

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS - CAMPUS BAURU

DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO

BACHARELADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

FAIXADATA

**SISTEMA DE INFORMAÇÃO DAS FAIXAS AZUIS DA CIDADE DE
SÃO PAULO**

ARTHUR NUNES RIBEIRO

BAURU

2025

ARTHUR NUNES RIBEIRO

FAIXADATA
SISTEMA DE INFORMAÇÃO DAS FAIXAS AZUIS DA CIDADE DE
SÃO PAULO

Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Bacharelado em Sistemas de Informação da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências, Câmpus Bauru.

Orientador: Prof. Dr. Higor Amario de Souza

BAURU

2025

Ribeiro, Arthur Nunes

FaixaData : sistema de informação das faixas azuis da cidade de São Paulo
/ Arthur Nunes Ribeiro. – Bauru, 2025.

40 f. : tabs., fotos, mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado – Sistemas de Informação) –
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências, Bauru

Orientador: Higor Amario de Souza

1. Geoprocessamento. 2. Motocicletas. 3. Segurança Viária. 4. Mobilidade
Urbana. 5. Dados Abertos. I. Título.

Arthur Nunes Ribeiro

FaixaData
Sistema de Informação das Faixas Azuis da Cidade
de São Paulo

Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Bacharelado em Sistemas de Informação da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências, Câmpus Bauru.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Higor Amario de Souza

Orientador

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP)

Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais (PCS)

Prof. Dr. José Remo Ferreira Brega

Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Faculdade de Ciências (FC)

Departamento de Computação

Profa. Dra. Simone das Graças Domingues Prado

Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Faculdade de Ciências (FC)

Departamento de Computação

Bauru, _____ de _____ de _____.

Resumo

O crescimento do uso de motocicletas em São Paulo intensificou os desafios relacionados à mobilidade e à segurança viária, resultando em maiores índices de acidentes envolvendo esse modal. Como resposta, a Prefeitura da cidade de São Paulo implantou as faixas azuis, vias exclusivas para motociclistas, com o objetivo de reduzir conflitos no trânsito e aumentar a segurança. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema web interativo para análise da efetividade dessas faixas, utilizando dados abertos provenientes da CET, GeoSampa e Infosiga. Foram aplicadas técnicas de geoprocessamento, tratamento de dados e visualização georreferenciada para relacionar sinistros a trechos específicos das faixas, considerando períodos anteriores e posteriores à implementação. O sistema desenvolvido facilita a interpretação espacial dos dados e pode apoiar a tomada de decisões em políticas públicas de mobilidade urbana.

Palavras-chave: faixas azuis; motocicletas; geoprocessamento; segurança viária; mobilidade urbana; dados abertos

Abstract

The increase in motorcycle use in São Paulo has intensified challenges related to mobility and road safety, resulting in higher rates of accidents involving this mode of transportation. In response, the city government of São Paulo implemented faixas azuis (blue lanes), exclusive lanes for motorcyclists, with the objective of reducing traffic conflicts and improving safety. This work presents the development of an interactive web system for analyzing the effectiveness of these lanes, using open data from CET, GeoSampa, and Infosiga. Geoprocessing techniques, data treatment, and georeferenced visualization were applied to associate traffic incidents with specific segments of the lanes, considering periods before and after their implementation. The developed system facilitates the spatial interpretation of the data and can support decision-making in urban mobility public policies.

Keywords: blue lanes; motorcycle; geoprocessing; road safety; urban mobility; open data

Lista de figuras

Figura 1 – Aplicação BikeScienceWeb	12
Figura 2 – Mapa gerado pela CET	13
Figura 3 – Trecho do mapa da CET utilizado como referência inicial.	15
Figura 4 – Arquitetura do Sistema.	21
Figura 5 – Ilustração da Visualização Geográfica na Aplicação.	24
Figura 6 – Ilustração dos Filtros das Faixas na Aplicação.	25
Figura 7 – Ilustração dos Filtros dos Sinistros na Aplicação.	26
Figura 8 – Distribuição por Gravidade dos Acidentes	27
Figura 9 – Fluxo de funcionamento do sistema de cache para dados de sinistros. . . .	31
Figura 10 – Top 5 faixas com maior redução de sinistros (mínimo de 3 acidentes antes da implementação).	33
Figura 11 – Top 5 faixas com maior aumento de sinistros (mínimo de 2 acidentes antes da implementação).	34
Figura 12 – Distribuição por Tipo de Vítima (raio 30m).	35
Figura 13 – Localização dos Sinistros (raio 30m).	36

