prototipação iterativa, sem comprometer regras de negócio e integridade dos dados. Assim, aspectos como organização visual, navegação e responsividade podem ser aprimorados ao longo do desenvolvimento, mantendo estabilidade na base informacional.

O desenvolvimento do artefato foi conduzido de forma incremental, com validações sucessivas orientadas a requisitos: cada incremento buscou materializar capacidades essenciais (integração, seleção de alertas, apresentação e disseminação), de modo a permitir ajustes consistentes, reduzir retrabalho e garantir aderência ao propósito do sistema. Essa estratégia foi fundamental para demonstrar, no âmbito da DSR, que o artefato não é apenas uma implementação técnica, mas uma resposta projetada e justificável aos requisitos do contexto investigado.

Em síntese, o design e desenvolvimento da IndiMap resultaram em um artefato estruturado por um padrão arquitetural em camadas, sustentado por pipeline de integração e processamento e por uma abordagem orientada a serviços (API) para disseminação e acesso. Esse desenho foi adotado precisamente para viabilizar os requisitos levantados no grupo focal — tempestividade, integração de fontes, acesso ampliado, dados abertos e disseminação multicanal — e para permitir evolução contínua do sistema com baixo acoplamento entre componentes, em coerência com os princípios da metodologia DSR.

3.4 Demonstração

Conforme a metodologia Design Science Research (DSR), a etapa de demonstração teve como objetivo apresentar o artefato em contexto de uso, verificando sua aplicabilidade prática diante do problema investigado. Nesta pesquisa, a demonstração ocorreu com a disponibilização da plataforma IndiMap em seu ambiente de publicação, permitindo sua apresentação e utilização pelos participantes. Nessa etapa, puderam ser observadas suas

funcionalidades centrais, especialmente aquelas relacionadas à integração de dados, à consulta de alertas geoespaciais e à disseminação de informações sobre ilícitos ambientais em Terras Indígenas.

A demonstração do artefato foi realizada após a etapa de levantamento de requisitos, permitindo que os participantes tivessem contato com a solução desenvolvida a partir das necessidades identificadas anteriormente. Essa etapa foi importante para evidenciar, em situação de uso, a materialização dos requisitos funcionais e informacionais levantados no diagnóstico inicial, especialmente quanto à centralização de dados, ao acesso às informações e ao apoio à disseminação dos alertas.

Assim, a demonstração constituiu o momento em que o artefato deixou de ser apenas uma proposta conceitual e passou a ser observado em funcionamento, servindo de base para a etapa posterior de avaliação, na qual foram analisadas evidências técnicas e empíricas relacionadas ao desempenho e à percepção dos usuários.

3.5 Avaliação

A etapa de avaliação teve como objetivo verificar em que medida o artefato desenvolvido atendia aos requisitos definidos a partir do diagnóstico inicial e aos objetivos propostos para a solução. Para isso, a avaliação foi estruturada em dois eixos complementares. O primeiro reuniu evidências técnicas, obtidas por meio de testes funcionais, contratuais e de desempenho aplicados à API de Dados Abertos. Os testes contratuais foram realizados com base na especificação OpenAPI pública da API, disponível em <https://data.indimap.org/docs-json>, cuja documentação também pode ser consultada por meio do Swagger UI em <https://data.indimap.org/docs>. O segundo eixo reuniu evidências empíricas, produzidas a partir da aplicação do Formulário 2 ao grupo focal, após a apresentação e utilização da plataforma. Essa combinação de métodos buscou assegurar maior aderência entre os requisitos levantados no Formulário 1, as características implementadas no artefato e os resultados observados em sua utilização.

A coleta de dados referente à avaliação do artefato foi realizada em setembro de 2025, após a apresentação funcional da plataforma IndiMap e sua disponibilização aos participantes. Nessa etapa, foi aplicado o Formulário 2, intitulado “Avaliação da Ferramenta IndiMap para Monitoramento Ambiental em Territórios Indígenas”, com o objetivo de avaliar o artefato quanto à usabilidade, clareza das informações, desempenho percebido, relevância prática dos alertas, utilidade dos dados históricos, disseminação das informações e contribuição da plataforma para o monitoramento ambiental em Terras Indígenas. O formulário foi estruturado com questões fechadas e abertas, contemplando aspectos como perfil dos respondentes, experiência prévia com ferramentas de monitoramento, facilidade de uso da plataforma, compreensão dos mapas e alertas, tempo de resposta, utilização dos filtros de data, relevância

dos alertas de focos de calor e desmatamento, possibilidade de comprovação dos alertas em situações reais, utilidade da publicação em redes sociais, canal preferencial de acesso, contribuições percebidas e avaliação geral da ferramenta. As questões abertas permitiram coletar sugestões de funcionalidades futuras e comentários gerais sobre a experiência de uso. As respostas foram obtidas por meio eletrônico, exportadas em formato tabulado e analisadas por estatística descritiva simples, com frequências e proporções, complementadas por interpretação qualitativa das contribuições abertas.

A opção por avaliar por formulário justifica-se por duas razões: (i) o público-alvo é heterogêneo, incluindo perfis não técnicos; e (ii) os requisitos centrais identificados no diagnóstico, especialmente disseminação, acesso ampliado e relevância do conteúdo, podem ser verificados de forma direta por meio da percepção dos usuários, desde que organizados em critérios explícitos.

3.5.1 Métricas e critérios utilizados

As respostas do Formulário 2 foram analisadas de forma descritiva, a partir da frequência e proporção de respostas por item, permitindo verificar a aderência do artefato aos requisitos definidos. Para fins de interpretação, adotou-se como evidência de atendimento ao requisito a predominância de avaliações positivas, isto é, a concentração das respostas nas categorias superiores da escala empregada em cada item.

Os itens do formulário foram organizados em quatro dimensões, diretamente relacionadas aos requisitos definidos na etapa anterior:

- **Usabilidade e clareza:** percepção sobre facilidade de uso e compreensão das informações apresentadas na plataforma;
- **Relevância:** avaliação sobre utilidade dos alertas e adequação do conteúdo ao contexto de monitoramento em Terras Indígenas;
- **Disseminação:** percepção sobre a efetividade de compartilhar alertas em diferentes canais, como plataforma web e redes sociais;
- **Contribuição geral:** percepção sobre a contribuição do IndiMap para ampliar o acesso à informação e apoiar conscientização e engajamento.

3.5.2 Resultados da avaliação

Os resultados do Formulário 2 indicaram predominância de avaliações positivas nas dimensões analisadas, sugerindo que o artefato atende aos requisitos centrais identificados no diagnóstico, com destaque para a capacidade de ampliar o acesso às informações e facilitar a disseminação dos alertas. Além disso, as respostas abertas, quando presentes, foram utilizadas para identificar oportunidades de melhoria, especialmente relacionadas a ajustes de apresentação, organização das informações e melhorias incrementais na experiência do usuário.

Com base nessas evidências, conclui-se que a avaliação realizada confirma a adequação do IndiMap ao propósito do estudo, ao mesmo tempo em que orienta refinamentos futuros, em consonância com o ciclo iterativo proposto pela DSR.

3.6 Comunicação

O último passo da Metodologia DSR na criação da ferramenta IndiMap envolve a comunicação dos resultados, descobertas e impactos do projeto para públicos diversos, incluindo a comunidade acadêmica, stakeholders, organizações ambientais, comunidades indígenas e o público em geral. A comunicação eficaz dos resultados da pesquisa é essencial para disseminar o conhecimento gerado, promover a conscientização sobre a importância do monitoramento de desmatamento e queimadas em terras indígenas, e incentivar a adoção e uso da ferramenta IndiMap.

No contexto deste trabalho, a etapa de comunicação dos resultados já foi concluída, contemplando a divulgação científica, institucional e social da ferramenta. A seguir, apresentam-se alguns dos principais resultados alcançados nessa fase:

- A plataforma IndiMap foi inicialmente apresentada na conferência WebMedia 2023, promovida pela Sociedade Brasileira de Computação (SBC), durante a Sessão de Ferramentas e Demonstrações. Na ocasião, foi publicado um artigo curto nos anais do evento (MIRANDA et al., 2023), descrevendo a proposta inicial da ferramenta, sua arquitetura e os objetivos do projeto. Desde então, a plataforma evoluiu significativamente, com aprimoramento da arquitetura modular, implementação de três rotinas automatizadas de ETL, criação de uma API de dados abertos, ampliação da base de dados geoespaciais e integração completa com redes sociais. A minha contribuição no desenvolvimento incluiu a concepção do modelo arquitetural, implementação dos módulos de ETL e processamento de alertas, além da integração com fontes oficiais como INPE e MapBiomias.
- Após seu lançamento inicial, a plataforma IndiMap foi amplamente divulgada por diversos meios de comunicação. A mídia local do Estado da Paraíba destacou a ferramenta inovadora, desenvolvida no contexto deste Trabalho de Conclusão de Curso do Mestrado Profissional em Tecnologia da Informação do Instituto Federal da Paraíba, de minha autoria. Essa cobertura inicial chamou a atenção da mídia nacional, resultando em uma amplificação significativa da divulgação. A exposição proporcionada por essas fontes contribuiu para aumentar a visibilidade e o reconhecimento da plataforma IndiMap, destacando seu potencial para monitorar e combater o desmatamento em terras indígenas.

A integração com redes sociais foi um dos principais diferenciais da plataforma IndiMap. As redes sociais serviram como uma camada adicional de visualização de informações, permitindo uma disseminação mais ampla e acessível dos dados. Devido ao aspecto inovador dessa integração, a aceitação por blogs e sites especializados foi altamente positiva. Essa estratégia não apenas ampliou o alcance da plataforma, mas também facilitou o

engajamento e a interação com diversos públicos interessados na preservação ambiental e no monitoramento de desmatamento em terras indígenas, como integrantes de comunidades indígenas, pesquisadores, jornalistas ambientais, organizações não governamentais e cidadãos engajados em causas socioambientais.

Além disso, a plataforma IndiMap passou a contar com uma seção dedicada a “Dados Abertos”, na qual foi implementada uma API REST pública. Essa API permite que profissionais, acadêmicos, organizações ambientais e outros interessados acessem e integrem, de maneira programática, os dados processados pela plataforma. Sua concepção seguiu as recomendações das DWBP do W3C, garantindo que os dados sejam acessíveis, reutilizáveis e interoperáveis. Essa iniciativa ampliou a transparência da solução e fomentou a colaboração ao facilitar o uso dos dados do IndiMap em pesquisas e sistemas externos.

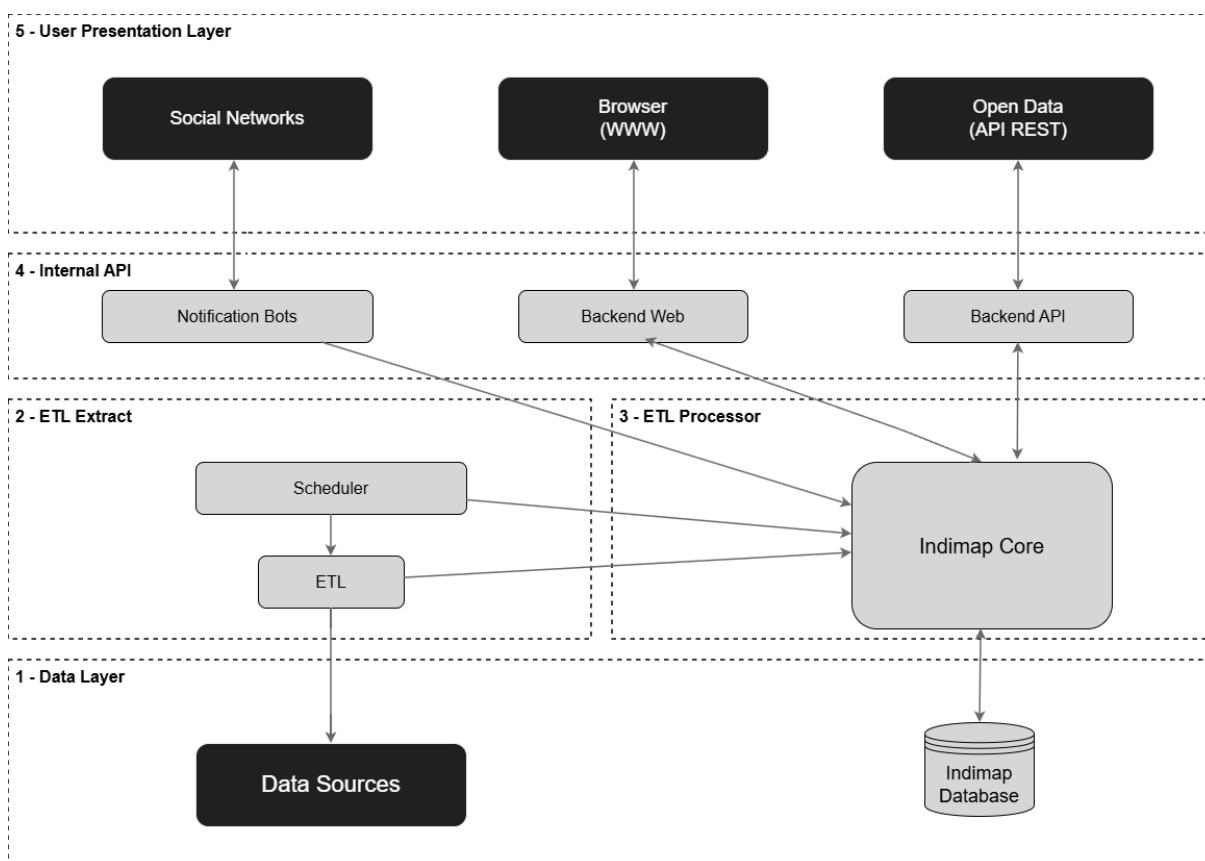
4 A FERRAMENTA INDIMAP

Nas próximas seções, serão apresentados detalhes sobre a arquitetura da aplicação, tais como o módulo de integração de dados geoespaciais, o módulo de processamento, o módulo de integração com redes sociais e a plataforma web.

4.1 Arquitetura

A arquitetura do IndiMap é composta por cinco camadas principais, que colaboram para o processamento e a apresentação de dados de alertas geoespaciais. A Figura 13 ilustra os componentes que representam essas camadas.

Figura 13 - Arquitetura do IndiMap



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.1 Data Layer

A camada de dados é responsável por gerenciar o conjunto de informações provenientes das fontes utilizadas pela plataforma IndiMap, especialmente o BDQueimadas/INPE, o DETER/TerraBrasilis, o DETER Cerrado/TerraBrasilis e o MapBiomias Alerta. Esses dados chegam à plataforma em diferentes formatos de origem: os focos de calor do BDQueimadas são obtidos em arquivos CSV, enquanto os alertas do DETER, do DETER Cerrado e do MapBiomias Alerta são obtidos em arquivos geoespaciais no formato Shapefile, disponibilizados em arquivos compactados. As plataformas SOMAI e ImazonGeo, embora mencionadas no diagnóstico inicial pelos participantes, não foram utilizadas como fontes de

dados da implementação. Após a extração, tratamento e padronização, essas informações são armazenadas no banco de dados geoespacial da plataforma, tornando-se essenciais para o funcionamento dos módulos de consulta, processamento e disseminação de alertas.

Nesse contexto, a camada de dados abriga um banco de dados PostgreSQL 15 com a extensão PostGIS 3.3. Este modelo de dados permite armazenar e gerenciar os eventos de alerta do IndiMap de maneira eficiente e confiável. Os eventos de alerta podem incluir dados geoespaciais, como geolocalização, intensidade, tamanho de área e tipo de alerta.

O uso do PostgreSQL com a extensão PostGIS é especialmente relevante para sistemas que lidam com dados geográficos, pois permite consultas espaciais complexas e otimizadas. Essa camada é fundamental para garantir a integridade e a disponibilidade dos dados de alerta.

4.1.2 ETL Extract

A camada de ETL Extract desempenha o papel de “motor” da plataforma. Ela é responsável por executar o processo de ETL (Extraction, Transform and Load) desenvolvido em Python 3, automatizando a coleta, preparação e carga dos dados provenientes das fontes utilizadas pelo IndiMap. Os processos de ETL ocorrem periodicamente, configurados via scheduler Crontab, e atuam sobre dados provenientes do BDQueimadas/INPE, DETER/TerraBrasilis, DETER Cerrado/TerraBrasilis e MapBiomias Alerta. As plataformas SOMAI e ImazonGeo, embora mencionadas no diagnóstico inicial pelos participantes, não foram utilizadas como fontes de dados da implementação.

Durante a extração, os dados brutos são coletados e preparados para a próxima etapa. Na transformação, os dados são limpos e enriquecidos com informações adicionais, como, por exemplo, a associação automática de cada foco de calor ao identificador da Terra Indígena correspondente. Essa associação prévia permite a otimização das consultas, reduzindo significativamente a necessidade de processamento espacial em tempo real. Por fim, na carga, os dados já estruturados e otimizados são inseridos no banco de dados, estando preparados para consultas eficientes e rápidas pela aplicação. O detalhamento das fontes de dados, formatos de origem e etapas específicas de integração é apresentado na Seção 4.3.

4.1.3 ETL Processor

A camada de ETL Processor concentra o núcleo de processamento da plataforma, representado pelo IndiMap Core. Nessa camada, os dados previamente extraídos e transformados são processados para filtragem, organização e preparação dos alertas relevantes ao contexto do monitoramento ambiental em Terras Indígenas. Conceitualmente, esse núcleo pode ser compreendido em três componentes principais: o componente de processamento, responsável por aplicar regras de seleção e identificar eventos relevantes; o componente de persistência, responsável por registrar os dados e alertas gerados no banco PostgreSQL/PostGIS; e o componente de disponibilização, responsável por tornar esses dados acessíveis às demais camadas da solução, especialmente à plataforma web, à API de dados abertos e aos mecanismos de disseminação automatizada.

Após o processamento, os alertas são persistidos no banco de dados e passam a ficar disponíveis para consulta e publicação. A seleção dos dados para consumo pela API e pela interface web ocorre a partir das informações já consolidadas no banco, mantendo separação conceitual entre a geração dos alertas, sua persistência e sua disponibilização aos usuários. No caso da disseminação automatizada, rotinas periódicas verificam a existência de notificações pendentes e realizam a publicação nos canais configurados, como redes sociais e demais meios

digitais.

Nesta versão da arquitetura, não foi utilizado serviço específico de mensageria ou cache, como filas externas ou mecanismos de armazenamento temporário. O controle do fluxo de publicação é realizado por rotinas agendadas e pelo próprio estado dos registros armazenados no banco de dados. Desse modo, o IndiMap Core atua como elemento central de articulação entre os fluxos de dados, o armazenamento e os diferentes meios de disponibilização das informações. Mais detalhes sobre o funcionamento do módulo de processamento e geração de alertas são apresentados na Seção 4.4.

4.1.4 Internal API

A camada de Internal API é responsável por intermediar o acesso aos dados processados pelo IndiMap Core e armazenados no banco de dados, disponibilizando essas informações para diferentes formas de consumo na plataforma. No desenvolvimento final da solução, essa camada passou a ser composta por dois backends com responsabilidades distintas.

O primeiro é o backend da plataforma web, desenvolvido em Python Flask 2.2.2, responsável por fornecer os dados e serviços consumidos pela interface web do IndiMap. Por meio desse backend, os usuários acessam os alertas integrados ao visualizador cartográfico, podendo consultar informações como localização, horário, Terra Indígena associada e tipo de alerta.

O segundo é o backend da API de dados abertos, desenvolvido em NestJS, responsável por disponibilizar a IndiMap Open Data API em arquitetura REST. Esse serviço foi concebido para atender especialistas, pesquisadores, desenvolvedores e demais interessados no consumo estruturado dos dados da plataforma, ampliando as possibilidades de reutilização das informações em aplicações externas, estudos e integrações.

Além disso, essa camada também se relaciona com os mecanismos de disseminação automatizada, oferecendo suporte ao envio e à publicação de alertas em redes sociais e outros canais digitais. Assim, a separação entre os dois backends contribui para uma organização mais clara das responsabilidades da solução, distinguindo o atendimento à interface web do fornecimento da API pública de dados abertos.

4.1.5 User Presentation Layer

A camada de apresentação ao usuário final corresponde aos meios pelos quais diferentes públicos acessam as informações disponibilizadas pelo IndiMap. Nessa camada, os usuários acessam a plataforma web por meio de navegadores, explorando os alertas e interagindo com o sistema a partir de uma interface cartográfica e informacional integrada.

Também fazem parte dessa camada os canais de redes sociais, por meio dos quais os alertas podem ser disseminados de forma automatizada, ampliando o alcance das informações para públicos diversos e favorecendo o acesso por dispositivos móveis.

Além da interface web e das redes sociais, essa camada inclui a API REST de dados abertos, disponibilizada para consumo por especialistas, acadêmicos e desenvolvedores. Por meio dela, é possível acessar de forma estruturada os dados fornecidos pelo IndiMap, o que

amplia o potencial de reutilização das informações em pesquisas, análises e novas aplicações. Dessa forma, a camada de apresentação reúne diferentes meios de acesso, cada um voltado a necessidades específicas de uso e consumo dos dados.

4.2 Aplicabilidade

A ferramenta IndiMap apresenta uma ampla gama de aplicações e possibilidades de uso, atendendo a diferentes públicos-alvo e necessidades específicas. Os principais beneficiários diretos incluem os usuários de redes sociais interessados em questões ambientais, que terão acesso a informações atualizadas e relevantes sobre desmatamento e queimadas em terras indígenas por meio de mensagens e alertas compartilhados nas plataformas online.

Além disso, profissionais e especialistas ligados ao monitoramento ambiental poderão utilizar os dados disponibilizados pela ferramenta IndiMap como suporte às suas análises. A confiabilidade desses dados é sustentada pela utilização exclusiva de fontes oficiais reconhecidas, como o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), por meio do programa Queimadas e sistema DETER, e pela plataforma MapBiomass Alertas. A plataforma web desenvolvida oferece uma interface intuitiva e objetiva, facilitando a visualização e interpretação dos alertas, o que torna o monitoramento mais eficaz e acessível para esse público-alvo específico.