Lista de tabelas

Tabela 1 – Bibliotecas principais utilizadas na aplicação.	18
Tabela 2 – Métodos de atribuição do processo híbrido.	20

Sumário

1	INTRODUÇÃO	10
2	INSPIRAÇÕES	12
2.1	BikeScienceWeb	12
2.2	Mapa Interativo da CET	13
2.3	Análise das Soluções	13
3	METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO	15
3.1	Captação dos Dados	15
3.1.1	Estrutura dos Dados	16
3.1.1.1	GeoDataFrame de Faixas	16
3.1.1.2	GeoDataFrame de Sinistros	17
3.2	Tecnologias Utilizadas	18
3.3	Método de Atribuição de Sinistro por Faixa	18
3.3.1	Estratégias por Tipo de Faixa	19
3.3.2	Resumo dos Métodos de Atribuição	20
3.4	Arquitetura do Sistema	21
3.5	Módulos do Sistema	21
3.5.1	Módulo Principal (app/core/)	22
3.5.2	Módulo de Faixas (app/faixas/)	22
3.5.3	Módulo de Sinistros (app/sinistros/)	22
3.5.4	Módulo de Mapas (app/mapa/)	23
3.5.5	Módulo Estatístico (app/estatisticas/)	23
3.6	Funcionalidades Principais	23
3.6.1	Visualização Geográfica	23
3.6.2	Filtros Interativos	24
3.6.3	Análises Estatísticas	26
3.6.4	Exportação de Dados	27
3.7	Tratamento de Exceções	27
3.7.1	Tratamento de Dados Faltantes	27
3.7.2	Tratamento de Cache Corrompido	28
3.7.3	Tratamento de Parsing de Datas	28
3.7.4	Tratamento de Arquivos Ausentes	28
3.7.5	Tratamento de Erros em Visualizações	29
3.7.6	Tratamento de Erros em Mapas	29
3.8	Sistema de Cache	29

3.8.1	Motivações para a Implementação	29
3.8.2	Arquitetura do Sistema de Cache	30
3.8.3	Fluxo Operacional do Sistema de Cache	30
3.8.4	Resultados Obtidos	31
4	EXEMPLOS DE ANÁLISES	32
4.1	Top 5 faixas com maior redução de acidentes	32
4.2	Top 5 faixas com maior aumento de acidentes	33
5	LIMITAÇÕES DOS DADOS	35
6	CONCLUSÃO	37
	REFERÊNCIAS	39

1 Introdução

O crescimento acelerado da frota de motocicletas na Região Metropolitana de São Paulo impõe desafios significativos à mobilidade urbana e à segurança viária. Segundo a Pesquisa Origem-Destino 2023 (O Globo, 2025), realizada pelo Metrô-SP, o número de motocicletas aumentou 50% entre 2017 e 2023, passando de 624 mil para 936 mil unidades, enquanto o volume de viagens sobre duas rodas cresceu 16%. Esse avanço pressiona o sistema viário e contribui para a elevação dos índices de sinistros fatais e não fatais.

A vulnerabilidade dos motociclistas tornou-se um dos pontos mais críticos do cenário atual. O número de mortes em acidentes de trânsito em São Paulo atingiu em 2023 o maior índice desde de 2015, conforme dados do sistema Infosiga (Sistema de Informações Gerenciais de Sinistros de Trânsito do Governo do Estado de São Paulo). Foram registradas 987 mortes, em comparação a 917 em 2022. Entre as vítimas, os motociclistas foram os mais afetados, totalizando 409 fatalidades (G1, 2024). Esses dados reforçam a urgência de políticas de Gestão da Mobilidade capazes de reorganizar o espaço urbano e reduzir a exposição ao risco desses usuários.