Por outro lado, os desenvolvedores e acadêmicos interessados em explorar e aprimorar a tecnologia por trás do IndiMap poderão utilizar a API disponibilizada para acessar e integrar os dados da ferramenta em seus próprios projetos e pesquisas. Essa abertura para a comunidade acadêmica e para profissionais da área de desenvolvimento contribui para a inovação contínua e a expansão das possibilidades de uso da ferramenta, promovendo um ambiente colaborativo e propício ao avanço da ciência e da tecnologia no contexto do monitoramento ambiental em terras indígenas.

4.3 Integração de Dados

No escopo da ferramenta foram desenvolvidas três etapas de ETLs automatizados, responsáveis pela coleta e atualização dos dados referentes às queimadas e desmatamentos nas TIs. É importante ressaltar que os dados de focos de calor exibidos no mapa são atualizados imediatamente enquanto os de desmatamento e mineração passam por um processo de atualização periódica por meio das APIs mencionadas.

A primeira etapa de ETL é responsável pela atualização dos dados de focos de calor nas TIs. Ele realiza o acesso aos dados do Programa Queimadas do INPE e filtra-os com base nas TIs monitoradas para que sejam armazenados no banco de dados. A atualização destes dados é agendada no scheduler para que a cada hora sejam monitorados os novos eventos de ilícitos.

A segunda etapa de ETL realiza o download dos dados da plataforma MapBiomas Alertas com periodicidade semanal. Neste caso é feito um download de um arquivo compactado que possui um arquivo de dados geoespaciais (shapefile) com todo o histórico de alertas de desmatamentos. Após a extração, é realizada a filtragem utilizando a biblioteca GeoPandas¹ para armazenar na base de dados apenas os novos alertas que ocorreram nas TIs.

A terceira etapa de ETL sincroniza as informações dos alertas do DETER, que são obtidas diretamente na plataforma TerraBrasilis. É feito o download de dois arquivos compactados, um para a Amazônia Legal e o outro para o bioma do cerrado. Os arquivos são descompactados, seus shapefiles são extraídos e os dados são filtrados para armazenar na base de dados apenas os alertas referentes às TIs.

4.3.1 Dicionário de Dados

Os datasets resultantes das etapas de ETL descritas anteriormente, detalhando cada campo e sua fonte de origem, encontram-se no APÊNDICE C - DICIONÁRIO DE DADOS DAS PRINCIPAIS TABELAS DA PLATAFORMA INDIMAP.

4.3.2 API de Dados Abertos (visão geral)

A IndiMap Open Data API segue a especificação OpenAPI 3.0, padrão aberto para descrição de APIs HTTP, e está documentada por meio do Swagger UI (OPENAPI INITIATIVE, 2025; SWAGGER, 2026). A versão atual (v1.0) fornece acesso público a dados sobre Terras Indígenas, focos de calor e alertas ambientais, permitindo consultas filtradas por período e por território (INDIMAP, 2026). A especificação completa está disponível no formato JSON, por meio do arquivo openapi.json, e reproduzida no Apêndice D.

4.3.3 Endpoints principais e parâmetros

Rota	Método	Descrição	Principais parâmetros
/ terras	GET	Lista todas as Terras Indígenas	search (nome TI ou etnia, opc.), offset (padrão: 0), limit (máx: 100, padrão: 50)
/ terras/{id}	GET	Detalhes de uma Terra Indígena	id (obrigatório, numérico)
/ focos	GET	Lista focos de calor por TI e período	startDate (YYYY-MM-DD, obrigatório), endDate (YYYY-MM-DD, obrigatório), terraId (obrigatório, numérico)
/ alertas-mapbiomas	GET	Lista alertas do MapBiomas por TI e período	startDate (YYYY-MM-DD, obrigatório), endDate (YYYY-MM-DD, obrigatório), terraId (obrigatório, numérico)

Paginação: disponível em /terras via offset e limit.

¹ <https://pandas.pydata.org/docs/10min/05geopandas.html>

Formato de saída: JSON.

Filtros obrigatórios: nos endpoints de focos e alertas, é obrigatório informar período e terraId.

4.3.4 Formato de resposta e descrição dos campos

As respostas seguem o padrão JSON. Campos variam conforme o endpoint, mas incluem metadados, atributos descritivos e, quando aplicável, dados espaciais.

Exemplo (resposta simplificada de /focos):

```
[
  {
    "id": 456,
    "datahora": "2024-02-15T14:00:00Z",
    "satelite": "AQUA_M-T",
    "estado": "AM",
    "municipio": "São Gabriel da Cachoeira",
    "bioma": "Amazônia",
    "frp": 15.6,
    "terraId": 123
  }
]
```

Embora os campos retornados sigam padrões amplamente utilizados em sistemas de monitoramento ambiental e sensoriamento remoto, sua interpretação pode não ser imediata para todos os públicos. Assim, a Tabela 2 apresenta uma descrição detalhada dos principais campos utilizados nos endpoints da IndiMap Open Data API.

Tabela 2 - Descrição dos campos retornados pela IndiMap Open Data API

Endpoint /focos		
Campo	Tipo	Descrição
id	Inteiro	Identificador único do foco na base do IndiMap.
datahora	Timestamp (UTC)	Data e horário da detecção.
satelite	Texto	Nome do satélite que detectou o foco.
estado	Texto	Unidade federativa onde o foco ocorreu.
municipio	Texto	Município onde o foco foi registrado.
bioma	Texto	Bioma correspondente ao foco detectado.

frp	Numérico	Fire Radiative Power (FRP), intensidade da queima em MW.
terraId	Inteiro	Identificador da Terra Indígena associada ao fogo.
Endpoint /alertas-mapbiomas		
Campo	Tipo	Descrição
codealerta	Inteiro	Código único do alerta na base MapBiomas.
fonte	Texto	Origem do alerta.
bioma	Texto	Bioma onde ocorreu o alerta.
estado	Texto	Unidade federativa do alerta.
municipio	Texto	Município correspondente ao alerta.
areaha	Numérico	Área afetada em hectares.
anodetec	Inteiro	Ano de detecção.
datadetec	Texto	Data de detecção conforme base original.
dtimgant	Data	Imagem anterior ao evento.
dtimgdep	Data	Imagem posterior ao evento.
publimg	Data	Data de publicação do alerta.
vpressao	Texto	Indicador de vulnerabilidade.
geom	Geometria	Polígono geoespacial da área afetada.
terraId	Inteiro	TI associada ao alerta.
Endpoint /terras		
Campo	Tipo	Descrição
terrai_cod	Numérico	Código identificador da Terra Indígena.
terrai_nom	Texto	Nome da Terra Indígena.
etnia_nome	Texto	Nome da etnia associada.
municipio_	Texto	Município principal da TI.
uf_sigla	Texto	Unidade federativa.
superficie	Numérico	Área total da TI em hectares.
fase_ti	Texto	Fase do processo de regularização.
modalidade	Texto	Modalidade da TI.
geom	Geometria	Delimitação territorial geoespacial.

4.3.5 Autenticação e limites

A API de Dados Abertos do IndiMap foi concebida para acesso público em modo de leitura, sem exigência de autenticação para consumo dos recursos disponibilizados. Essa decisão buscou reduzir barreiras de acesso e favorecer a transparência, a disseminação e o reuso dos dados por diferentes perfis de usuários, como pesquisadores, organizações da sociedade civil, lideranças indígenas e desenvolvedores. Entretanto, a ausência de autenticação amplia riscos operacionais, como uso abusivo, sobrecarga do serviço e concentração excessiva de requisições por um mesmo cliente. Para mitigar esses riscos, foram adotadas medidas voltadas à preservação da disponibilidade da API, como limitação de requisições e definição de parâmetros de consulta. Como trabalho futuro, poderão ser implementados mecanismos adicionais de autenticação, controle de acesso e monitoramento, conforme a evolução do uso da plataforma.

Rate limiting (controle de taxa). Para proteção básica do serviço, foi implementado controle de taxa no NGINX, com limitação por endereço IP, utilizando os mecanismos `limit_req_zone` e `limit_req`. No ambiente publicado, foi configurada a taxa de 60 requisições por minuto por cliente, com tolerância para até 20 requisições adicionais em rajada (`burst=20`), processadas sem atraso (`nodelay`). Essa abordagem permite impor uma taxa média de consumo da API e, ao mesmo tempo, acomodar pequenos picos de acesso compatíveis com o padrão de uso do serviço. Na configuração analisada, não foram identificadas exceções específicas para rotas distintas no bloco principal da aplicação.

4.3.6 Conformidade com as DWBP (W3C)

- Formato aberto: JSON.
- Identificadores persistentes: o campo `id` identifica cada alerta de forma única dentro da base de dados, enquanto o campo `terraId` é um identificador persistente que corresponde ao código único da Terra Indígena à qual o alerta está associado. Esse identificador é estável, padronizado e deriva da base oficial da Funai/IBGE, permitindo relacionar cada alerta ao seu território de referência.
- Metadados claros: datas, nomes e atributos geográficos explícitos.
- Filtros e paginação: parâmetros padronizados.
- Acesso programático: documentação via Swagger/OpenAPI (OPENAPI INITIATIVE, 2025).

4.3.7 Exemplos de uso

Código-fonte 1 - Consulta de focos de calor utilizando cURL:

```
curl -G https://indimap.org/api/focos \
--data-urlencode "startDate=2024-01-01" \
--data-urlencode "endDate=2024-01-31" \
--data-urlencode "terraId=123"
```

O código-fonte 1 é um exemplo de como realizar uma requisição HTTP GET enviando os parâmetros `startDate`, `endDate` e `terraId`. O uso do parâmetro `-G` indica que os valores serão incorporados à URL como query parameters.

Código-fonte 2 - Consulta de alertas MapBiomias utilizando Python:

```
import requests

params = {

    "startDate": "2024-01-01",

    "endDate": "2024-03-31",

    "terraId": 123

}

r = requests.get("https://indimap.org/api/alertas-mapbiomas",
params=params)

print(r.json())
```

O código-fonte 2 é um exemplo utilizada a biblioteca `requests` envia uma requisição GET ao endpoint /alertas-mapbiomas. Os parâmetros são convertidos automaticamente em query parameters e a função `r.json()` retorna o conteúdo processado em formato JSON.

4.3.8 Testes e validação

A especificação da API foi descrita e disponibilizada por meio do padrão OpenAPI, publicado via Swagger, permitindo documentar endpoints, parâmetros e esquemas de resposta de forma padronizada e legível por humanos e ferramentas automatizadas (OPENAPI INITIATIVE, 2025; SWAGGER, 2026). A partir dessa especificação, foram definidos procedimentos de verificação funcional, contratual e de desempenho, com o objetivo de avaliar a previsibilidade do comportamento da API, a aderência ao contrato e o comportamento sob carga.

Testes funcionais (Postman + Newman): Os testes funcionais foram modelados como uma coleção no Postman e executados automaticamente via Newman, ferramenta de linha de comando para execução de coleções do Postman (POSTMAN, 2025a, 2025b). A cobertura dos testes incluiu cinco endpoints representativos do consumo público da API: GET / (raiz), GET /terras, GET /terras/{id}, GET /focos e GET /alertas-mapbiomas. Para esses endpoints, foram exercitados cenários válidos, como consultas com identificador existente e intervalo temporal consistente, e cenários inválidos, como identificador inexistente e intervalo de datas invertido, com o objetivo de verificar consistência das respostas e robustez no tratamento de erros. A execução foi realizada em múltiplas iterações (rodadas) definidas no Newman, com geração de relatórios automatizados para rastreabilidade e reprodutibilidade do procedimento. De forma geral, os testes confirmaram o comportamento esperado para os endpoints avaliados, sem registro de falhas críticas não tratadas nos cenários exercitados.

Testes Contratuais (Schemathesis): A validação contratual da IndiMap Open Data API foi realizada com a ferramenta Schemathesis (SCHEMATHESIS, 2025), com base na especificação OpenAPI disponibilizada no endpoint <https://data.indimap.org/docs-json>,

executando a fase de fuzzing com limite de geração de exemplos (max-examples=30). Foram conduzidas 3 rodadas independentes, com geração de relatórios automatizados em formato XML para rastreabilidade e reprodutibilidade dos resultados (ver Apêndice E). Em todas as rodadas, foram exercitadas 5 operações documentadas na especificação — GET /, GET /terras, GET /terras/{id}, GET /focos e GET /alertas-mapbiomas — sem registro de falhas (0 failures e 0 errors), evidenciando aderência entre as respostas observadas e o contrato definido. O tempo total de execução das rodadas variou aproximadamente entre 20,31 s e 21,90 s (média $\approx$ 21,22 s), com tempos médios por operação compatíveis com o perfil de consulta, reforçando a consistência do comportamento da API no ambiente publicado.

Teste de Desempenho (k6): Teste de desempenho (k6): Os testes de desempenho foram conduzidos com a ferramenta k6 (GRAFANA LABS, 2025), utilizando o executor constant-arrival-rate para simular carga controlada sobre a API publicada. O cenário foi executado em 3 rodadas, com até 5 usuários virtuais (VUs), exercitando, em cada iteração, três requisições em lote para endpoints representativos do uso público (GET /terras, GET /focos e GET /alertas-mapbiomas). A carga foi mantida em 50 iterações por minuto, o que correspondeu a aproximadamente 150 requisições por minuto no total, resultando em 750 a 753 requisições HTTP por rodada e 2.256 requisições HTTP no total (ver Apêndice F). Como métricas principais, foram observados taxa de falha igual a 0,00%, 100% dos checks aprovados, latência média em torno de 390 ms e percentil 95 (p95) em torno de 652 ms, indicando comportamento estável da API no cenário exercitado. Embora tenha sido observado um pico isolado de latência máxima em uma das rodadas, esse evento não impactou a taxa de falha nem a estabilidade geral dos resultados.

4.4 Módulo de Processamento

O módulo de processamento é responsável pela geração de alertas e notificações, que são produzidos imediatamente após a coleta e atualização dos dados realizadas pelas etapas de ETL. Entre os alertas gerados, destacam-se os relacionados ao desmatamento, queimadas e atividades de mineração. Esses alertas são automaticamente vinculados a Terras Indígenas (TIs) específicas e a regiões geográficas delimitadas, permitindo que os usuários da plataforma filtrem as notificações de acordo com suas áreas de interesse. Por exemplo, no período de 06/07 a 20/07 de 2023, foram detectados mais de 2900 focos de calor na Terra Indígena Parque do Araguaia, resultando na emissão de 42 alertas.

Com base nessas detecções, o módulo de processamento emite alertas que são posteriormente compartilhados pelo módulo de integração com as redes sociais, garantindo que a sociedade civil e outras partes interessadas sejam informadas sobre os eventos críticos.

4.5 Integração com as Redes Sociais

A integração automática com redes sociais é realizada por meio de programas periodicamente executados, responsáveis pela geração dos conteúdos e por sua publicação nas redes. Atualmente, o IndiMap possui integração com o X (@indimapbr), Instagram (@indimap_org), TikTok (@indimap) e Telegram (INDIMAP, 2025). Essas redes sociais foram escolhidas considerando sua popularidade, alcance e características específicas que favorecem a disseminação rápida das informações ambientais para diferentes públicos. Cada uma delas apresenta particularidades quanto à integração, às políticas de uso e ao comportamento dos usuários, exigindo adaptações na frequência e no formato dos alertas.

Entretanto, a divulgação automatizada em redes sociais também envolve riscos de viés informacional e de interpretações imprecisas por parte do público leigo. A apresentação sintética dos alertas pode transmitir falsa impressão de completude, certeza ou gravidade uniforme entre ocorrências distintas, além de favorecer leituras descontextualizadas dos dados. Por essa razão, a comunicação deve buscar indicar a origem das informações, seu caráter de alerta e não de validação definitiva em campo, bem como remeter o usuário à plataforma para acesso a mais contexto e detalhamento.

Considerando especificamente os alertas de incêndios, foram definidos limiares mínimos de focos de calor para publicação automática em cada rede social, com o objetivo de reduzir ruído informacional, priorizar incidentes de maior proporção e adequar a frequência de postagem às características operacionais de cada plataforma. Para o X e o TikTok, os alertas são publicados quando identificados mais de 9 focos de calor. Para o Instagram, a publicação no feed ocorre quando há mais de 15 focos, enquanto a publicação em Stories é realizada apenas quando o número ultrapassa 25 focos. Esses limiares foram definidos como mecanismo de priorização das ocorrências a serem divulgadas, buscando dar maior visibilidade a incidentes de maior relevância e, ao mesmo tempo, evitar o consumo inadequado da cota diária disponível para publicações automáticas em serviços gratuitos, especialmente no caso da API do Instagram (INDIMAP, 2025).

Quando os alertas possuem como origem a fonte de dados MapBiomias também são incluídos mapas comparativos do momento anterior e posterior das áreas afetadas. Com o objetivo de ampliar a capacidade de visualização, a ferramenta também inclui a geração de vídeos detalhados dos alertas emitidos. A Figura 14 mostra um exemplo de publicação gerada na rede social X.

Figura 14 - Exemplo de postagem no X



Fonte: Postagem no x (<https://x.com/indimapbr>)

Esses vídeos são acompanhados por áudios que descrevem os alertas através de uma narração, o que possibilita à aplicação alcançar também indivíduos com deficiência visual, garantindo uma experiência inclusiva e maior acessibilidade.

4.6 Geração de alerta de focos de incêndios

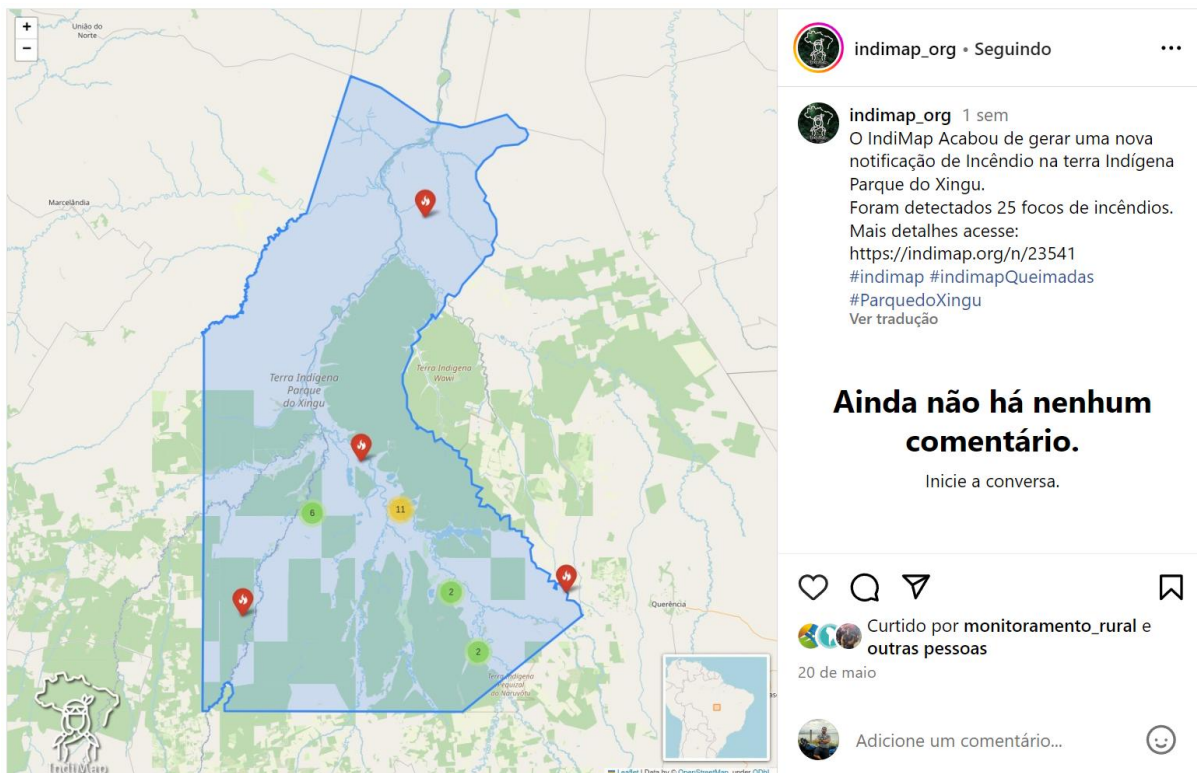
O IndiMap busca explorar da melhor forma possível os recursos de multimídia para tornar as informações mais claras e atrativas. Na Figura 16, é possível visualizar uma postagem de alerta de focos de calor na terra indígena Parque do Xingu publicada no Instagram.

Para esta postagem, o algoritmo gera um texto padrão, alterando a quantidade de focos e o nome da terra indígena. A partir desse texto, é gerada uma narração em áudio, que será inserida no fundo do vídeo. Como atualmente as redes sociais estão cada vez mais focadas em imagens e vídeos, foi necessário criar uma imagem que despertasse o interesse dos usuários.

Para isso, o algoritmo cria uma imagem específica do alerta, usando o OpenStreetMap como camada de fundo do mapa. Em seguida, é plotado neste mapa o polígono referente ao território indígena em questão. Posteriormente, são inseridos os pins de focos de calor. Para uma melhor apresentação estética e organizacional, é feita a clusterização dos focos, indicando que, em uma pequena área, ocorreram vários focos. Na Figura 16, podem ser observados quatro

diferentes clusters, cada um com, respectivamente, seis, onze, dois e dois focos. Ao final do processo, é gerado um vídeo com duração média de 20 segundos.

Figura 15 - Postagem de Alerta de focos de calor no Instagram



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.7 Geração de alerta de Desmatamento, degradação e mineração

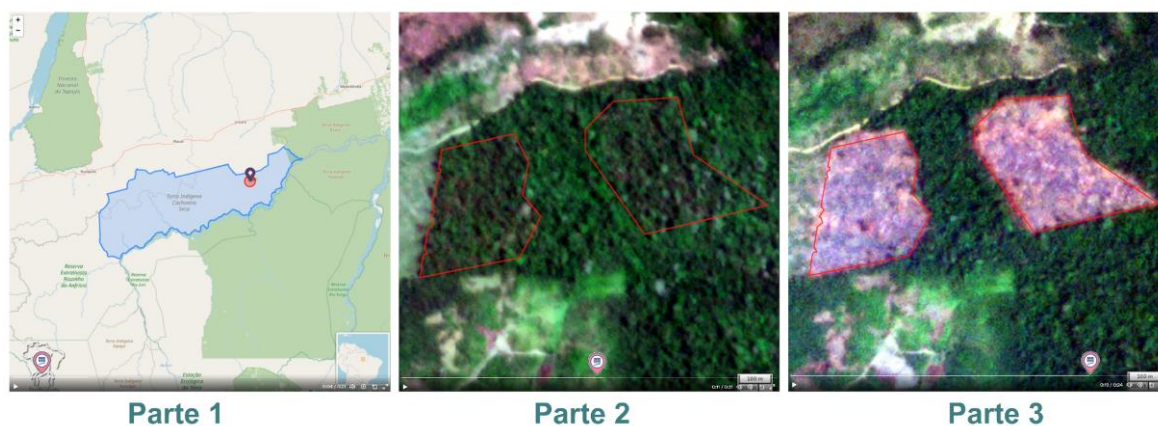
A geração da mídia para postagem de alertas de desmatamentos, degradação e mineração, inicia-se de forma similar a do alerta de focos de calor, ou seja, é gerado um texto citando em qual terra indígena aconteceu o desmatamento, a fonte do dado e *url* para acesso de mais detalhes.

Este texto também é convertido em uma narração em áudio que será usada no vídeo, que pode conforme a Figura 16, pode ser dividido em três partes:

- Parte 1: Aqui, o algoritmo também gera uma imagem específica do alerta, utilizando o *OpenStreetMap* como camada de fundo do mapa. Em seguida, o polígono correspondente ao território indígena é desenhado neste mapa. Posteriormente, é inserido um pin no local onde ocorreu o alerta.
- Parte 2: A segunda parte do vídeo mostra como a área era antes do alerta, utilizando uma imagem de satélite cuja fonte pode variar conforme o alerta. Nesta imagem, são desenhados os polígonos da área afetada.

- Parte 3: Na parte final do vídeo, é novamente utilizada uma imagem de satélite, com o polígono do alerta desenhado. Nesta etapa, é possível visualizar como a área afetada ficou após o desmatamento.

Figura 16 - Captura de quadros de um vídeo de alerta de desmatamento

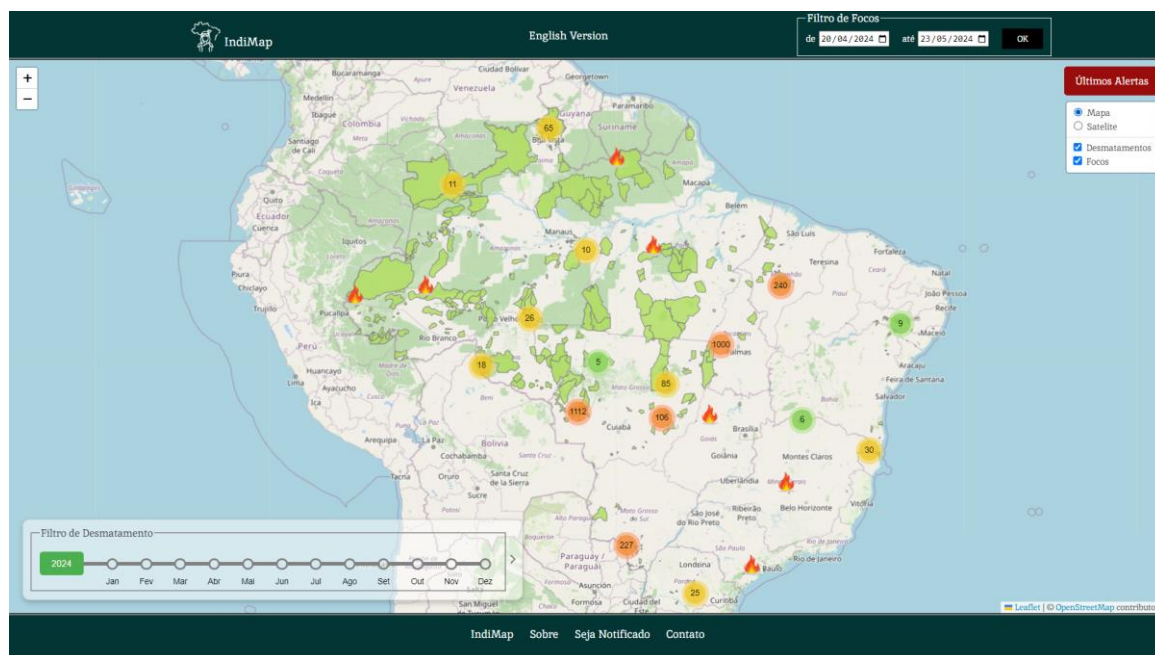


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.8 Plataforma Web

A Plataforma Web foi desenvolvida para oferecer informações de forma simplificada e objetiva ao usuário final. Seu desenvolvimento foi realizado com o framework JavaScript Vue, possibilitando a criação de uma aplicação interativa e responsiva, adaptável a diferentes dispositivos, incluindo smartphones e tablets. Como requisitos de usabilidade, buscou-se favorecer navegação simples, organização visual clara e acesso rápido às informações principais sobre os alertas. Quanto à acessibilidade, foram observados requisitos básicos, como legibilidade textual, contraste visual e adequação da interface a diferentes tamanhos de tela. Além da visualização dos alertas nas Terras Indígenas, a aplicação também permite o compartilhamento dessas informações na própria conta do usuário em redes sociais. A Figura 17 demonstra a interface gráfica para visualização dos alertas de queimadas e desmatamento.

Figura 17 - Interface Principal (<https://www.indimap.org>)

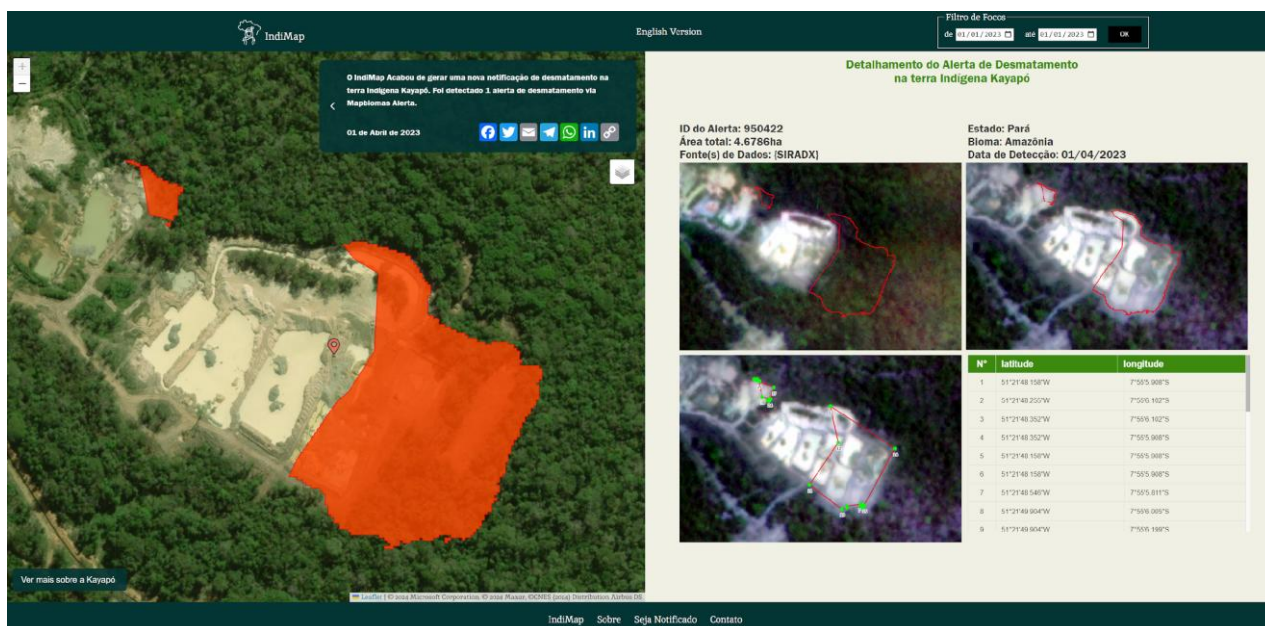


Fonte: Elaborado pelo autor.

A interface gráfica da aplicação é exibida na Figura 18. Nela, é possível observar um mapa com as demarcações de Terras Indígenas destacadas em verde, enquanto os alertas são representados por ícones. Além disso, há dois filtros de datas disponíveis para visualizar um intervalo de tempo específico, localizados no canto superior direito, para focos de queimadas, e na área inferior esquerda para desmatamentos.

A Figura 19 apresenta o detalhamento de um alerta de desmatamento, exibido em uma interface interativa. No lado direito da figura, o alerta é plotado em um mapa que permite ao usuário navegar livremente, com a possibilidade de aplicar zoom, mover a tela e alterar a camada de fundo, proporcionando uma visualização dinâmica da área afetada. No lado esquerdo, são apresentados os dados específicos do desmatamento, incluindo as fontes dos dados, o estado, o bioma e a data de detecção. Abaixo dessas informações, são exibidas duas imagens: a primeira, à esquerda, mostra uma imagem de satélite da área antes do desmatamento, enquanto a segunda, à direita, ilustra o estado da área após o evento, conforme detectado pelo alerta. Em seguida, é apresentado um mapa com o polígono que delimita a área desmatada, com os respectivos vértices identificados em uma tabela ao lado, contendo as coordenadas de latitude e longitude de cada ponto. A tela ainda exibe o texto gerado para a notificação do alerta, bem como diversos ícones que permitem o compartilhamento em diferentes meios, facilitando a disseminação das informações.

Figura 18 - Tela de Detalhamento de Alerta de Desmatamento

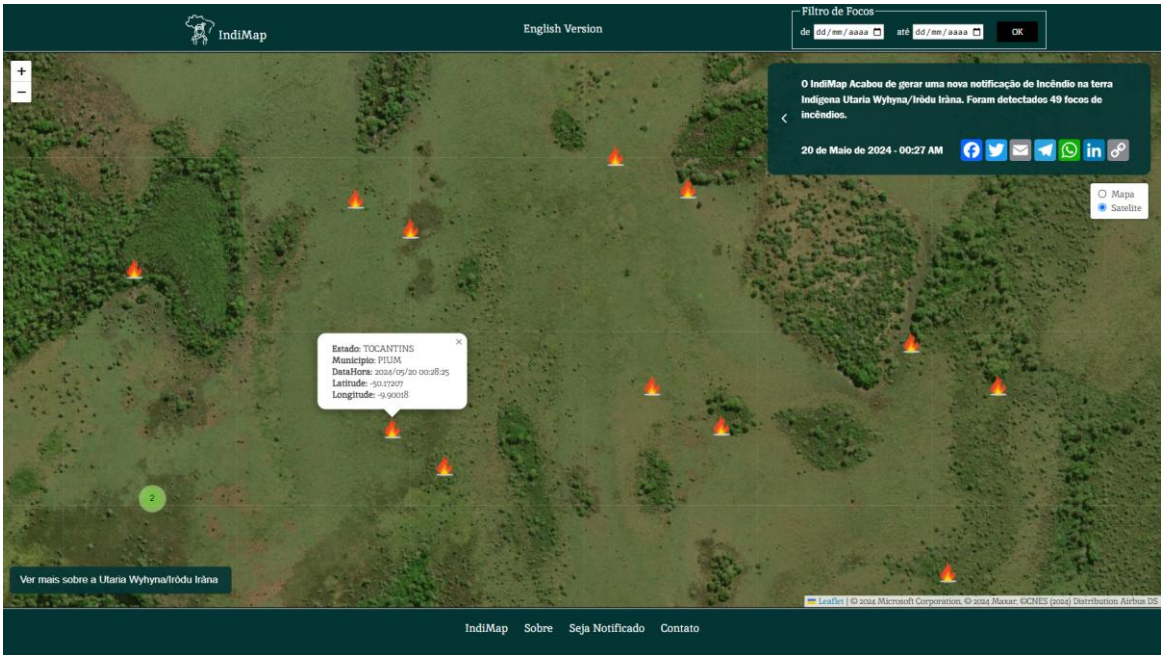


Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 19 ilustra a Tela de Detalhamento de Focos de Incêndios em Terra Indígena, onde os focos de calor são plotados em um mapa interativo. Semelhante à funcionalidade disponível para o monitoramento de desmatamento, o usuário pode navegar livremente pelo mapa, aplicando zoom e alterando a camada base conforme necessário. Nos locais onde os focos de incêndio são detectados, ícones de fogo são exibidos, e ao clicar em um desses ícones, o sistema revela detalhes específicos sobre o foco de calor, incluindo o estado, município, data e hora da detecção, além das coordenadas de longitude e latitude.

Para otimizar a visualização, especialmente em áreas com múltiplos focos de calor próximos, o sistema implementa a clusterização dos ícones. Esse recurso agrupa os focos de calor em um único cluster quando estão geograficamente próximos, facilitando a navegação e a análise do mapa. Ao clicar em um cluster, o mapa aplica automaticamente um zoom na área correspondente, permitindo ao usuário visualizar detalhadamente os focos de calor individuais que compõem o cluster. Em casos de alta densidade de focos, novos clusters menores podem ser gerados após essa etapa, oferecendo uma visualização mais precisa e organizada da distribuição dos focos de incêndio.

Figura 19 - Tela de Detalhamento de Focos de Incêndios em Terra Indígena



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.9 Tecnologias Utilizadas

Para o desenvolvimento da plataforma IndiMap, foram empregadas tecnologias voltadas à coleta, processamento, armazenamento e visualização de dados ambientais. A Tabela 3 apresenta uma síntese das principais tecnologias utilizadas, suas versões e respectivas finalidades na arquitetura da solução. Na sequência, são descritos os componentes mais relevantes.

Tabela 3 - Tecnologias e versões utilizadas no desenvolvimento da plataforma IndiMap

Camada/Componente	Tecnologia	Versão	Finalidade
Frontend	Vue.js	3.2.47	Construção da interface web interativa e responsiva
Frontend	Leaflet	1.9.3	Visualização de mapas interativos
Frontend	OpenStreetMap	-	Base cartográfica colaborativa
Frontend	Bing Maps	-	Imagens de satélite para apoio à visualização
Backend	Node.js	20.19.2	Execução de serviços da API de dados Abertos
Backend	Python	3.10.4	Processamento e serviços e ETL da plataforma

Backend	Flask	2.2.2	Implementação da API e serviços web
ETL	Pandas	1.4.3	Transformação e análise tabular de dados
ETL	GeoPandas	1.1.3	Manipulação de dados geoespaciais
Banco de Dados	PostgreSQL	15	Armazenamento relacional dos dados
Banco de Dados	PostGIS	3.1	Suporte a dados e operações espaciais no PostgreSQL

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.9.1 Frontend

No frontend do IndiMap, as tecnologias foram utilizadas para viabilizar a interface de acesso público aos alertas ambientais, com foco na visualização cartográfica, na navegação responsiva e na apresentação simplificada das informações ao usuário final. Essa camada é responsável por permitir que os usuários consultem Terras Indígenas, visualizem focos de calor e alertas de desmatamento no mapa, utilizem filtros temporais e acessem detalhes dos eventos monitorados.

Vue.js: Vue.js é um framework JavaScript progressivo utilizado para a construção de interfaces de usuário. A sua arquitetura reativa facilita a criação de aplicações web dinâmicas e responsivas, proporcionando uma experiência de usuário final aprimorada (YOU, 2024).

Leaflet: Leaflet é uma biblioteca JavaScript open-source para a criação de mapas interativos. Esta tecnologia é amplamente utilizada devido à sua simplicidade e desempenho, mesmo em dispositivos com recursos limitados (AGAFONKIN, 2024). A integração com Leaflet permite a visualização e interação com dados geoespaciais, essencial para o monitoramento ambiental.

OpenStreetMap e Bing Maps: O OpenStreetMap é utilizado como camada cartográfica de referência, oferecendo contexto espacial com informações de vias, localidades e limites geográficos. O Bing Maps é empregado como camada complementar de imagem de satélite, permitindo uma visualização mais detalhada das áreas monitoradas. Essas camadas não são combinadas em uma nova base de dados, mas disponibilizadas como opções de visualização na plataforma, apoiando a interpretação espacial dos alertas apresentados no mapa (HAKLAY, 2010).

Node.js: o Node.js foi utilizado como ambiente de execução JavaScript para apoiar o desenvolvimento e a construção da aplicação frontend em Vue.js, incluindo o gerenciamento de dependências, scripts de build e preparação dos arquivos estáticos da interface web. Além disso, também foi utilizado no backend da API de Dados Abertos, implementada com NestJS, responsável por disponibilizar os dados da plataforma por meio de endpoints REST. Dessa

forma, sua adoção esteve associada tanto ao suporte ao desenvolvimento da interface quanto à disponibilização programática dos dados da plataforma.

4.9.2 Backend

Python com Flask: Python é uma linguagem de programação amplamente utilizada em ciência de dados e desenvolvimento web. Flask, um micro-framework em Python, permite a criação rápida de serviços web devido à sua simplicidade e flexibilidade (GRINBERG, 2018). A escolha do Flask para o backend da IndiMap foi baseada na necessidade de uma integração eficiente com outras bibliotecas Python utilizadas na plataforma.

4.9.3 ETLs (Extract, Transform, Load)

Python com Pandas e Geopandas: O processo de ETL é crítico para a manipulação, transformação e integração dos dados coletados pela plataforma. No IndiMap, scripts desenvolvidos em Python foram utilizados para automatizar a leitura de arquivos em diferentes formatos, como CSV e Shapefile, realizar tratamentos tabulares com a biblioteca Pandas e executar operações geoespaciais com a biblioteca GeoPandas. O GeoPandas foi empregado especialmente para leitura e manipulação de geometrias, filtragem espacial dos alertas em relação às Terras Indígenas, conversão entre sistemas de coordenadas e preparação dos dados para armazenamento no banco PostgreSQL/PostGIS. Essas ferramentas permitiram estruturar os dados provenientes de diferentes fontes, padronizá-los e carregá-los no banco de dados, contribuindo para a eficiência das etapas de integração e análise geoespacial da plataforma (MCKINNEY, 2010; JORDAHL, 2014).

4.9.4 Banco de Dados

PostgreSQL com extensão PostGIS: PostgreSQL é um sistema de gerenciamento de banco de dados relacional open-source, reconhecido por sua robustez e extensibilidade (MOMJIAN, 2001). PostGIS é uma extensão que adiciona suporte a dados geoespaciais no PostgreSQL, facilitando o armazenamento, consulta e manipulação de dados espaciais (OBE; HSU, 2010). A combinação de PostgreSQL e PostGIS foi crucial para o gerenciamento dos dados geoespaciais da IndiMap, suportando operações complexas de geoprocessamento e análise espacial.

5 RESULTADOS OBTIDOS

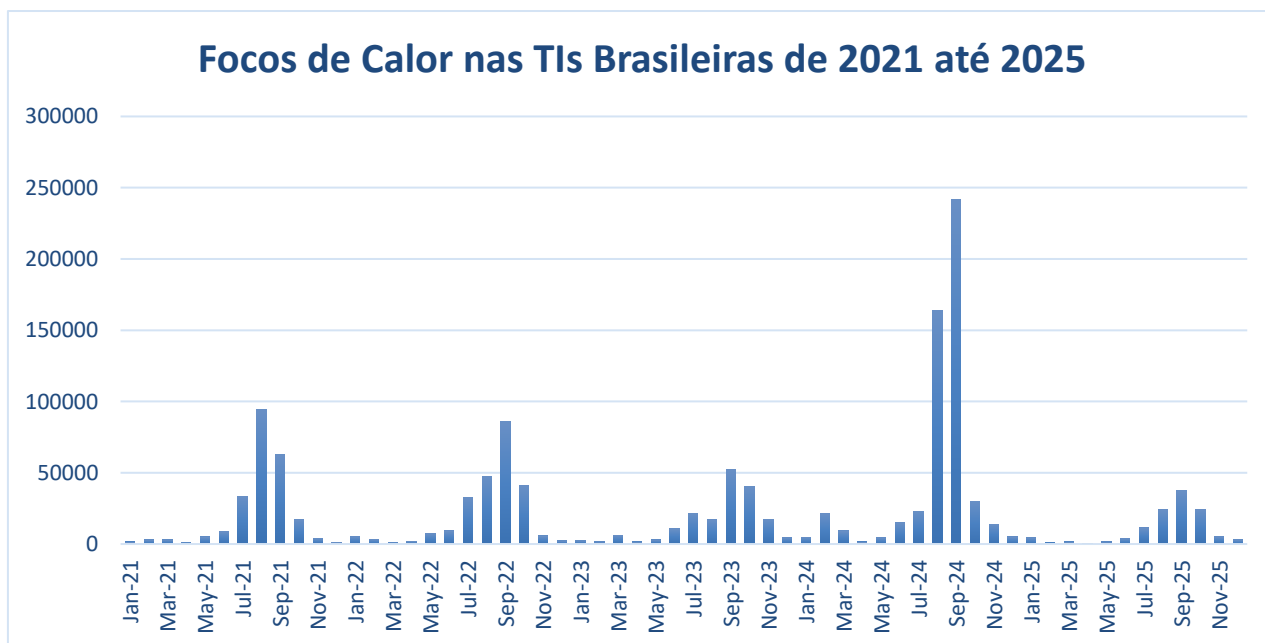
Os resultados da plataforma IndiMap refletem o processamento e a consolidação dos dados de focos de calor e alertas de desmatamento, coletados entre janeiro de 2021 e dezembro de 2025. A seguir, apresenta-se uma análise desses dados, destacando a quantidade de alertas, a distribuição mensal e sua variação ao longo do período.