Nesse contexto, a adoção das chamadas Faixas Azuis, iniciada na Avenida 23 de Maio no ano de 2022, representa uma estratégia voltada à diminuição de conflitos entre motos e automóveis, buscando maior segurança operacional e fluidez viária (Companhia de Engenharia e Tráfego - CET, 2021). A concepção dessa política foi influenciada por experiências internacionais bem-sucedidas, especialmente na Malásia, país que enfrentou desafios semelhantes relacionados ao alto uso de motocicletas em vias arteriais.

Na Malásia, onde o volume de motociclistas é um dos maiores do mundo, foram implementados 463 km de corredores dedicados, sendo 263 km de faixas segregadas e 200 km de faixas não exclusivas. Estudos locais indicam que tais intervenções reduziram em até 40% os acidentes envolvendo motos, ao ordenar o fluxo e minimizar colisões laterais (MOTOBOY, 2024). A Prefeitura de São Paulo buscou, portanto, adaptar essa prática internacional ao contexto local, marcado por vias de alta velocidade, tráfego intenso e grande participação de motociclistas na matriz de mobilidade.

Desde 2022, a Prefeitura vem ampliando a implementação das Faixas Azuis nas principais avenidas da cidade. Contudo, ainda não existe um sistema capaz de gerar de forma integrada a distribuição dessas faixas e os sinistros envolvendo motocicletas que ocorrem em suas proximidades. Atualmente, a Companhia de Engenharia de Tráfego (CET) disponibiliza apenas uma lista com datas e localizações aproximadas, sem visualização geoespacial interativa ou dados estruturados para análise (CET, 2025a).

Diante dessa lacuna, este Trabalho de Conclusão de Curso apresenta uma aplicação

web que permite visualizar dinamicamente as Faixas Azuis e os sinistros relacionados, além de extrair insights relevantes para monitoramento e avaliação de políticas públicas de segurança viária. Inspirado no mapa interativo de ciclofaixas da CET (CET, 2025b) e na plataforma BikeScienceWeb (SOUZA et al., 2021), o projeto oferece uma ferramenta intuitiva, acessível e baseada em dados abertos.

Além de apoiar planejadores urbanos, pesquisadores e cidadãos, a disponibilização dos dados de forma estruturada pode facilitar a replicação da solução em outros municípios, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias mais eficazes na redução de acidentes. Nos capítulos seguintes, são apresentadas as inspirações da aplicação, sua arquitetura, metodologia de desenvolvimento, análises realizadas, limitações encontradas e possíveis aprimoramentos futuros.

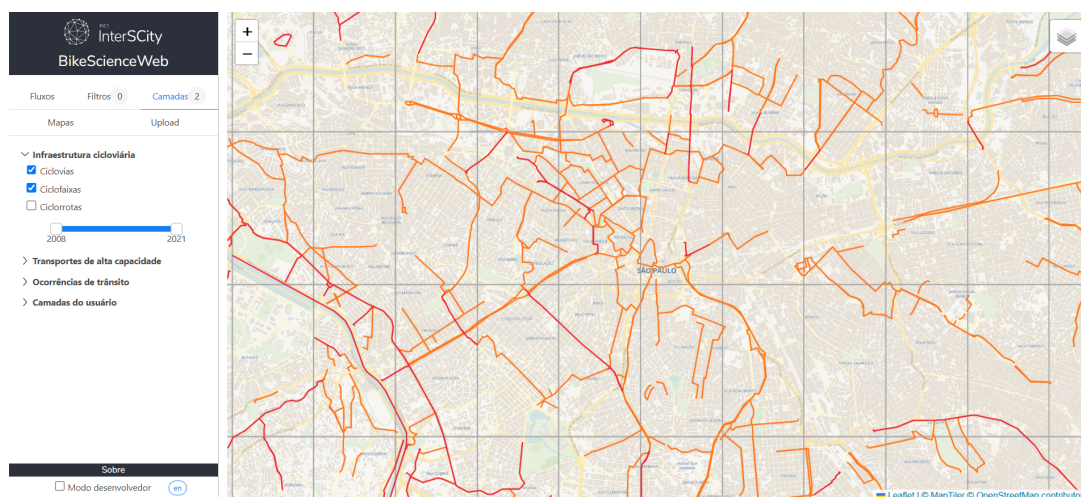
2 Inspirações

Para o desenvolvimento deste projeto, foram pesquisadas soluções existentes que tratam de problemas semelhantes, tanto no âmbito acadêmico quanto em iniciativas públicas. Duas aplicações se destacam como referências: o BikeScienceWeb (Figura 1) e o mapa interativo da CET (Figura 2) .