5.1 Focos de Calor

Durante o período analisado, foram coletados 1.313.091 registros de focos de calor provenientes do Banco de Dados de Queimadas (BDQueimadas), mantido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Antes da consolidação na base da plataforma, os dados passaram por etapas de tratamento, incluindo padronização de campos, conversão de tipos de dados, verificação de campos essenciais e controle de duplicidades. A deduplicação foi realizada com base no identificador `id_inpe`, utilizado como chave única para impedir a inserção repetida de um mesmo registro. A Figura 20 apresenta a distribuição mensal desses registros consolidados na base da plataforma.

A integridade dos dados consolidados foi verificada pela ausência de duplicidades e pela completude de campos essenciais, como `datahora` e `geom`, enquanto a análise mensal auxiliou na identificação de possíveis lacunas na série histórica.

Figura 20 - Agrupamento dos focos de calor nas Terras Indígenas Brasileiras por mês e ano



Fonte: Elaborado pelo autor.

A maior parte das terras indígenas está localizada na Amazônia Legal. A análise dos dados revelou uma correlação significativa entre a incidência de focos de calor e o período do

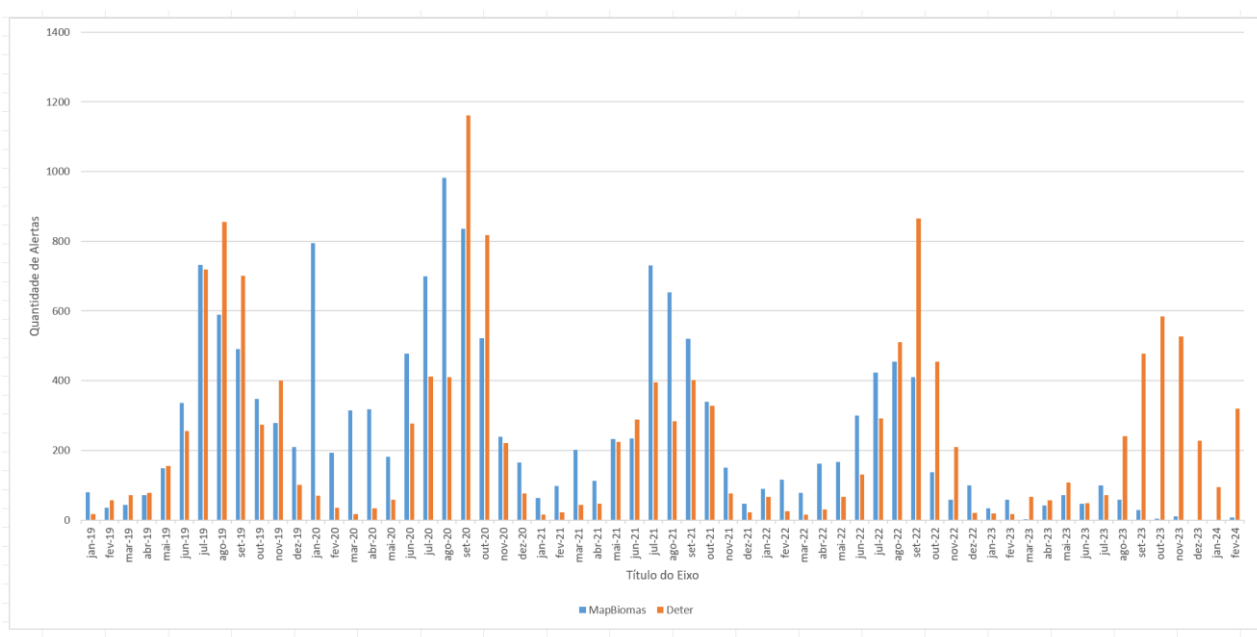
verão amazônico. Durante o verão, o clima seco e quente contribui para a proliferação de queimadas, aumentando a incidência de focos de calor. Este fenômeno é consistente com as observações de outros estudos que indicam um aumento das queimadas durante os meses mais quentes e secos (ALENCAR et al., 2015).

5.2 Alertas de Desmatamento

Os alertas de desmatamento analisados foram obtidos a partir de duas fontes principais: DETER/INPE e MapBiomas Alerta. No período analisado, foram consolidados 366.142 alertas do DETER e 349.841 alertas do MapBiomas. A Figura 21 apresenta a distribuição mensal desses alertas.

Para assegurar a aderência aos territórios monitorados, os dados utilizados nesta análise foram filtrados espacialmente pelas Terras Indígenas (TIs) da base da plataforma: foram considerados apenas os alertas cuja geometria intersecta o polígono de alguma TI, garantindo que cada registro consolidado possui ao menos sobreposição parcial com uma TI analisada. Assim, a verificação realizada nesta etapa não trata de “precisão” no sentido de confirmação em campo do desmatamento, mas de cobertura espacial e consistência do recorte aplicado (alertas efetivamente associados às TIs monitoradas), além de checagens de integridade como presença de geometria e ausência de duplicidades conforme as restrições do banco.

Figura 21 - Total dos alertas MapBiomas e Deter por mês



Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise dos dados de desmatamento mostra uma tendência similar à observada nos focos de calor, com um aumento significativo durante o verão amazônico. A incidência de desmatamento é influenciada tanto por fatores climáticos quanto por atividades humanas, como a expansão agrícola e a exploração madeireira (FERREIRA et al., 2014).

5.3 Indicadores complementares de disseminação

Como complemento às evidências técnicas e perceptivas apresentadas neste trabalho, também foram considerados indicadores operacionais de disseminação dos alertas gerados pela plataforma IndiMap. Esses indicadores permitem observar a atividade da solução em canais digitais e fornecem evidências adicionais sobre sua capacidade de circulação informacional. Embora não sejam suficientes, por si sós, para mensurar impacto social em sentido amplo, esses dados contribuem para caracterizar o alcance operacional da plataforma e sua atividade de disseminação em diferentes canais.

Tabela 4 - Indicadores complementares de disseminação da plataforma IndiMap no período de abr. 2023 a mar. 2026.

Canal	Tipo de indicador	Quantidade
X	Publicações automáticas de alertas	16.500
Instagram	Publicações automáticas de alertas	6.699
Telegram	Mensagens automáticas enviadas	22.510
Plataforma Web	Visitantes da plataforma	5.409

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados apresentados na Tabela 4 evidenciam a operação contínua dos mecanismos de disseminação automatizada da plataforma IndiMap no período analisado. Observa-se que a quantidade de alertas publicados varia entre os canais, o que se explica pelas diferenças de regras de agrupamento, frequência de postagem e limitações operacionais de cada plataforma. No caso do Instagram, por exemplo, foram adotados critérios mais restritivos de publicação, com o objetivo de priorizar ocorrências de maior relevância e evitar o consumo excessivo da cota diária disponível para publicações automáticas. Assim, os valores observados não devem ser interpretados de forma comparativa direta entre os canais, mas como indicadores complementares da atividade de disseminação da solução.

Os valores apresentados na Tabela 4 foram consolidados a partir de registros operacionais da plataforma e de informações disponíveis nos canais de disseminação utilizados pelo IndiMap. No caso das visitas à plataforma web, a apuração foi complementada por dados do Google Analytics, apresentados no Apêndice G. Embora esses dados não permitam mensurar, isoladamente, o impacto social da ferramenta, eles fornecem evidências adicionais de uso e circulação informacional dos alertas produzidos pelo IndiMap.

5.4 Avaliação da Ferramenta IndiMap

Além dos dados quantitativos apresentados nas seções anteriores, foi conduzida uma avaliação qualitativa e quantitativa da ferramenta IndiMap, com o objetivo de mensurar sua usabilidade, relevância prática e eficácia na disseminação das informações ambientais. A pesquisa foi realizada por meio de um formulário estruturado, aplicado ao mesmo grupo focal utilizado na etapa inicial deste estudo, composto por representantes de comunidades indígenas, profissionais de organizações não governamentais, servidores de órgãos governamentais relacionados à proteção ambiental e especialistas das áreas de geoprocessamento, meteorologia e engenharia florestal. A participação dos respondentes teve caráter intencional e não probabilístico, pois a seleção priorizou indivíduos com proximidade temática e potencial de contribuição para a avaliação do artefato no contexto do monitoramento ambiental em Terras Indígenas. Desse modo, foram incluídos participantes com perfis comunitários, técnicos e institucionais, buscando reunir percepções complementares sobre usabilidade, clareza das informações e aplicabilidade da ferramenta. A coleta foi realizada por meio de formulário estruturado, aplicado após a apresentação e disponibilização da plataforma aos participantes. Embora essa estratégia favoreça a aderência entre o perfil dos respondentes e os objetivos da pesquisa, ela não assegura representatividade estatística, razão pela qual os resultados devem ser interpretados com cautela quanto à validade externa e à possibilidade de viés de seleção.

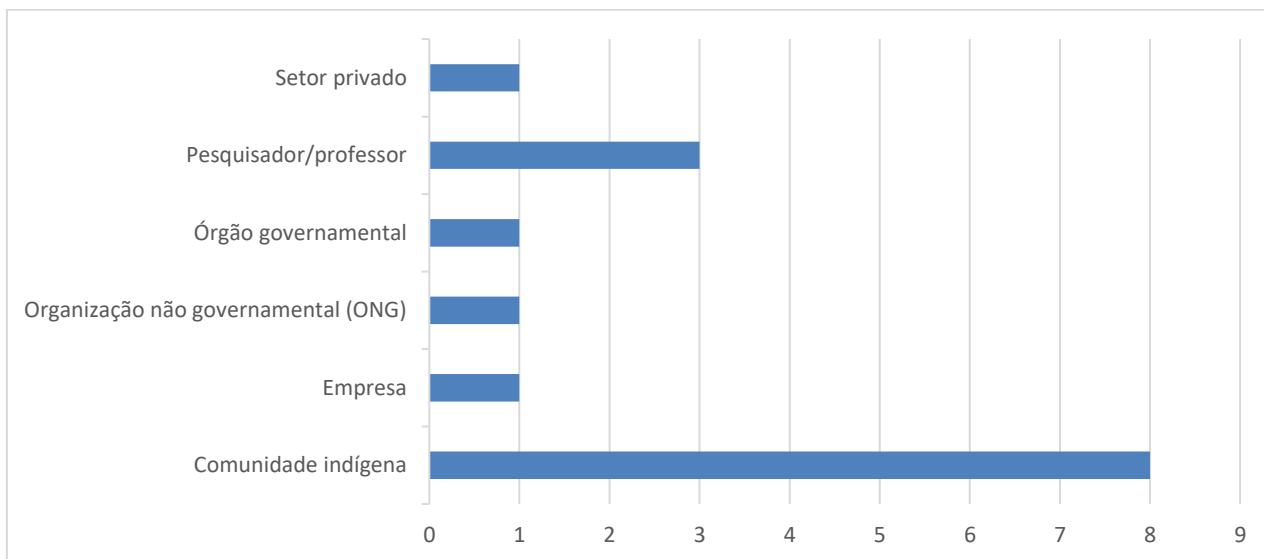
O instrumento de coleta de dados — intitulado “Avaliação da Ferramenta IndiMap para Monitoramento Ambiental em Territórios Indígenas” (disponível no Apêndice B) — foi elaborado com base nos princípios de avaliação de sistemas interativos e em critérios adotados na metodologia Design Science Research (DSR) para a fase de validação do artefato. O questionário contemplou questões fechadas e abertas, permitindo avaliar tanto aspectos objetivos quanto percepções subjetivas dos usuários sobre o desempenho da ferramenta.

As respostas foram analisadas por meio de métodos descritivos e interpretativos, com apoio de técnicas estatísticas simples de frequência e proporção. Essa abordagem permitiu identificar padrões, tendências e percepções recorrentes quanto à facilidade de uso, clareza das informações, tempo de resposta, relevância dos alertas, impacto social da ferramenta e sugestões de aprimoramento.

A seguir, são apresentados os principais resultados obtidos com a pesquisa, organizados em cinco dimensões analíticas: (i) perfil dos respondentes; (ii) usabilidade da plataforma; (iii) relevância e aplicabilidade dos dados; (iv) disseminação e engajamento social; e (v) avaliação geral e sugestões futuras.

5.4.1 Perfil dos Respondentes

Pergunta 1: Qual é a sua área de atuação principal?

Figura 22 - Distribuição por área de atuação dos respondentes

Fonte: Elaborado pelo autor.

Distribuição das Respostas (Figura 22):

- a. Comunidade indígena: 8 respostas
- b. Pesquisador/professor: 3 respostas
- c. Órgão governamental: 1 resposta
- d. Setor privado: 1 resposta
- e. Organização não governamental (ONG): 1 resposta
- f. Empresa: 1 resposta

Análise:

- [1] Representatividade do público-alvo: presença expressiva de respondentes de comunidades indígenas assegura julgamento a partir do uso em contexto real.
- [2] Diversidade de perspectivas: participação de pesquisadores/professores e órgãos governamentais acrescenta critérios técnicos e institucionais à avaliação.
- [3] Adoção potencial: a presença (mesmo que minoritária) de setor privado/ONGs/empresas indica possibilidade de integrações e parcerias para difusão do IndiMap.

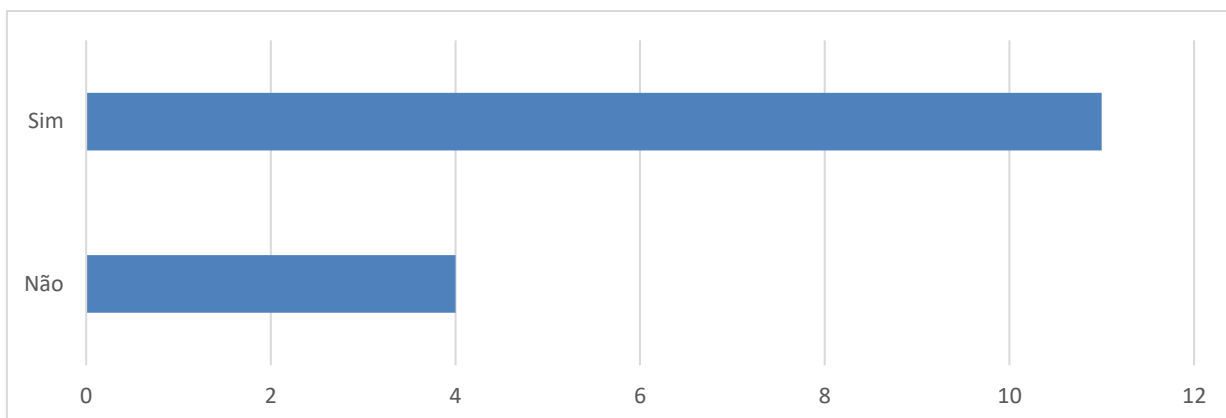
Conclusão da Pergunta 1

A composição da amostra mostrou-se coerente com os objetivos do estudo, ao reunir atores relevantes para o contexto de uso da plataforma, com presença de perfis comunitários,

técnicos e institucionais. Essa diversidade contribui para a obtenção de percepções complementares sobre a ferramenta e fortalece a análise qualitativa de sua aplicação no monitoramento ambiental em Terras Indígenas.

Pergunta 2: Já utilizou ferramentas de monitoramento ambiental antes?

Figura 23 - Experiência prévia com ferramentas de monitoramento



Fonte: Elaborado pelo autor.

Distribuição das Respostas (Figura 23):

1. Não: 4 respostas
2. Sim: 11 respostas

Análise:

- [1] Predominância de experiência prévia: a maioria (11) já utilizou ferramentas similares, favorecendo julgamentos mais precisos sobre usabilidade e desempenho.
- [2] Teste de intuitividade: a presença de 4 participantes sem experiência permite avaliar a curva de aprendizagem e a acessibilidade do IndiMap para novos usuários.
- [3] Validade da avaliação: a combinação de perfis experientes e iniciantes fortalece a robustez dos achados, reduzindo vieses.

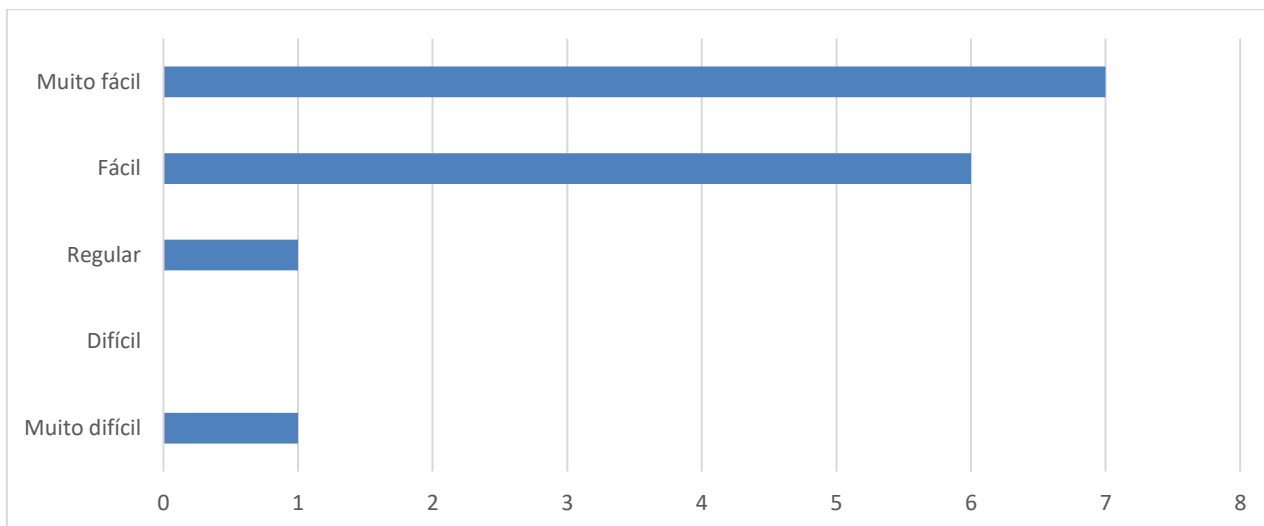
Conclusão da Pergunta 2

O grupo reúne experiência suficiente para avaliações técnicas e diversidade para testar barreiras de entrada, aumentando a confiabilidade das conclusões sobre usabilidade e adoção do IndiMap.

5.4.2 Usabilidade da Plataforma

Pergunta 3: Como você avalia a facilidade de uso da plataforma IndiMap?

Figura 24 - Facilidade de uso da plataforma



Fonte: Elaborado pelo autor.

Distribuição das Respostas (Figura 24):

- a. 1 - Muito difícil: 1 resposta
- b. 2 - Difícil: 0 respostas
- c. 3 - Regular: 1 resposta
- d. 4 - Fácil: 6 respostas
- e. 5 - Muito fácil: 7 respostas

Análise:

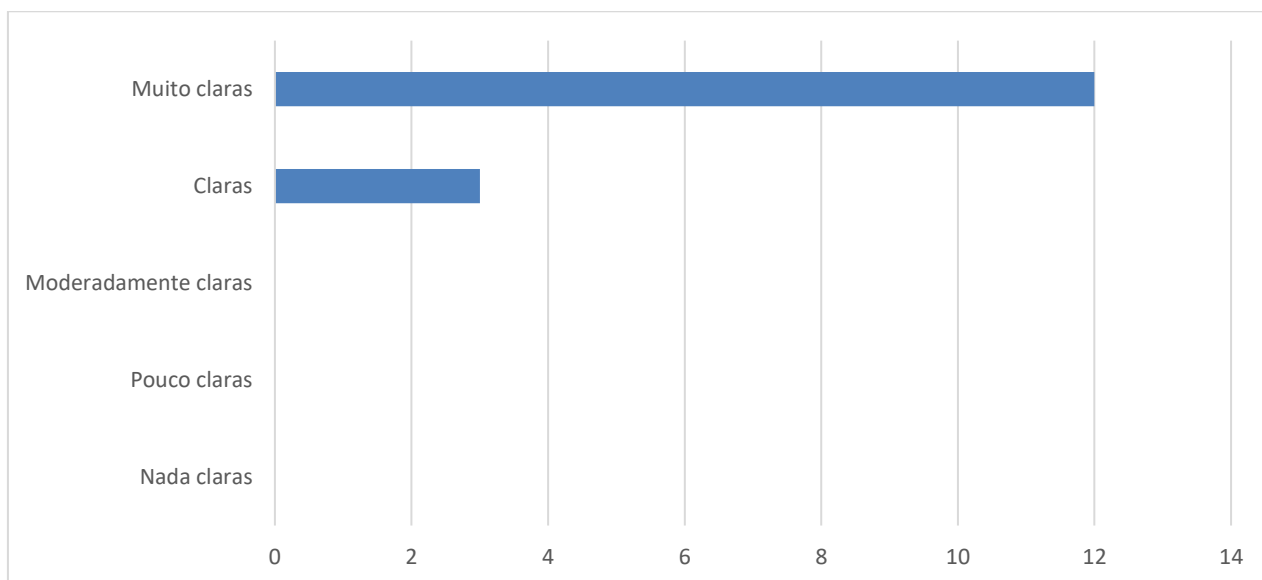
- [1] Predominância positiva: As categorias 4 e 5 somam 13/15 respostas, indicando boa usabilidade geral.
- [2] Pontos de fricção pontuais: A presença de 1 resposta em “muito difícil” e 1 em “regular” sugere melhorias específicas (rótulos, microinterações, ajuda contextual).
- [3] Consistência com o público: O desempenho é adequado para perfis técnicos e comunitários, sustentando adoção em campo.

Conclusão da Pergunta 3

A usabilidade do IndiMap foi avaliada como boa a muito boa pela maioria dos respondentes, com ajustes pontuais recomendados para reduzir a curva de aprendizagem.

Pergunta 4: As informações exibidas (alertas, mapas, gráficos) são claras e compreensíveis?

Figura 25 - Clareza e compreensibilidade das informações



Fonte: Elaborado pelo autor.

Distribuição das Respostas (Figura 25):

- a. Nada claras: 0 respostas
- b. Pouco claras: 0 respostas
- c. Moderadamente claras: 0 respostas
- d. Claras: 3 respostas
- e. Muito claras: 12 respostas

Análise:

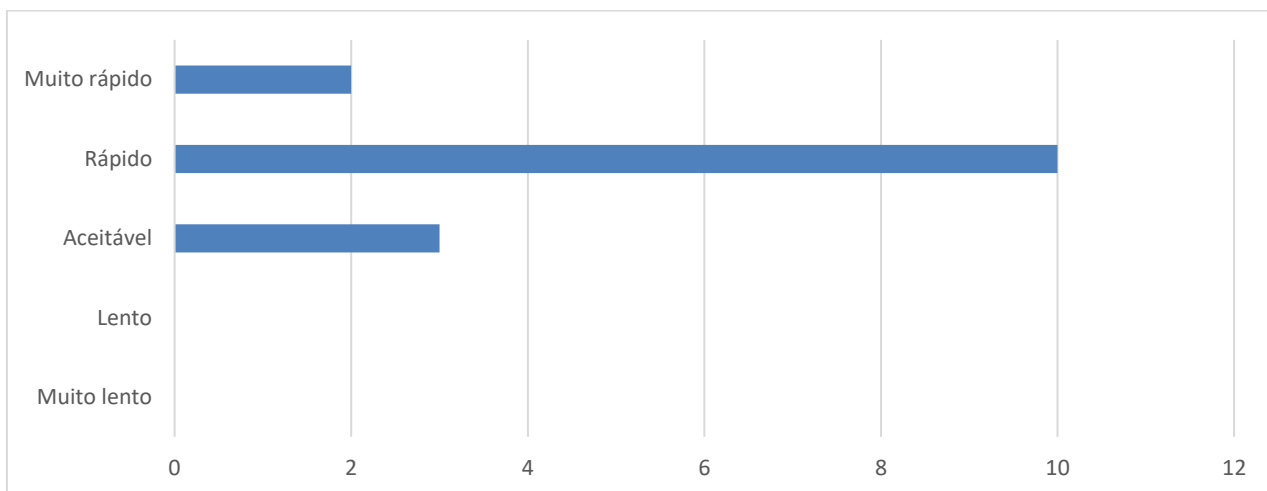
- [1] Clareza consolidada: 100% das respostas estão nas faixas superiores (4-5), o que indica compreensão consistente do conteúdo exibido.
- [2] Relevância dos elementos visuais: O resultado sugere que mapas, alertas e gráficos cumprem sua função de síntese e interpretação rápida.
- [3] Oportunidades: Ajustes finos de legenda e rótulos podem beneficiar usuários iniciantes.

Conclusão da Pergunta 4

As informações do IndiMap são percebidas como claras a muito claras, sustentando a leitura e o uso operacional dos dados.

Pergunta 5: O tempo de resposta da plataforma durante sua navegação foi:

Figura 26 - Desempenho (tempo de resposta) da plataforma



Fonte: Elaborado pelo autor.

Distribuição das Respostas (Figura 26):

- a. Muito lento: 0 respostas
- b. Lento: 0 respostas
- c. Aceitável: 3 respostas
- d. Rápido: 10 respostas
- e. Muito rápido: 2 respostas

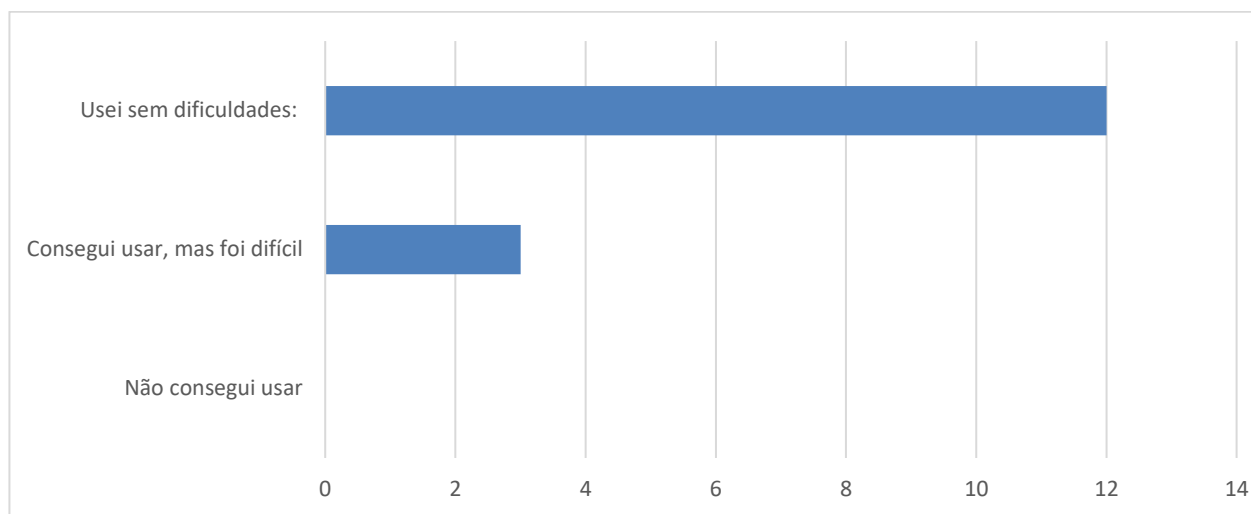
Análise:

- [1] Desempenho satisfatório: 12/15 avaliaram como rápido ou muito rápido.
- [2] Condições de “aceitável”: As 3 respostas nessa faixa sugerem impacto de janelas temporais longas ou múltiplas camadas ativas.
- [3] Direcionamento técnico: Recomenda-se otimizar consultas históricas extensas e documentar boas práticas de filtro.

Conclusão da Pergunta 5

O desempenho foi considerado adequado e rápido para a maioria dos cenários, com otimizações pontuais para consultas mais pesadas.

Pergunta 6: Você conseguiu utilizar bem os filtros de data para encontrar os alertas que precisava?

Figura 27 - Utilização dos filtros de data

Fonte: Elaborado pelo autor.

Distribuição das Respostas (Figura 27):

- a. Não consegui usar: 0 respostas
- b. Consegui usar, mas foi difícil: 3 respostas
- c. Usei sem dificuldades: 12 respostas

Análise:

- [1] Aderência funcional: A maioria (12/15) usou sem dificuldades, indicando que o desenho atual atende ao objetivo.
- [2] Aprimoramentos de UX: As 3 respostas com dificuldade apontam ganhos possíveis com feedback visual do período ativo e atalhos (últimos 7/30 dias).
- [3] Curva de aprendizagem: A configuração é adequada, mas pode ser refinada para públicos menos experientes.

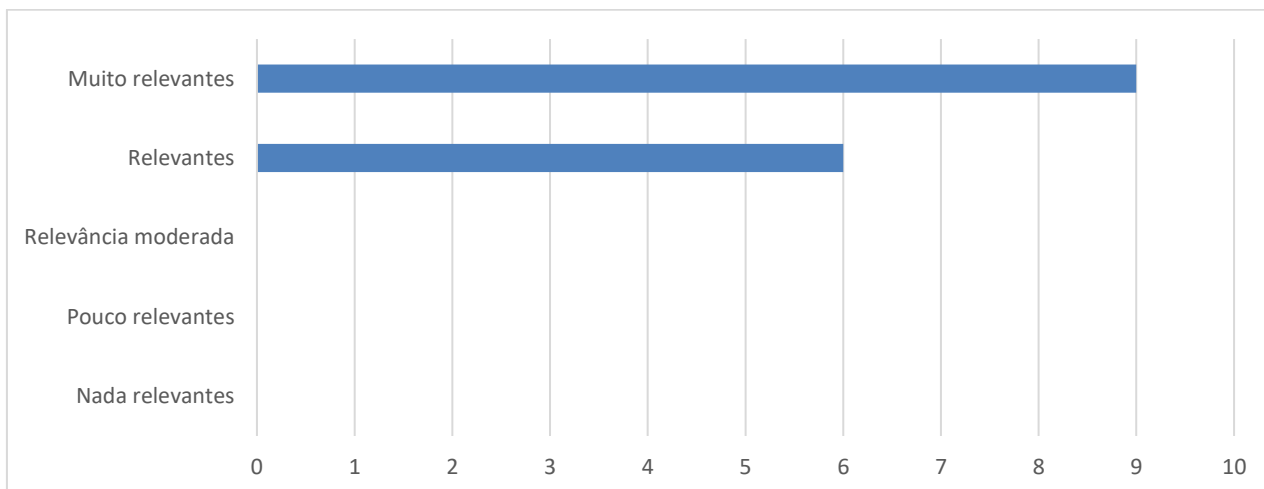
Conclusão da Pergunta 6

Os filtros de data apoiam a busca eficiente por alertas, com melhorias de usabilidade recomendadas para reduzir as poucas dificuldades encontradas.

5.4.3 Relevância e Aplicabilidade

Pergunta 7: Os alertas de focos de calor e de desmatamento foram relevantes para o seu contexto?

Figura 28 - Relevância dos alertas de focos de calor e desmatamento



Fonte: Elaborado pelo autor.

Distribuição das Respostas (Figura 28):

- a. Nada relevantes: 0 respostas
- b. Pouco relevantes: 0 respostas
- c. Relevância moderada: 0 respostas
- d. Relevantes: 6 respostas
- e. Muito relevantes: 9 respostas

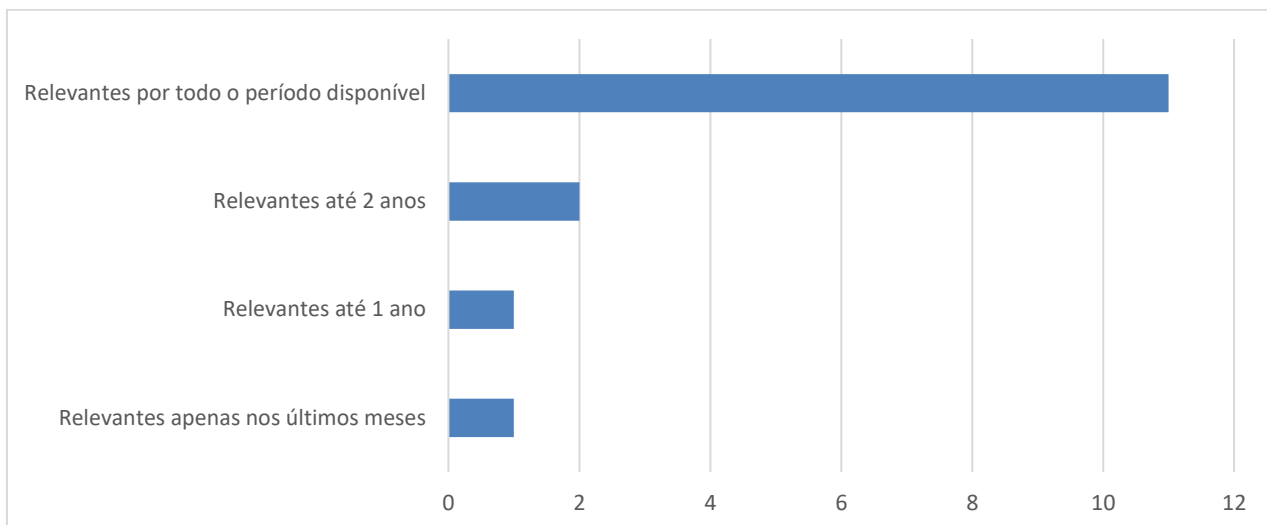
Análise:

- [4] Predominância de alta relevância: Não houve avaliações baixas; todos os respondentes atribuíram notas 4 ou 5, sugerindo aderência do conteúdo dos alertas às necessidades reais de monitoramento.
- [5] Alinhamento com uso prático: A concentração em 5 indica que os alertas são percebidos como acionáveis para tomada de decisão e priorização de campo.
- [6] Coerência com o público-alvo: O resultado é compatível com a composição da amostra (comunidades indígenas e técnicos), para os quais a atualidade e a precisão dos alertas são centrais.

Conclusão da Pergunta 7

Os alertas do IndiMap são considerados relevantes a muito relevantes para o uso em contexto real, reforçando a adequação do artefato às demandas operacionais de vigilância.

Pergunta 8: Para o seu trabalho ou interesse, qual é a relevância dos dados históricos disponibilizados pelo IndiMap?

Figura 29 - Relevância dos dados históricos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Distribuição das Respostas (Figura 29):

- a. Relevantes apenas nos últimos meses: 1 resposta
- b. Relevantes até 1 ano: 1 resposta
- c. Relevantes até 2 anos: 2 respostas
- d. Relevantes por todo o período disponível: 11 respostas

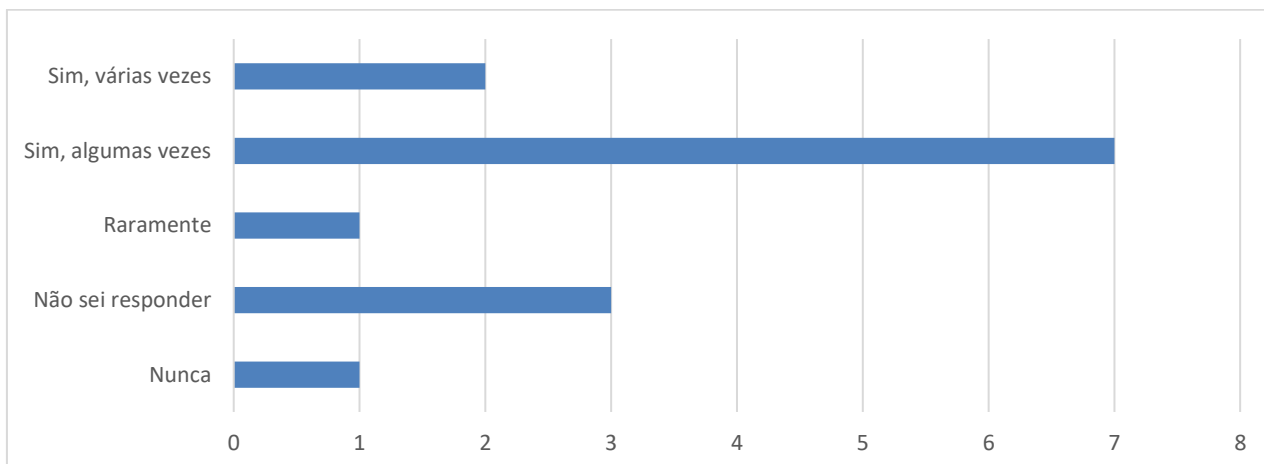
Análise:

- [1] Valor longitudinal: A preferência por “todo o período disponível” (11/15) evidencia uso analítico de séries temporais, útil para identificar sazonalidade, recorrência de eventos e tendências.
- [2] Utilidade para planejamento: A necessidade de histórico amplo indica aplicação em gestão territorial, avaliação de risco e suporte a ações preventivas.
- [3] Benefício para governança: A amplitude temporal favorece integração com relatórios técnicos, prestação de contas e articulação com políticas públicas.

Conclusão da Pergunta 8

Há forte demanda por histórico completo, o que justifica a manutenção e ampliação das séries no IndiMap, bem como funcionalidades de comparação temporal.

Pergunta 9: Em algum momento você conseguiu comprovar um alerta exibido no IndiMap com um evento real ocorrido na Terra Indígena de sua atuação?

Figura 30 - Comprovação de Alertas

Fonte: Elaborado pelo autor.

Distribuição das Respostas (Figura 30):

- a. Nunca: 2 respostas
- b. Não sei responder: 3 respostas
- c. Raramente: 1 resposta
- d. Sim, algumas vezes: 7 respostas
- e. Sim, várias vezes: 2 respostas

Análise:

- [1] Evidência de correspondência: a maioria (9/15) relatou comprovação algumas vezes ou várias vezes, indicando aderência dos alertas a eventos reais.
- [2] Incerteza/limitações: 5/15 (nunca + não sei responder) revelam contextos com dificuldade de verificação independente (acesso, logística, registro).
- [3] Oportunidades de aprimoramento: integração com registros de campo (fotos georreferenciadas, check-ins) e com bases de ocorrência oficiais pode aumentar a rastreabilidade e a confiança.

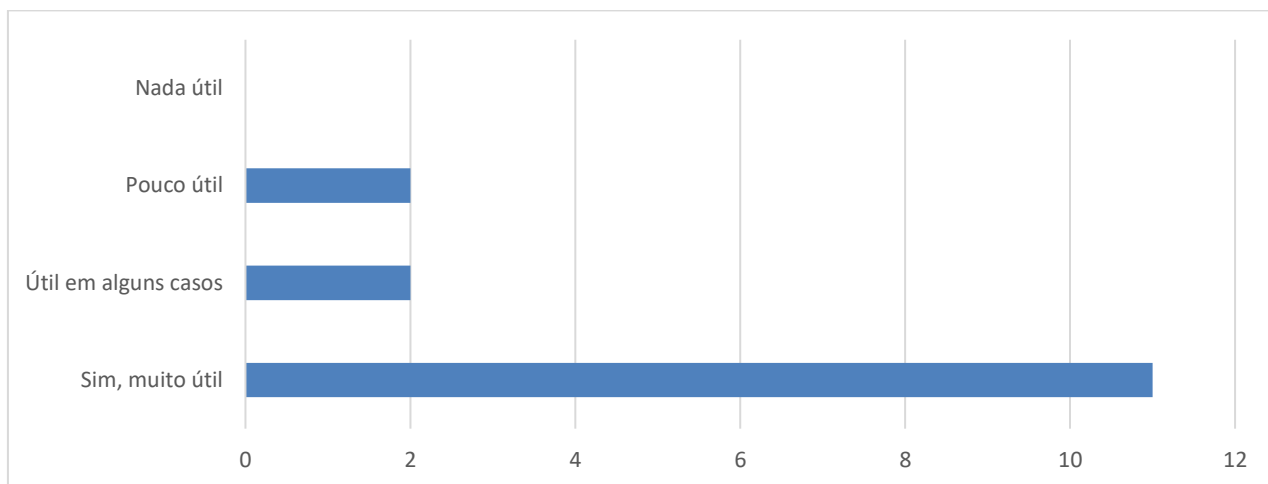
Conclusão da Pergunta 9

Os resultados indicam capacidade prática de validação dos alertas em campo por parcela expressiva dos respondentes, com espaço para aprimorar mecanismos de verificação e documentação das evidências.

5.4.4 Disseminação e Engajamento Social

Pergunta 10: Você considera útil que os alertas sejam também publicados em redes sociais (Instagram, Telegram, X)?

Figura 31 - Percepção sobre utilidade de publicar alertas em redes sociais



Fonte: Elaborado pelo autor.

Distribuição das Respostas (Figura 31):

- a. Pouco útil: 2 respostas
- b. Útil em alguns casos: 2 respostas
- c. Sim, muito útil: 11 respostas

Análise:

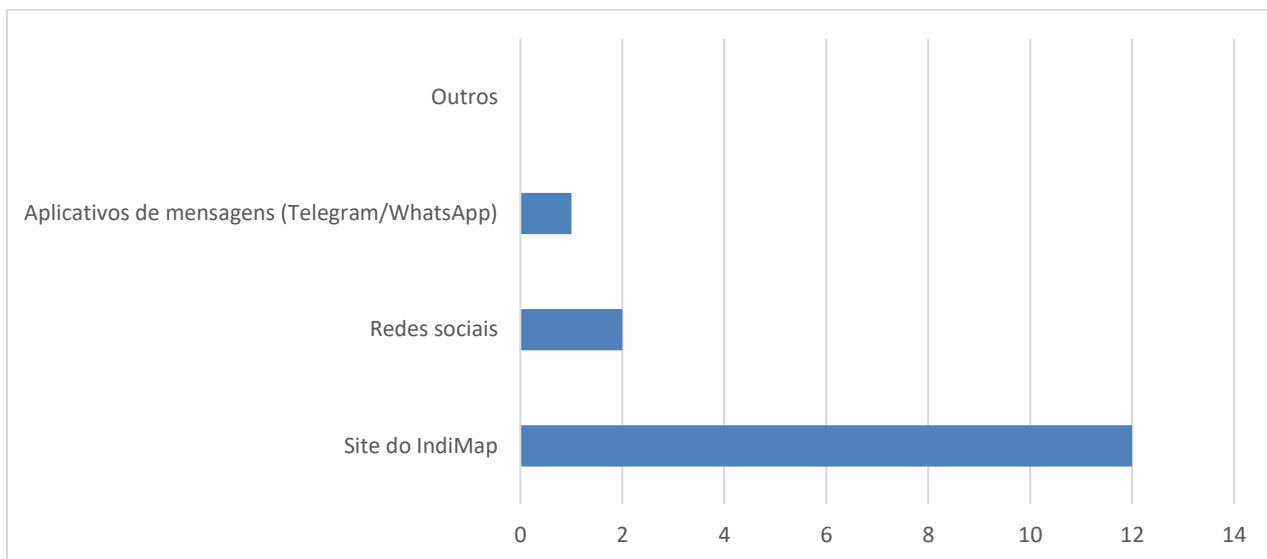
- [1] Aceitação majoritária: a avaliação “muito útil” (11/15) indica ampla aderência à estratégia multicanal.
- [2] Casos condicionais: respostas “útil em alguns casos” sugerem cenários com restrições de conectividade/alcance ou preferências institucionais por canais oficiais.
- [3] Implicação prática: manter integração com redes sociais amplia o alcance e a velocidade de disseminação dos alertas, sobretudo em contextos comunitários.

Conclusão da Pergunta 10

Há forte apoio à publicação dos alertas em redes sociais, reforçando o desenho de comunicação distribuída do IndiMap.