2.1 BikeScienceWeb

O BikeScienceWeb é um projeto acadêmico desenvolvido em 2021 pelo projeto BikeScience, integrante do grupo de pesquisa do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) da Internet do Futuro — InterScity. A aplicação consiste em uma plataforma web interativa que disponibiliza informações sobre a infraestrutura cicloviária da cidade de São Paulo, permitindo a visualização das ciclofaixas de maneira intuitiva, conforme ilustrado na Figura 1. Entre seus pontos fortes, destacam-se a interface simples e interativa, que facilita a exploração dos dados; a disponibilidade online, permitindo amplo acesso ao público; e o fato de possuir código aberto, o que possibilita consultas técnicas e potencial reutilização no desenvolvimento do sistema proposto neste trabalho. Entretanto, apesar de seu valor como referência metodológica e tecnológica, o BikeScienceWeb apresenta uma limitação relevante para o escopo desta pesquisa: seus dados são restritos à infraestrutura cicloviária, não contemplando informações sobre motocicletas ou faixas exclusivas para esse modal. Ainda assim, seu modelo de visualização e organização das informações serviu como importante inspiração para a construção da aplicação desenvolvida neste projeto.

Figura 1 – Aplicação BikeScienceWeb

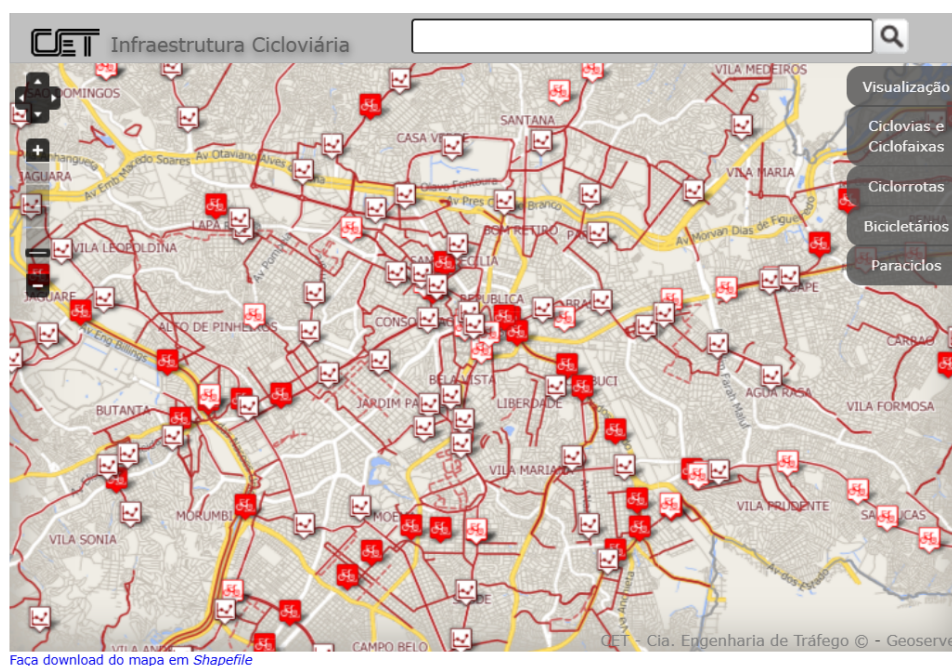


Fonte: bikescienceweb.interscity.org Acesso em: abril de 2025

2.2 Mapa Interativo da CET

A Companhia de Engenharia de Tráfego (CET) disponibiliza em seu site um mapa interativo (CET, 2025b) que apresenta a infraestrutura cicloviária da cidade de São Paulo, permitindo a navegação por diferentes regiões e a exploração de diversas camadas informacionais. Além de oferecer uma visualização detalhada, o sistema disponibiliza os dados em formato shapefile, o que possibilita sua utilização em softwares de geoprocessamento e em estudos técnicos mais aprofundados. A Figura 2 exemplifica essa interface digital, que se destaca pela ampla oferta de dados abertos e pela facilidade de acesso para pesquisadores, gestores públicos e cidadãos interessados. Entretanto, apesar de sua relevância para análises sobre mobilidade ativa, o mapa possui uma limitação significativa: seu foco é exclusivamente voltado à infraestrutura cicloviária, não contemplando informações relativas às Faixas Azuis destinadas a motociclistas, o que restringe sua aplicabilidade para estudos sobre segurança viária envolvendo esse público.