Pergunta 11: Você acessaria os alertas preferencialmente pelo:

Figura 32 - Canal preferido de acesso aos alertas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Distribuição das Respostas (Figura 32):

- a. Aplicativos de mensagens (Telegram/WhatsApp): 1 resposta
- b. Redes sociais: 2 respostas
- c. Site do IndiMap: 12 respostas

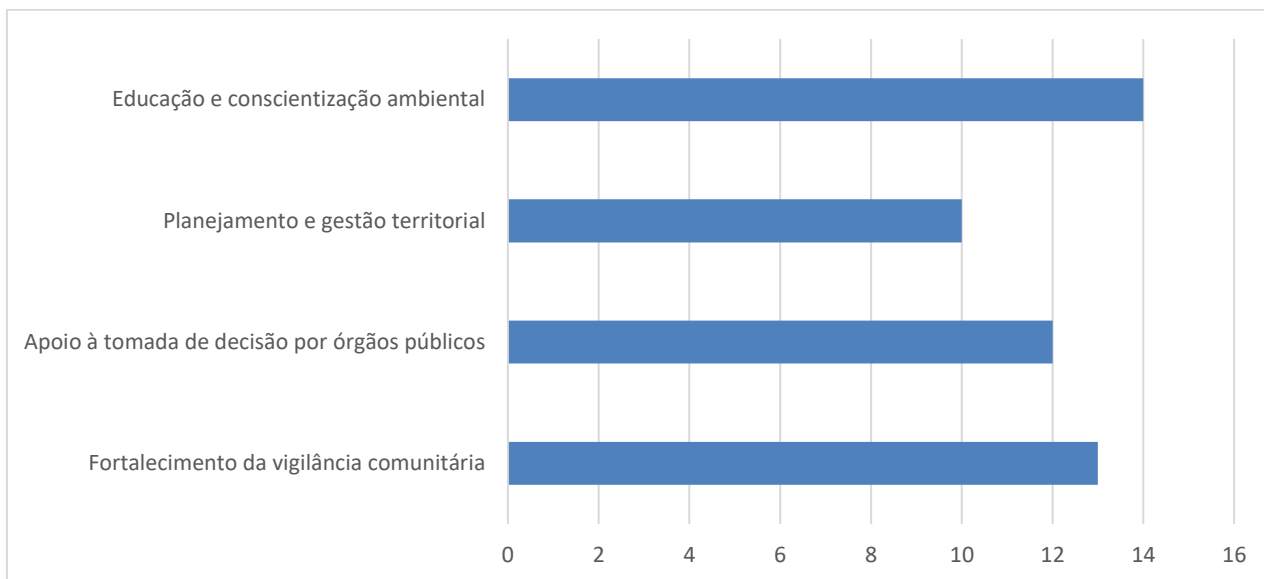
Análise:

- [1] Preferência por canal oficial: a opção “Site do IndiMap” (12/15) evidencia confiança no portal como fonte primária (melhor organização, filtros e histórico).
- [2] Papel complementar de redes/mensageria: embora minoritários, esses canais funcionam como gatilhos de atenção e porta de entrada para o acesso ao site.
- [3] Direccionador de design: priorizar melhorias de navegabilidade e filtros no site e manter publicações-resumo nas redes com link para o detalhamento.

Conclusão da Pergunta 11

O site é o canal preferido para consumo aprofundado de informação, enquanto redes sociais e mensageria permanecem relevantes para alerta rápido e engajamento.

Pergunta 12: Você acredita que o IndiMap pode contribuir para:

Figura 33 - Percepção de contribuição do IndiMap

Fonte: Elaborado pelo autor.

Distribuição das Respostas (Figura 33):

- a. Fortalecimento da vigilância comunitária: 13 respostas
- b. Apoio à tomada de decisão por órgãos públicos: 12 respostas
- c. Planejamento e gestão territorial: 10 respostas
- d. Educação/Conscientização ambiental: 14 respostas
- e. Outras contribuições (especificadas): 2 respostas

Análise:

- [1] Multiplicidade de impactos: as respostas indicam que o IndiMap atua em diferentes frentes (operacional, institucional e educativa).
- [2] Valor público do artefato: a recorrência de “apoio a órgãos públicos/gestão” sugere potencial de política pública, enquanto “vigilância comunitária” reforça o uso no território.
- [3] Ações derivadas: recomenda-se formalizar protocolos de uso (ex.: como registrar, escalar e acompanhar um alerta), fortalecendo a ponte entre detecção e resposta.

Conclusão da Pergunta 12

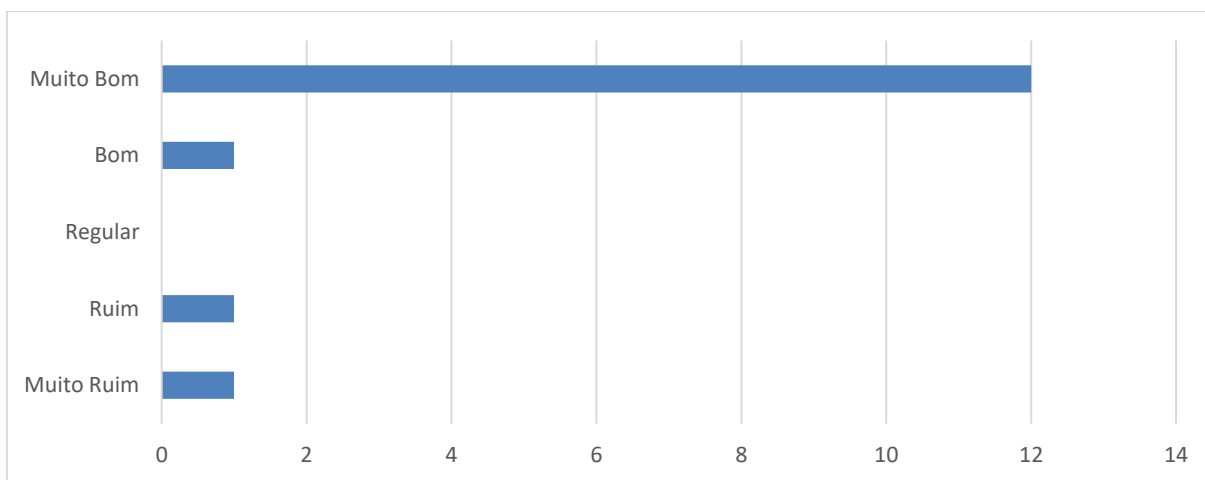
Os resultados demonstram que o IndiMap é percebido como uma ferramenta multifuncional, com impactos diretos em vigilância comunitária, gestão pública, planejamento territorial e educação ambiental. A predominância das respostas nas categorias mais altas confirma sua relevância social e institucional, reforçando o

potencial do artefato para ampliar o engajamento e a transparência nas ações de monitoramento ambiental em Terras Indígenas.

5.4.5 Avaliação Geral e Sugestões Futuras

Pergunta 13: De forma geral, como você avalia o IndiMap?

Figura 34 - Avaliação geral da plataforma



Fonte: Elaborado pelo autor.

Distribuição das Respostas (Figura 34):

- a. Muito ruim: 1 resposta
- b. Ruim: 1 resposta
- c. Regular: 0 respostas
- d. Bom: 1 resposta
- e. Muito bom: 12 respostas

Análise:

- [1] Predominância positiva: A categoria “muito bom” concentrou 12 das 15 respostas, indicando forte aprovação da plataforma.
- [2] Avaliação geral favorável: Somando “bom” e “muito bom”, 13 participantes avaliaram positivamente o IndiMap.
- [3] Avaliações negativas pontuais: As categorias “muito ruim” e “ruim” tiveram uma resposta cada, indicando possíveis dificuldades específicas a serem investigadas.

Conclusão da Pergunta 13

A avaliação geral do IndiMap foi amplamente positiva, com predominância da categoria “muito bom”. Esse resultado indica boa aceitação da plataforma pelos participantes, embora as avaliações negativas pontuais devam ser consideradas como oportunidades de aprimoramento.

Pergunta 14: Quais funcionalidades você gostaria de ver adicionadas no futuro? (resposta aberta)

Distribuição das Respostas — síntese temática:

- a. Cicatriz de fogo (mapeamento de áreas queimadas): 1 resposta
- b. Camada de consistência de fogo (qualidade/validação do dado): 1 resposta
- c. Dias sem chuva / risco de fogo (variáveis ambientais de apoio): 1 resposta
- d. Geração de relatórios em tempo real (produtos prontos para decisão): 1 resposta
- e. Download de dados em CSV/GeoJSON (acesso e reuso dos dados): 1 resposta
- f. Outras sugestões pontuais (ex.: melhorias em análises/UX, gráficos não-espaciais, recursos de IA): [presentes, contagem difusa entre respostas abertas]

Análise:

- [1] Ênfase em qualidade e verificabilidade do dado: “cicatriz de fogo” e “camada de consistência” apontam para fortalecer o pós-evento e a confiabilidade analítica.
- [2] Produtos operacionais para decisão: “relatórios em tempo real” endereçam a necessidade de comunicação rápida e padronizada para diferentes públicos.
- [3] Abertura e interoperabilidade: pedidos de download CSV/GeoJSON reforçam o uso científico/institucional e integração com outros sistemas; variáveis como dias sem chuva agregam contexto de risco.

Conclusão da Pergunta 14

As sugestões convergem para: (i) melhorar a confiabilidade e o pós-processamento (cicatriz/consistência), (ii) facilitar o consumo institucional (relatórios), e (iii) ampliar interoperabilidade e contexto (exportações padronizadas e variáveis ambientais).

Pergunta 15: Comentários gerais sobre sua experiência com o IndiMap. (resposta aberta)

Síntese das Respostas:

Relatos destacam intuitividade, propósito social e responsividade da plataforma, com recomendações para ampliar produtos analíticos (relatórios, camadas de validação) e formas de acesso aos dados (exportação). Casos pontuais mencionam aspectos a revisar em fluxos específicos de navegação.

Conclusão da Pergunta 15

Os comentários corroboram os achados quantitativos e indicam trilhas de melhoria incremental alinhadas às necessidades dos usuários finais e institucionais.

5.4.6 Análise e discussão da avaliação do IndiMap

A avaliação da ferramenta IndiMap foi realizada por meio de um formulário estruturado, aplicado de forma online a 15 participantes selecionados de forma intencional, considerando sua relação com o tema investigado e seu potencial de contribuição para a análise do artefato no contexto do monitoramento ambiental em Terras Indígenas. O instrumento utilizado correspondeu ao Formulário 2, intitulado “Avaliação da Ferramenta IndiMap para Monitoramento Ambiental em Territórios Indígenas”, apresentado no Apêndice B, e foi composto por questões fechadas e abertas voltadas à análise da usabilidade, clareza das informações, relevância prática dos alertas, disseminação e avaliação geral da plataforma. Conforme apresentado na Figura 22, a amostra foi composta por 8 participantes indígenas, 3 participantes com vínculo acadêmico — dos quais 2 também atuavam na área de geoprocessamento — e 5 participantes com atuação técnica ou institucional em áreas relacionadas, como geoprocessamento, sensoriamento remoto, meteorologia, engenharia ambiental e inovação social. Essa composição buscou reunir percepções complementares, contemplando tanto usuários diretamente relacionados ao território quanto participantes com conhecimento técnico sobre dados e ferramentas de monitoramento ambiental. De modo geral, os resultados indicam uma percepção positiva, sobretudo no que se refere à clareza das informações, à facilidade de uso e à aplicabilidade dos alertas para o contexto de monitoramento ambiental em Terras Indígenas. Contudo, é importante considerar que a amostra utilizada é reduzida, o que limita a validade externa dos achados e recomenda cautela quanto à sua generalização para outros públicos e contextos de uso.

No aspecto de usabilidade e experiência de uso, conforme apresentado na Figura 24, predominam avaliações positivas quanto à facilidade de uso da plataforma, com concentração nas categorias “fácil” e “muito fácil”. A clareza informacional, apresentada na Figura 25, também se concentrou integralmente nas faixas superiores, indicando que as informações exibidas foram percebidas como claras ou muito claras pelos participantes. Esse resultado sugere que a forma como os dados são apresentados atende ao propósito de reduzir barreiras de interpretação e ampliar o acesso por públicos com necessidades distintas. Além disso, o desempenho percebido da plataforma, apresentado na Figura 26, foi avaliado majoritariamente como rápido ou muito rápido, e os filtros temporais, conforme a Figura 27, foram utilizados sem dificuldades pela maioria dos participantes. Esses achados reforçam a adequação do IndiMap para uso prático em rotinas de consulta, análise de períodos críticos e acompanhamento temporal dos alertas. Ainda assim, esses resultados devem ser interpretados

no escopo da amostra avaliada, sendo recomendável a realização de estudos futuros com maior número de participantes e maior diversidade de perfis para ampliar a robustez das conclusões.

Quanto à relevância e aplicabilidade dos dados, conforme apresentado na Figura 28, os alertas foram classificados como relevantes ou muito relevantes por 100% dos respondentes, indicando alinhamento entre o conteúdo disponibilizado e as necessidades informacionais associadas à proteção territorial, ao acompanhamento de pressões ambientais e ao suporte à tomada de decisão. A valorização predominante dos dados históricos para todo o período disponível, apresentada na Figura 29, também sugere que o IndiMap cumpre um papel que vai além do “alerta imediato”, apoiando análises de tendências, recorrências e comparação sazonal, aspectos importantes para planejamento e priorização de ações.

Em relação à confiabilidade percebida e à pergunta recorrente sobre “correspondência com a realidade”, conforme apresentado na Figura 30, a avaliação aponta evidências práticas relatadas pelos participantes de que os alertas exibidos se relacionam a eventos reconhecidos no território e a situações de interesse para monitoramento. Contudo, esse achado deve ser interpretado como evidência perceptiva e contextual, derivada da experiência dos respondentes, e não como uma medida formal de precisão/validação em campo. Assim, embora a avaliação sustente a utilidade operacional do artefato, ela também evidencia a necessidade de evolução em mecanismos mais formais e reproduzíveis de verificação pós-evento, como checagens de consistência, mapeamento de cicatriz de fogo e estratégias de validação amostral, o que pode elevar a robustez do sistema em contextos institucionais mais exigentes.

No eixo de disseminação e acesso, conforme apresentado nas Figuras 31 e 32, observou-se forte apoio ao uso de redes sociais como vetor de alcance e alerta rápido, enquanto o site foi apontado como canal preferencial para consumo aprofundado e análise detalhada. Esse resultado indica complementaridade entre canais: a publicação em redes sociais tende a potencializar visibilidade e rapidez na difusão, ao passo que a plataforma web se mantém como referência para consulta, contextualização e exploração de dados. Importante ressaltar que, nesta avaliação, o impacto da disseminação foi analisado pela percepção dos participantes, considerando preferências e aceitação, e não por métricas externas de engajamento; isso delimita o tipo de inferência possível e sugere, como evolução, a incorporação de indicadores de difusão quando houver condições de mensuração.

Por fim, conforme apresentado na Figura 33, as contribuições percebidas concentram-se em proteção de Terras Indígenas, apoio à tomada de decisão, planejamento e gestão territorial e educação ambiental, reforçando o valor do IndiMap como ferramenta de acesso e organização de informação para monitoramento. As sugestões de evolução, obtidas a partir das respostas abertas do Formulário 2, convergem para três frentes: (i) qualificação da confiabilidade pós-evento, por meio de recursos como consistência e cicatriz de fogo; (ii) ampliação de produtos operacionais, como relatórios; e (iii) reforço de interoperabilidade e acesso, com exportações

em formatos como CSV e GeoJSON. Em conjunto, os resultados da avaliação sustentam que o IndiMap atende ao propósito de centralizar e disponibilizar alertas de forma compreensível e utilizável, ao mesmo tempo em que explicitam limites e direções concretas de aprimoramento para aumentar a confiabilidade e a integração do artefato a fluxos operacionais.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa buscou responder à seguinte pergunta: em que medida uma plataforma centralizada pode favorecer o acesso e a disseminação de alertas de desmatamento e queimadas em Terras Indígenas, quando comparada ao uso isolado das plataformas de origem? Os resultados obtidos indicam que a centralização promovida pelo IndiMap contribui para ampliar o acesso, a organização e a disseminação dessas informações, ao reunir em um único ambiente dados provenientes de diferentes fontes oficiais, automatizar etapas de processamento e disponibilizar os alertas por meio de interface web, API de dados abertos e integração com redes sociais.

Essa conclusão é sustentada por evidências técnicas e empíricas produzidas ao longo do trabalho. Do ponto de vista técnico, a plataforma demonstrou capacidade de integrar múltiplas fontes de dados ambientais, automatizar fluxos de processamento e disponibilizar informações atualizadas por diferentes canais de acesso. Os testes aplicados à API apontaram comportamento consistente, aderência ao contrato especificado e desempenho estável no cenário avaliado. Do ponto de vista empírico, a avaliação com os participantes indicou percepção positiva quanto à clareza das informações, à facilidade de uso e à relevância prática dos alertas para o monitoramento ambiental em Terras Indígenas.

A aplicação da metodologia Design Science Research (DSR) foi fundamental para estruturar a concepção, o desenvolvimento e a avaliação do artefato, permitindo alinhar a solução proposta ao problema investigado e às necessidades dos usuários. Nesse sentido, os resultados sugerem que o IndiMap atingiu seus objetivos principais ao centralizar informações antes dispersas, facilitar o acesso a dados geoespaciais atualizados e ampliar a disseminação de alertas ambientais por meios digitais.

Entretanto, os resultados devem ser interpretados com cautela quanto à sua generalização. A avaliação empírica foi realizada com uma amostra reduzida, embora composta por perfis relevantes para o contexto de uso da plataforma, o que limita a validade externa dos achados. Além disso, a utilidade do IndiMap depende das características, limitações e periodicidade de atualização das bases de dados integradas, aspecto que deve ser considerado na interpretação dos alertas disponibilizados.

Por fim, o IndiMap apresenta potencial de contribuição tecnológica e social ao ampliar o acesso às informações ambientais e apoiar diferentes atores no acompanhamento de ocorrências em Terras Indígenas. Ao transformar dados técnicos em produtos informativos mais acessíveis, a plataforma evidencia o potencial da integração entre ciência, tecnologia e participação social no enfrentamento de problemas ambientais complexos.

6.1 Propostas para Continuação da Pesquisa

O desenvolvimento da plataforma IndiMap abre novas possibilidades de investigação e aprimoramento tecnológico que ultrapassam o escopo desta dissertação. Como perspectivas de continuidade da pesquisa, destacam-se:

- A integração de indicadores climáticos e socioambientais que permitam análises preditivas e estudos de correlação entre eventos;
- A criação de painéis interativos e relatórios dinâmicos voltados ao apoio à tomada de decisão por órgãos públicos;
- O aprofundamento da avaliação de impacto social e territorial do uso da ferramenta junto às comunidades indígenas;
- A exploração de novos contextos de aplicação do modelo IndiMap em outras áreas sensíveis, como unidades de conservação e territórios quilombolas.

Essas propostas apontam caminhos promissores para o aprimoramento da plataforma e para a ampliação de sua contribuição como instrumento de vigilância ambiental e apoio à governança digital de territórios tradicionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGAFONKIN, Vladimir. Leaflet: open-source JavaScript library for mobile-friendly interactive maps. Disponível em: <https://leafletjs.com/>. Acesso em: 4 jul. 2024.

ALENCAR, Ane et al. Amazônia em chamas: o novo e alarmante patamar do desmatamento na Amazônia. Brasília: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, 2022. Disponível em: <https://acervo.socioambiental.org/sites/default/files/documents/10d00751.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2024.

ALENCAR, A. A.; BRANDO, P. M.; ASNER, G. P.; PUTZ, F. E. Landscape fragmentation, severe drought, and the new Amazon forest fire regime. *Ecological Applications*, v. 25, n. 6, p. 1493-1505, 2015. DOI: 10.1890/14-1528.1.

ARAGÃO, L. E. O. C. et al. 21st Century Drought-Related Fires Counteract the Decline of Amazon Deforestation Carbon Emissions. *Nature Communications*, v. 9, n. 1, p. 1-12, 2018.

ASSUNÇÃO, J.; GANDOUR, C.; ROCHA, R. DETERring Deforestation in the Amazon: Environmental Monitoring and Law Enforcement. Climate Policy Initiative, 2019.

BRAGAGNOLO, L.; DA SILVA, Roberto Valmir; GRZYBOWSKI, José Mario Vicensi. Towards the automatic monitoring of deforestation in Brazilian rainforest. *Ecological Informatics*, v. 66, p. 101454, 2021.

COELHO, Marcelly Homem et al. Método para a Classificação de Áreas Queimadas Baseado em Aprendizado de Máquina Automatizado. *Anais do Computer on the Beach*, v. 13, p. 029-036, 2022.

CORREIA, Avani Maria de Campos; OLIVEIRA, Guilherme de; OLIVEIRA, Anny Carolina de. O grupo focal na pesquisa qualitativa: princípios e fundamentos. *Revista Prisma*, v. 2, n. 1, p. 34-47, 2021.

DAVIS JR., C. A.; FONSECA, F. T.; CÂMARA, G. Infraestruturas de Dados Espaciais na Integração entre Ciência e Comunidades para Promover a Sustentabilidade Ambiental. *Anais do Workshop on Geospatial Cyberinfrastructure and Spatial Data Infrastructures*, p. 1-10, 2009. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/251576430>. Acesso em: 4 jun. 2025.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JR., J. A. V. Design science research: a method for science and technology advancement. [S. l.]: Springer, 2015.

EUROPEAN SPACE AGENCY. The GMES/Copernicus Sentinels Missions. [S. l.], 2013. Disponível em: <https://earth.esa.int/eogateway/documents/20142/0/ESASentinels062013.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2026.

- FELLOWS, M. et al. Cadastro Ambiental Rural (CAR) e a Pressão sobre as Terras Indígenas na Amazônia. *Environmental Research Letters*, v. 16, n. 3, p. 034012, 2021.
- FERREIRA, J.; PARRUCCI, V.; MELLO, N. A Demarcação de Terras Indígenas no Brasil: Desafios e Perspectivas. *Revista Brasileira de Política Ambiental*, v. 10, n. 1, p. 23-38, 2018.
- FONSECA, M. G. et al. Satellite-based Detection of Brazilian Fires and Deforestation: Assessment and Enhancement. *Remote Sensing of Environment*, v. 231, p. 111226, 2019.
- FUNAI. Demarcação de Terras Indígenas. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/funai/pt-br/atuacao/terras-indigenas/demarcacao-de-terras-indigenas>. Acesso em: 20 jun. 2024.
- FUNAI. Terras Indígenas no Brasil. 2024. Disponível em: <http://www.funai.gov.br>. Acesso em: 20 jun. 2024.
- GATTI, Bernardete Angelina. Grupo focal na pesquisa em ciências sociais e humanas. In: GATTI, Bernardete Angelina. Grupo focal na pesquisa em ciências sociais e humanas. 2005. p. 77-77.
- GIGLIO, L. et al. Collection 6 MODIS Burned Area Product User's Guide. [S. l.]: NASA, 2016.
- GRAFANA LABS. k6: Load testing for engineering teams. Disponível em: <https://k6.io/>. Acesso em: 5 dez. 2025.
- GRINBERG, M. Flask web development: developing web applications with Python. [S. l.]: O'Reilly Media, Inc., 2018.
- HAKLAY, M. How good is volunteered geographical information? A comparative study of OpenStreetMap and Ordnance Survey datasets. *Environment and Planning B: Planning and Design*, v. 37, n. 4, p. 682-703, 2010.
- HANSEN, M. C. et al. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science*, v. 342, n. 6160, p. 850-853, 2013.
- HEVNER, A. R.; CHATTERJEE, S. Design science research in information systems. [S. l.]: Springer, 2010.
- HEVNER, A. R.; MARCH, S. T.; PARK, J.; RAM, S. Design science in information systems research. *MIS Quarterly*, v. 28, n. 1, p. 75-105, 2004.
- IBGE. Os Povos Indígenas. 2010. Disponível em: <https://indigenas.ibge.gov.br/>. Acesso em: 25 jun. 2024.
- INDIMAP. Documentação da API (Swagger UI). Disponível em: <https://data.indimap.org/docs>. Acesso em: 15 jan. 2026.
- INDIMAP. Perfil no Instagram: @indimap_org. Disponível em: https://www.instagram.com/indimap_org/. Acesso em: 6 jun. 2025.

INDIMAP. Perfil no TikTok: @indimap. Disponível em: <https://www.tiktok.com/@indimap>. Acesso em: 6 jun. 2025.

INDIMAP. Perfil no X (Twitter): @indimapbr. Disponível em: <https://x.com/indimapbr>. Acesso em: 6 jun. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Programa Queimadas. Disponível em: <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/portal/>. Acesso em: 13 nov. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Sistema de Detecção do Desmatamento em Tempo Real (DETER). TerraBrasilis. Disponível em: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/>. Acesso em: 14 jul. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). TerraBrasilis. Disponível em: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/>. Acesso em: 14 jul. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Taxa consolidada de desmatamento na Amazônia em 2022-2023 é de 9.064 km². [S. l.], 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/inpe/pt-br/assuntos/ultimas-noticias/taxa-consolidada-de-desmatamento-na-amazonia-em-2022-2023-e-de-9-064-km2>. Acesso em: 11 mar. 2026.

INSTAGRAM. Disponível em: <https://www.instagram.com>. Acesso em: 6 jun. 2024.

JOHANNESON, P.; PERJONS, E. An introduction to design science. [S. l.]: Springer, 2014.

JORDAHL, Kelsey et al. GeoPandas: Python tools for geographic data. Disponível em: <https://github.com/geopandas/geopandas>. Acesso em: 2 jul. 2024.

LÓSCIO, B. F.; BURLE, C.; CALEGARI, N. Data on the Web Best Practices. [S. l.]: W3C, 2017. Disponível em: <https://www.w3.org/TR/dwbp/>. Acesso em: 15 jul. 2024.

LÓSCIO, Bernadette Farias; BURLE, Caroline; CALEGARI, Newton. Boas práticas para dados na WEB: desafios e benefícios. Revista Principia, n. 32, p. 9-18, 2016.

MAPBIOMAS. API MapBiomas Alerta. Disponível em: <https://plataforma.alerta.mapbiomas.org/api>. Acesso em: 24 abr. 2026.

MAPBIOMAS. MapBiomas Alerta. Disponível em: <https://alerta.mapbiomas.org/>. Acesso em: 16 jul. 2024.

MCKINNEY, Wes et al. Data structures for statistical computing in Python. In: SciPy. 2010. p. 51-56.

MIRANDA, José Mario Fraga et al. IndiMap: Ferramenta integrada para monitoramento de desmatamento e queimadas em terras indígenas. In: ANAIS ESTENDIDOS do XXIX Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimídia e Web. [S. l.]: SBC, 2023. p. 81-84.

MOMJIAN, B. PostgreSQL: Introduction and Concepts. [S. l.]: Addison-Wesley, 2001.

NASA EARTHDATA. MODIS C6/C6.1 Active Fire Product User's Guide. [S. l.], 2021. Disponível em: https://www.earthdata.nasa.gov/s3fs-public/2023-09/MODIS_C6_C6.1_Fire_User_Guide_1.0.pdf. Acesso em: 11 mar. 2026.

NASA EARTHDATA. NASA FIRMS Helps Fight Wildland Fires in Near Real-Time. [S. l.], 2025. Disponível em: <https://www.earthdata.nasa.gov/news/feature-articles/nasa-firms-helps-fight-wildland-fires-near-real-time>. Acesso em: 11 mar. 2026.

OBE, R. O.; HSU, L. S. PostGIS in action. [S. l.]: Manning Publications Co., 2010.

OPENAPI INITIATIVE. OpenAPI Specification, v. 3.1.0. Disponível em: <https://www.openapis.org/>. Acesso em: 11 nov. 2025.

PEFFERS, K.; TUUNANEN, T.; ROTHENBERGER, M. A.; CHATTERJEE, S. A design science research methodology for information systems research. *Journal of Management Information Systems*, v. 24, n. 3, p. 45-77, 2007.

POSTMAN. Newman: command-line collection runner for Postman. Disponível em: <https://www.npmjs.com/package/newman>. Acesso em: 20 nov. 2025.

POSTMAN. Postman API Platform. Disponível em: <https://www.postman.com/>. Acesso em: 20 nov. 2025.

RONNEBERGER, O.; FISCHER, P.; BROX, T. U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. In: *MEDICAL IMAGE COMPUTING AND COMPUTER-ASSISTED INTERVENTION (MICCAI) 2015: 18th International Conference, Munich, Germany, October 5-9, 2015, proceedings, part III*. [S. l.]: Springer, 2015. p. 234-241.

ROY, David P. et al. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sensing of Environment*, v. 145, p. 154-172, 2014.

SCHALLMO, D.; WILLIAMS, C. A.; BOARDMAN, L. Digital transformation of business models: best practice, enablers, and roadmap. [S. l.]: Springer, 2018.

SCHEMATHESIS. Schemathesis: OpenAPI and GraphQL testing tool. Disponível em: <https://schemathesis.readthedocs.io/>. Acesso em: 10 nov. 2025.

SCHROEDER, W. et al. VIIRS Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) Version 1.3: Active Fire Product. [S. l.]: NASA, 2014.

SILVEIRA, J.; MENDES, P.; COSTA, L. A Importância das Terras Indígenas para a Conservação da Biodiversidade na Amazônia. *Biodiversity Journal*, v. 25, n. 4, p. 233-248, 2019.

SIMON, H. A. The sciences of the artificial. [S. l.]: MIT Press, 1969.

SWAGGER. Swagger UI. Disponível em: <https://swagger.io/tools/swagger-ui/>. Acesso em: 15 jan. 2026.

TELEGRAM. Disponível em: <https://www.telegram.org>. Acesso em: 6 jun. 2024.

TIKTOK. Disponível em: <https://www.tiktok.com>. Acesso em: 6 jun. 2024.

TILKOV, S.; VINOSKI, S. Node.js: Using JavaScript to build high-performance network programs. *IEEE Internet Computing*, v. 14, n. 6, p. 80-83, 2010.

TWITTER. Disponível em: <https://www.twitter.com>. Acesso em: 6 jun. 2024.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. Landsat 8. Reston, VA, 2013. Disponível em: <https://www.usgs.gov/publications/landsat-8>. Acesso em: 11 mar. 2026.

VENABLE, J.; BASKERVILLE, R. Eating our own cooking: toward a more rigorous design science of research methods. *The Electronic Journal of Business Research Methods*, v. 10, n. 2, p. 141-153, 2012.

VENABLE, John R. Design Science Research Post Hevner et al.: Criteria, Standards, Guidelines, and Expectations. In: WINTER, Robert; ZHAO, J. Leon; AIER, Stephan (eds.). *Global Perspectives on Design Science Research*. Berlin; Heidelberg: Springer, 2010. p. 109-123. (Lecture Notes in Computer Science, v. 6105). DOI: 10.1007/978-3-642-13335-0_8.

WALKER, W. et al. The Role of Indigenous Peoples in Forest Conservation. *Global Environmental Change*, v. 62, p. 102070, 2020.

WIERINGA, R. Design science as nested problem solving. In: *PROCEEDINGS of the 4th International Conference on Design Science Research in Information Systems and Technology*. 2009. p. 1-12.

YOU, Evan. Vue.js: The Progressive JavaScript Framework. Disponível em: <https://vuejs.org/>. Acesso em: 8 jul. 2024.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Formulário SOBRE Percepção e Eficácia das Ferramentas de Monitoramento Ambiental em Territórios Indígenas

Percepção e Eficácia das Ferramentas de Monitoramento Ambiental em Territórios Indígenas

Este formulário de pesquisa visa coletar opiniões sobre a necessidade e eficácia de ferramentas de monitoramento ambiental em tempo real para incêndios e desmatamentos em territórios indígenas. Busca também entender a importância do acesso direto a essas informações pelas comunidades indígenas e o potencial das redes sociais na ampliação do alcance dessas informações. Sua participação contribuirá para o desenvolvimento de soluções tecnológicas mais eficazes e inclusivas.

mario.miranda@academico.ifpb.edu.br [Mudar de conta](#)



* Indica uma pergunta obrigatória

Você acredita que a vigilância de incêndios e desmatamentos em territórios indígenas é uma necessidade real? *

- ☐ Não, acredito que não seja uma necessidade real.
- ☐ Talvez seja necessário, mas não vejo isso como uma prioridade.
- ☐ É importante, mas pode não ser essencial.
- ☐ Sim, é uma necessidade importante.
- ☐ Sim, é absolutamente essencial e urgente.

Quais das ferramentas de monitoramento ambiental abaixo você conhece? *

☐ INPE - Deter

☐ MapBiomias Alerta

☐ ImazonGeo

☐ SOMAI

☐ Outro: _____

Como você avalia a eficácia das atuais ferramentas de monitoramento ambiental, *
em especial, nos territórios indígenas, quando o foco é disponibilizar estas
informações para o cidadão comum?

☐ As ferramentas são totalmente ineficazes.

☐ As ferramentas são pouco eficazes.

☐ As ferramentas são medianamente eficazes.

☐ As ferramentas são bastante eficazes.

☐ As ferramentas são extremamente eficazes.

Você considera importante que as comunidades indígenas tenham acesso direto *
às informações sobre o estado ambiental (queimadas e desmatamento) de suas
terras?

- ☐ Não, não considero importante.
- ☐ Acho que é um pouco importante, mas não crucial.
- ☐ É importante, mas não é uma prioridade.
- ☐ Sim, é bastante importante.
- ☐ Sim, é extremamente importante e necessário.

Você vê alguma potencialidade no uso de redes sociais para ampliar o alcance *
das informações sobre ilícitos ou problemas ambientais em territórios indígenas?

- ☐ Não, não vejo nenhuma potencialidade.
- ☐ Vejo pouca potencialidade.
- ☐ Vejo uma potencialidade moderada.
- ☐ Sim, vejo uma boa potencialidade.
- ☐ Sim, vejo um grande potencial.

Como você imagina que as informações geradas por um sistema de monitoramento ambiental poderiam ser utilizadas para promover a conscientização ambiental? *

- ☐ Não acredito que poderiam ser utilizadas de forma eficaz.
- ☐ Poderiam ser utilizadas de forma limitada.
- ☐ Poderiam ser utilizadas de forma razoável.
- ☐ Poderiam ser muito úteis para conscientização ambiental.
- ☐ Poderiam ser extremamente úteis e ter um grande impacto na conscientização ambiental.

Você acredita que a disseminação de alertas e notificações sobre incêndios e desmatamentos pode ajudar a mitigar danos ambientais através da conscientização e democratização do acesso a estas informações? *

- ☐ Sim
- ☐ Não
- ☐ Não sei opinar

Quais funcionalidades você acha essencial que um sistema de monitoramento ambiental ofereça para ser útil no seu contexto de trabalho e na geração de engajamento e conscientização? *

- ☐ Postagem de Alertas no Instagram.
- ☐ Postagem de Alertas no X (Antigo Twitter).
- ☐ Envios de alertas em apps de mensagens em específicos das principais terras indígenas no Telegram.
- ☐ Plataforma Web Própria.
- ☐ API de Dados Abertos.
- ☐ Outro: _____

Quais os principais ilícitos ambientais que você acredita que ocorram nas Terras indígenas Brasileiras *

- ☐ Grilagem de Terras.
- ☐ Roubo de Madeira.
- ☐ Garimpo.
- ☐ Queimadas
- ☐ Outro: _____

Enviar

Limpar formulário

APÊNDICE B - Avaliação da Ferramenta IndiMap para Monitoramento Ambiental em Territórios Indígenas



Avaliação da Ferramenta Indimap para Monitoramento Ambiental em Territórios Indígenas

Este formulário de avaliação tem como objetivo coletar feedback sobre a experiência de uso da ferramenta Indimap para o monitoramento ambiental em territórios indígenas. Suas respostas são fundamentais para identificarmos pontos fortes e oportunidades de melhoria, visando aprimorar a eficácia e a usabilidade do sistema. Queremos garantir que o Indimap atenda às necessidades das comunidades indígenas e de outros usuários interessados em proteger e preservar esses territórios. Agradecemos sua colaboração em nos ajudar a tornar o Indimap uma ferramenta ainda mais eficaz e inclusiva

mario.miranda@academico.ifpb.edu.br [Mudar de conta](#)



 Não compartilhado

* Indica uma pergunta obrigatória

Como você avalia a facilidade de uso da plataforma IndiMap? *

- ☐ Muito Difícil
- ☐ Difícil
- ☐ Neutra
- ☐ Fácil
- ☐ Muito Fácil

A interface da plataforma é intuitiva e fácil de navegar? *

- ☐ Discordo Totalmente
- ☐ Discordo
- ☐ Neutra
- ☐ Concordo
- ☐ Concordo Totalmente

Quão útil você considera a integração da IndiMap com redes sociais (Twitter, Instagram, Telegram)? *

- ☐ Nada Útil
- ☐ Pouco Útil
- ☐ Neutra
- ☐ Útil
- ☐ Muito Útil

A plataforma IndiMap ajuda você a compreender melhor os problemas de desmatamento e queimadas em terras indígenas? *

- ☐ Discordo Totalmente
- ☐ Discordo
- ☐ Neutra
- ☐ Concordo
- ☐ Concordo Totalmente

Você recomendaria a plataforma IndiMap para outras pessoas ou organizações? *

- ☐ Não
- ☐ Sim

7 - Você tem alguma sugestão para melhorar a plataforma IndiMap?

Sua resposta

Enviar

Limpar formulário

APÊNDICE C - Dicionário de Dados das Principais Tabelas da Plataforma Indimap

Tabela “alertas_deter”

Campo	Tipo de Dados	Descrição
giz	serial4 (Inteiro Serial)	Identificador único da linha.
classname	varchar(30)	Nome da classe do alerta.
quadrant	varchar(5)	Quadrante de localização do alerta.
path_row	varchar(10)	Caminho e linha do satélite.
view_date	date	Data da captura da imagem pelo satélite.
sensor	varchar(10)	Tipo de sensor utilizado.
satellite	varchar(13)	Nome do satélite responsável pela captura da imagem.
areauckm	numeric	Área da Unidade de Conservação (km²).
uc	varchar(80)	Nome da Unidade de Conservação (UC).
areamunkm	numeric	Área do município (km²).
municipali	varchar(50)	Nome do município onde o alerta foi registrado.
geocodibge	varchar(7)	Código IBGE do município.
uf	varchar(2)	Sigla da Unidade Federativa (Estado).
geom	geometry(multipolygon, 4674)	Geometria representando a área do alerta (Multipolygon, SRID 4674).

Tabela “alertas_deter_cerrado”

Campo	Tipo de Dados	Descrição
gid	serial4 (Inteiro Serial)	Identificador único da linha.
classname	varchar(15)	Nome da classe do alerta.
quadrant	varchar(5)	Quadrante de localização do alerta.
path_row	varchar(7)	Caminho e linha do satélite.
view_date	date	Data da captura da imagem pelo satélite.

sensor	varchar(4)	Tipo de sensor utilizado.
satellite	varchar(10)	Nome do satélite responsável pela captura da imagem.
areauckm	numeric	Área da Unidade de Conservação (km²).
uc	varchar(100)	Nome da Unidade de Conservação (UC).
areamunkm	numeric	Área do município (km²).
municipali	varchar(60)	Nome do município onde o alerta foi registrado.
geocodibge	varchar(7)	Código IBGE do município.
uf	varchar(2)	Sigla da Unidade Federativa (Estado).
geom	geometry(multipolygon, 4674)	Geometria representando a área do alerta (Multipolygon, SRID 4674).

Tabela "alertas_mapbiomas"

Campo	Tipo de Dados	Descrição
fid	int4 (Inteiro)	Identificador da linha (não é chave primária).
codealerta	int4 (Inteiro)	Identificador único do alerta.
fonte	varchar(50)	Fonte do alerta (ex.: MapBiomas).
bioma	varchar(20)	Nome do bioma onde o alerta foi registrado.
estado	varchar(30)	Nome do estado onde o alerta foi registrado.
municipio	varchar(60)	Nome do município onde o alerta foi registrado.
areaha	numeric	Área do alerta em hectares.
anodetec	numeric	Ano de detecção do alerta.
datadetec	varchar(15)	Data da detecção do alerta (como texto).
dtimgant	date	Data da imagem anterior à detecção do alerta.
dtimgdep	date	Data da imagem posterior à detecção do alerta.
publimg	date	Data de publicação da imagem.
vpressao	varchar(20)	Indicador de pressão (ex.: vulnerabilidade).
geom	geometry(multipolygon, 4674)	Geometria representando a área do alerta (Multipolygon, SRID 4674).

Tabela "focos"

Campo	Tipo de Dados	Descrição
gid	bigserial (Inteiro Serial)	Identificador único da linha.
datahora_texto	varchar(25)	Data e hora do registro do foco de calor (como texto).
satelite	varchar(25)	Nome do satélite que capturou o foco de calor.
estado	varchar(30)	Nome do estado onde o foco de calor foi registrado.
municipio	varchar(80)	Nome do município onde o foco de calor foi registrado.
bioma	varchar(25)	Nome do bioma onde o foco de calor foi registrado.
frp	numeric	Potência radiativa do fogo (em MW).
geom	geometry(point, 4674)	Geometria representando a localização do foco de calor (Point, SRID 4674).
id_inpe	varchar(60)	Identificador único do foco de calor, conforme INPE.
datahora	timestamp	Data e hora do registro do foco de calor.
terra_id	int4 (Inteiro)	Identificador da Terra Indígena onde o foco foi registrado.

Tabela "terras_indigenas"

Campo	Tipo de Dados	Descrição
gid	serial4 (Inteiro Serial)	Identificador único da linha.
terrai_cod	float8 (Ponto flutuante de dupla precisão)	Código identificador da Terra Indígena.
terrai_nom	varchar(100)	Nome da Terra Indígena.
etnia_nome	varchar(150)	Nome da etnia associada à Terra Indígena.
municipio_	varchar(200)	Nome do município onde a Terra Indígena está localizada.
uf_sigla	varchar(10)	Sigla da Unidade Federativa (Estado).
superficie	numeric	Superfície total da Terra Indígena em hectares.
fase_ti	varchar(20)	Fase de regularização da Terra Indígena.

modalidade	varchar(80)	Modalidade de demarcação da Terra Indígena.
reestudo_t	varchar(20)	Indicador de reestudo territorial.
cr	varchar(60)	Código de referência (CR) para a Terra Indígena.
faixa_fron	varchar(5)	Indicador de proximidade com a faixa de fronteira.
undadm_cod	varchar(20)	Código da unidade administrativa relacionada.
undadm_nom	varchar(80)	Nome da unidade administrativa relacionada.
undadm_sig	varchar(20)	Sigla da unidade administrativa relacionada.
dominio_un	varchar(1)	Indicador de domínio único (sim/não).
data_atual	varchar(20)	Data da última atualização do registro, formatada como texto.
epsg	float8 (Ponto flutuante de dupla precisão)	Código EPSG (Sistema de Referência de Coordenadas) utilizado para a geometria.
geom	geometry(multipolygon, 4674)	Geometria representando a área da Terra Indígena (Multipolygon, SRID 4674).

APÊNDICE D - Especificação Técnica e Documentação da Indimap Open Data API

D.1 Introdução

A Indimap Open Data API foi desenvolvida para disponibilizar dados geoespaciais processados pela plataforma, seguindo os princípios de Dados Abertos e as Diretrizes W3C Data on the Web Best Practices (DWBP). A API é um componente central da arquitetura do Indimap, permitindo integração com sistemas externos e análises acadêmicas. Esta documentação descreve detalhadamente a estrutura, funcionalidades, parâmetros e formatos de saída, de forma a possibilitar a replicação e avaliação do sistema por outros pesquisadores.

D.2 Metodologia de Desenvolvimento

A API foi especificada utilizando OpenAPI 3.0, gerada automaticamente a partir do backend em NestJS, com documentação interativa via Swagger UI (INDIMAP, 2026). O versionamento é controlado (v1) para garantir compatibilidade. As respostas seguem o padrão JSON, com possibilidade de conversão para GeoJSON ou CSV em futuras versões.

D.3 Endpoints e Parâmetros

Rota	Método	Descrição	Principais parâmetros	Tipo
/	GET	Retorna mensagem de boas-vindas da API	-	
/ terras	GET	Lista todas as Terras Indígenas	search (nome TI ou etnia, opc.), offset (padrão: 0), limit (máx: 100, padrão: 50)	string, int
/ terras/{id}	GET	Detalhes de uma Terra Indígena	id (obrigatório, numérico)	int
/ focos	GET	Lista focos de calor por TI e período	startDate (YYYY-MM-DD, obrigatório), endDate (YYYY-MM-DD, obrigatório), terraId (obrigatório, numérico)	date(YYYY-MM-DD), int
/ alertas-mapbiomas	GET	Lista alertas do MapBiomas por TI e período	startDate (YYYY-MM-DD, obrigatório), endDate (YYYY-MM-DD, obrigatório), terraId (obrigatório, numérico)	date, int

D.4 Estrutura das Respostas

Exemplo1: /terras/623

Code	Details
200	Response body <pre>{ "gid": 623, "gid_old": 313, "terrai_cod": 36702, "terrai_nom": "Vvy-katu", "etnia_nome": "Guarani Nhandeva", "municipio": "Japorá", "uf_sigla": "MS", "superficie": "9494.1635999999986", "fase_ti": "Declarada", "modalidade": "Tradicionalmente ocupada", "reestudo_t": "Reestudo", "cr": "COORDENACAO REGIONAL DE PONTA PORÁ", "faixa_fron": "Sim", "undadm_cod": "30202002019", "undadm_nom": "COORDENACAO REGIONAL DE PONTA PORÁ", "undadm_sig": "CR-PP", "dominio_un": "f", "data_atual": "06/04/2022", "epsg": 4674, "ultimo_alerta_id_mapbiomas": 1246121, "ultimo_id_foco": "18672555", "ultima_data_deter": null, "ultima_data_deter_cerrado": null, "telegram_id_grupo": null, "telegram_nome_grupo": null, "telegram_url_grupo": null }</pre> Download

Exemplo2: /terras?search=Yanomami&offset=0&limit=10

Code	Details
200	Response body <pre>{ "gid": 621, "gid_old": 308, "terrai_cod": 50901, "terrai_nom": "Yanomami", "etnia_nome": "Yanomámi", "municipio": "Barcelos,Santa Isabel do Rio Negro,São Gabriel da Cachoeira,Alto Alegre,Mucajaí,Caracará,Iracema", "uf_sigla": "RR,AM", "superficie": "9664975.480000000047035", "fase_ti": "Regularizada", "modalidade": "Tradicionalmente ocupada", "reestudo_t": null, "cr": "COORDENACAO REGIONAL RORAIMA", "faixa_fron": "Sim", "undadm_cod": "30202001955", "undadm_nom": "COORDENACAO REGIONAL RORAIMA", "undadm_sig": "CR-RR", "dominio_un": "t", "data_atual": "14/11/2019", "epsg": 4674, "ultimo_alerta_id_mapbiomas": 1246121, "ultimo_id_foco": "18629332", "ultima_data_deter": null, "ultima_data_deter_cerrado": null, "telegram_id_grupo": "-1001965378930", "telegram_nome_grupo": "Indimap - Yanomami", "telegram_url_grupo": "https://t.me/+V5nM2SakVxh1NmVh" }</pre> Download

Campos seguem definições do Apêndice C (Dicionário de Dados).

D.5 Exemplos Reais de Uso

Consulta de focos de calor (cURL):

Curl
<pre>curl -X 'GET' \ 'http://localhost:3000/focos?startDate=2024-05-01&endDate=2024-07-31&terraId=621' \ -H 'accept: */*' </pre>

Resposta truncada:

```

Code    Details
200
Response body
[
  {
    "gid": "4738244",
    "datahora": "2024-05-04T00:30:04.000Z",
    "estado": "AMAZONAS",
    "municipio": "BARCELOS",
    "bioma": null,
    "frp": "15.23",
    "id_inpe": "1.04354--64.6727-2024-05-04-1804",
    "datahora_texto": "2024/05/04 00:30:04",
    "satelite": "MODIS - Aqua",
    "terra_id": 621,
    "geom": {
      "type": "Point",
      "crs": {
        "type": "name",
        "properties": {
          "name": "EPSG:4674"
        }
      },
      "coordinates": [
        -64.6727,
        1.04354
      ]
    }
  }
]
  
```

D.6 Testes e Validação

- Funcionais (Postman/Newman): coleção com cenários válidos e inválidos, cobrindo endpoints representativos do consumo público (ex.: GET /, GET /terras, GET /terras/{id}, GET /focos, GET /alertas-mapbiomas), com execução automatizada e relatórios.
- Contratuais (Schemathesis): validação a partir do OpenAPI disponível em /docs-json (<https://data.indimap.org/docs-json>), com geração limitada de exemplos (max-examples=30), em 3 rodadas, sem falhas.
- Desempenho (k6): testes com executor constant-arrival-rate, duração de 5 minutos, 3 rodadas, taxa de 50 iterações/min (≈ 150 req/min em batch). Resultados agregados: P95 ~ 652 ms, 0% falhas e 100% checks aprovados (pico máximo isolado de $\sim 3,62$ s sem impacto no P95).

D.7 Boas Práticas e Limitações

A API adota versionamento (v1), documentação OpenAPI, paginação e filtragem por parâmetros (incluindo filtros temporais quando aplicável). Limitações atuais:

- Respostas em JSON, com representação geoespacial compatível com GeoJSON quando aplicável.
- Sem autenticação por chave (API pública para leitura).
- Limite recomendado de ~ 60 requisições por minuto para manter estabilidade do serviço.

APÊNDICE E - Evidências de Validação Contratual da IndiMap Open Data API com Schemathesis

Este apêndice apresenta as evidências associadas aos testes contratuais realizados com a ferramenta Schemathesis, com o objetivo de verificar a conformidade do comportamento da API com o contrato definido na especificação OpenAPI. Os testes foram executados em múltiplas rodadas no ambiente de produção, com geração de relatórios automatizados no formato JUnit XML, permitindo rastreabilidade e reprodutibilidade da avaliação (SCHEMATHESIS, 2025).

E.1 Objetivo

Verificar, de forma automatizada, se endpoints representativos da API pública respondem de maneira consistente com as expectativas do contrato (especificação OpenAPI), contribuindo para a redução de falhas não tratadas e para o aumento da confiabilidade no consumo por clientes externos.

E.2 Procedimento e artefatos de evidência

Foram realizadas três execuções (rodadas) de teste, cada uma gerando um relatório automatizado em formato JUnit XML. Os relatórios foram nomeados e preservados como evidência do procedimento:

- schemathesis-prod-1.xml
- schemathesis-prod-2.xml
- schemathesis-prod-3.xml

Cada rodada avaliou cinco operações HTTP do tipo GET, consideradas representativas do consumo público e coerentes com as rotas expostas pela API, a saber:

GET /, GET /terras, GET /terras/{id}, GET /focos e GET /alertas-mapbiomas.

E.3 Resultados consolidados por rodada

A Tabela E.1 resume os resultados observados em cada uma das três rodadas. Em todas as execuções, foram executados 5 casos de teste, com 0 falhas, 0 erros e 0 casos ignorados, indicando comportamento consistente dos endpoints avaliados segundo o contrato exercitado.

Tabela E.1 - Sumário dos testes contratuais por rodada (JUnit XML)

RELATÓRIO	CASOS EXECUTADOS	FALHAS	ERROS	IGNORADOS	TEMPO TOTAL	TEMPO MÉDIO POR CASO	MAIOR TEMPO DE CASO
SCHEMATHESIS- PROD-1.XML	5	0	0	0	21,438	4,288	6,437
SCHEMATHESIS- PROD-2.XML	5	0	0	0	21,905	4,381	7,188

SCHEMATHESIS- PROD-3.XML	5	0	0	0	20,313	4,063	5,110
-----------------------------	---	---	---	---	--------	-------	-------

E.4 Resultados consolidados por endpoint

A Tabela E.2 apresenta o comportamento temporal (em segundos) por endpoint, considerando as três rodadas. O endpoint GET / apresentou os menores tempos de resposta entre os casos testados. Entre os endpoints com maior custo, GET /terras foi o que apresentou maior variação e maior tempo máximo observado no conjunto analisado.

Tabela E.2 - Tempo por endpoint (3 rodadas)

ENDPOINT	EXECUÇÕES	TEMPO MÉDIO (S)	TEMPO MÍNIMO (S)	TEMPO MÁXIMO (S)
GET /	3	0,620	0,562	0,719
GET /ALERTAS- MAPBIOMAS	3	4,870	4,828	4,922
GET /FOCOS	3	4,927	4,843	5,000
GET /TERRAS	3	6,245	5,110	7,188
GET /TERRAS/{ID}	3	4,557	4,484	4,625

E.5 Interpretação dos resultados

Os resultados obtidos indicam que, nas três rodadas executadas, os endpoints selecionados responderam sem ocorrência de falhas ou erros registrados nos relatórios JUnit XML. Esse resultado fornece evidência de que, para o conjunto de operações exercitadas e nas condições do teste, a API apresentou comportamento consistente e adequado ao contrato utilizado como base para a validação. A preservação dos relatórios schemathesis-prod-1.xml, schemathesis-prod-2.xml e schemathesis-prod-3.xml assegura rastreabilidade do procedimento, permitindo auditoria e repetição do processo em avaliações futuras.

APÊNDICE F - Evidências dos testes de desempenho (k6)

Este apêndice apresenta as evidências associadas aos testes de desempenho realizados com a ferramenta k6, com o objetivo de observar o comportamento da API em cenário controlado de carga, registrando métricas de latência e taxa de falhas. Os resultados foram consolidados a partir de três rodadas de execução no ambiente de produção, com geração de sumários automatizados em formato JSON, permitindo rastreabilidade e reprodutibilidade do procedimento (GRAFANA LABS, 2025).

F.1 Objetivo

Avaliar o desempenho da API por meio de métricas quantitativas, com ênfase em latência de respostas HTTP (média e percentis) e taxa de falhas das requisições, considerando operações representativas do consumo público.

F.2 Procedimento e artefatos de evidência

Foram realizadas três execuções (rodadas) de teste, cada uma gerando um arquivo de sumário em JSON:

- k6-summary-1.json
- k6-summary-2.json
- k6-summary-3.json

Em todas as rodadas, o teste foi executado com até 5 usuários virtuais (VUs) e, em cada iteração, foram exercitadas três operações HTTP com validação de status 200 OK (checks) para as rotas avaliadas: /terras, /focos e /alertas-mapbiomas.

F.3 Resultados consolidados por rodada

A Tabela F.1 resume os resultados observados em cada rodada, incluindo volume de requisições, checks, taxa de falha e medidas de latência. Os valores de latência reportados pelo k6 estão em milissegundos (ms).

Tabela F.1 - Sumário do teste de desempenho por rodada (k6 summary JSON)

RELATÓRIO	VUS MÁX	ITERAÇÕES	REQUISIÇÕES HTTP	FALHAS	CHECKS (PASS/FAIL)	LATÊNCIA MÉDIA (MS)	P95 (MS)	MÁX (MS)	DADOS RECEBIDOS (MB)	DADOS ENVIADOS (MB)
K6-SUMMARY-1.JSON	5	251	753	0,00%	753 / 0	394,26	651,44	3618,92	47,26	0,15
K6-SUMMARY-2.JSON	5	250	750	0,00%	750 / 0	387,19	652,77	682,55	47,07	0,15

K6-SUMMARY-3.JSON	5	251	753	0,00%	753 / 0	389,41	652,24	680,51	47,26	0,15
-------------------	---	-----	-----	-------	---------	--------	--------	--------	-------	------

F.4 Consolidação geral (3 rodadas)

No total das três rodadas, foram realizadas 752 iterações e 2.256 requisições HTTP, mantendo-se taxa de falha igual a 0,00% (`http_req_failed` = 0). A latência média observada foi de aproximadamente 390 ms, com p95 em ~652 ms, indicando estabilidade do percentil 95 entre as rodadas.

Tabela F.2 - Consolidação geral (soma/estatísticas das 3 rodadas)

INDICADOR	VALOR CONSOLIDADO
RODADAS	3
VUS MÁXIMOS (CONSTANTE)	5
ITERAÇÕES (TOTAL)	752
REQUISIÇÕES HTTP (TOTAL)	2.256
TAXA DE FALHA MÁXIMA (<code>HTTP_REQ_FAILED</code>)	0,00%
LATÊNCIA MÉDIA (MÉDIA DAS RODADAS)	~390 ms
P95 (MÉDIA DAS RODADAS)	~652 ms
P95 MÁXIMO OBSERVADO	~653 ms
DADOS RECEBIDOS (TOTAL)	~141,59 MB
DADOS ENVIADOS (TOTAL)	~0,44 MB

F.5 Resultados dos checks (validações funcionais durante o teste)

Durante o teste de desempenho, foram avaliados checks de status 200 OK para as três rotas exercitadas. Em todas as rodadas, os checks foram aprovados, sem falhas registradas.

Tabela F.3 - Checks por rota (total nas 3 rodadas)

CHECK	PASSES (TOTAL)	FAILS (TOTAL)
TERRAS STATUS 200	752	0
FOCOS STATUS 200	752	0
ALERTAS STATUS 200	752	0

F.6 Interpretação dos resultados

Os resultados evidenciam que, no cenário exercitado (até 5 usuários virtuais) e para as rotas selecionadas, a API apresentou taxa de falhas nula e latência p95 estável entre as rodadas. Os arquivos `k6-summary-1.json`, `k6-summary-2.json` e `k6-summary-3.json` foram preservados como evidências do procedimento e permitem auditoria e repetição dos testes em avaliações futuras.

APÊNDICE G - Evidência complementar de visitas à plataforma web

Figura G1 - Visitas à plataforma em 2023

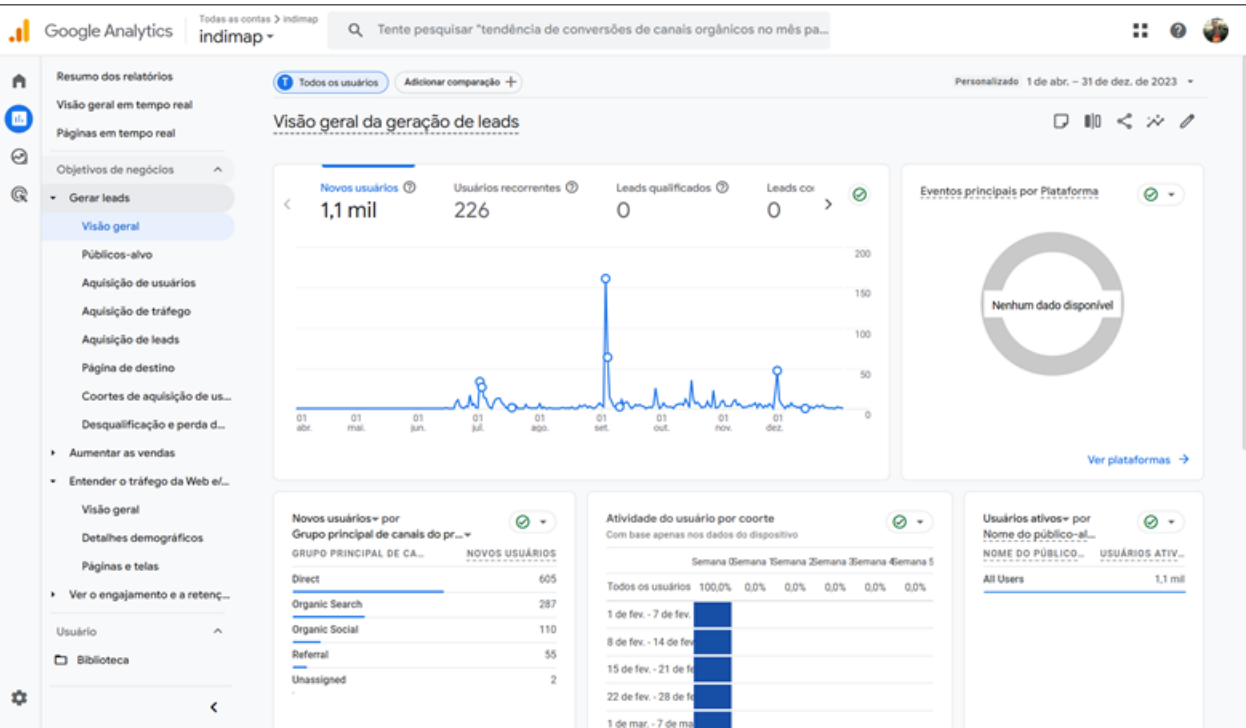


Figura G2 - Visitas à plataforma em 2024

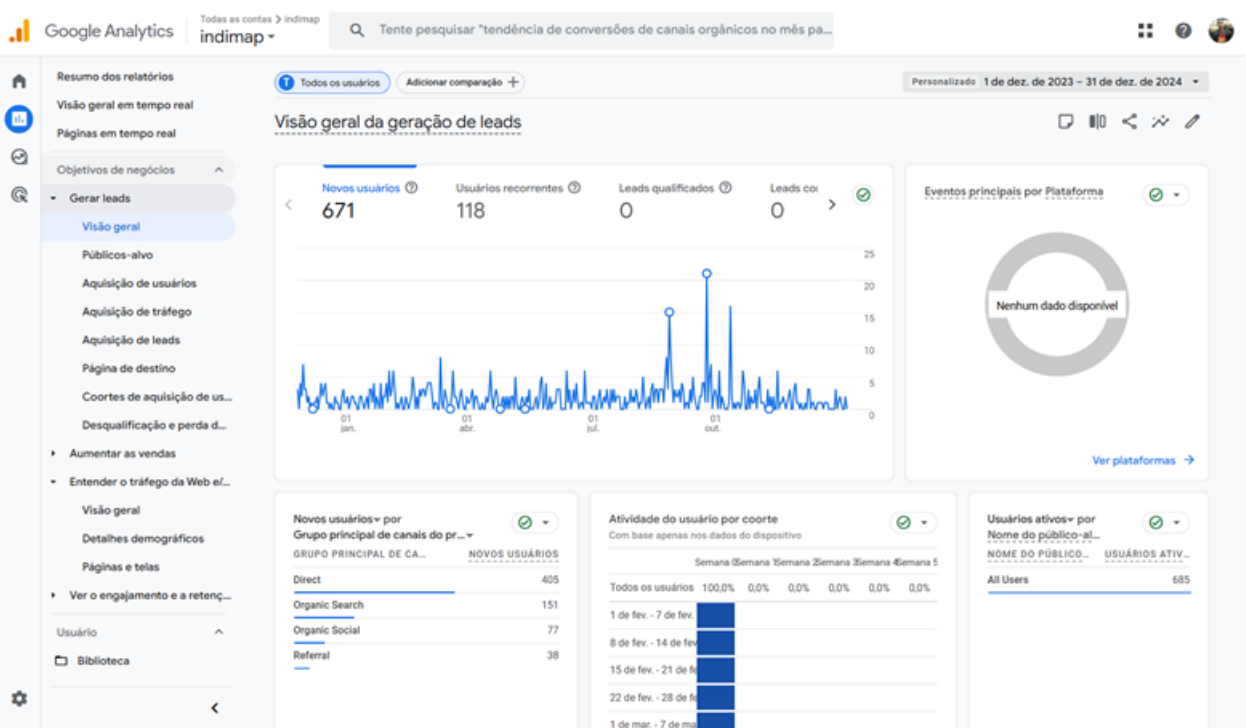


Figura G3 - Visitas à plataforma em 2025

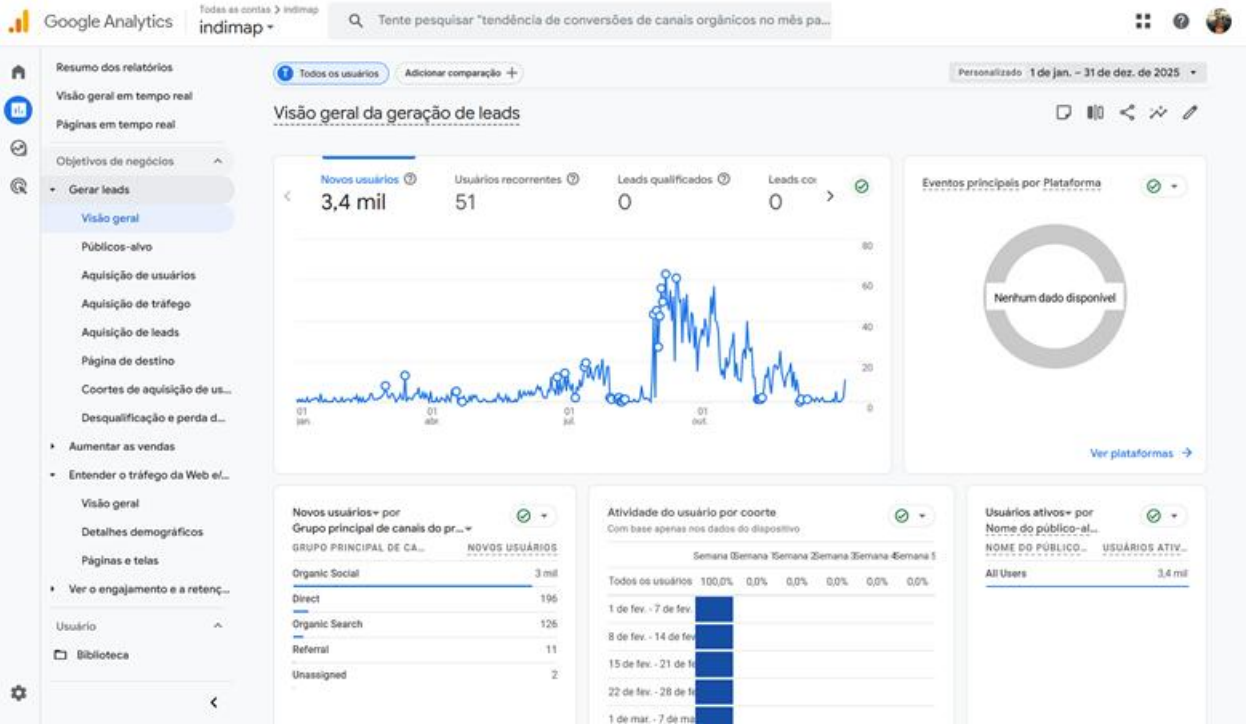


Figura G4 - Visitas à plataforma em 2026