Figura 2 – Mapa gerado pela CET



Fonte: cetsp.com.br/consultas/bicicleta/mapa-de-infraestrutura-ciclovitaria.aspx

2.3 Análise das Soluções

As soluções analisadas apresentam elementos relevantes que contribuiriam diretamente para a concepção e o desenvolvimento da aplicação proposta. O BikeScienceWeb oferece uma interface interativa, leve e de fácil compreensão, demonstrando como a visualização geoespacial pode facilitar a exploração de dados urbanos de forma intuitiva. Já o mapa interativo da CET destaca-se pela disponibilização de dados abertos estruturados e pela possibilidade de acesso a diferentes camadas informacionais, permitindo análises mais completas sobre a infraestrutura

viária.

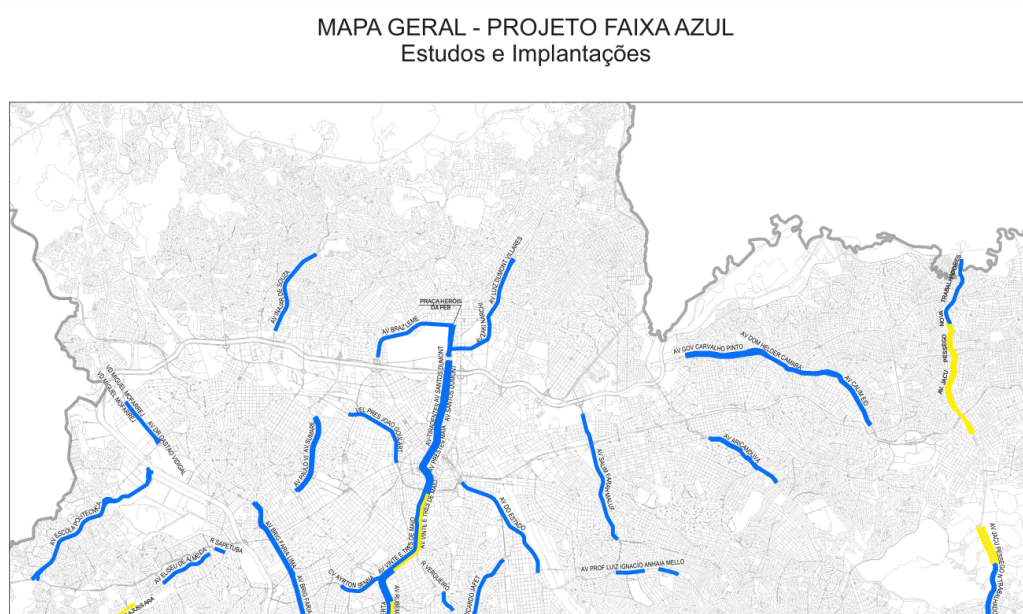
Essas duas iniciativas, ao combinarem visualização clara, interação eficiente e acesso a dados confiáveis, serviram como referências fundamentais para o projeto, orientando escolhas de design, arquitetura e usabilidade da aplicação

3 Metodologia e Desenvolvimento

3.1 Captação dos Dados

Para o início do projeto, tornou-se necessário estruturar uma base de dados em formato .csv contendo informações sobre a localização das faixas azuis, suas datas de implementação e sua extensão. Como fonte primária, utilizou-se um mapa em PDF elaborado pela CET e disponibilizado por um funcionário da instituição especificamente para apoiar este estudo. Esse documento apresenta a representação dos trechos onde as faixas azuis foram implantadas, servindo como referência inicial para a construção da base geográfica utilizada nesta pesquisa (Figura 3). Além disso, visando maior precisão na identificação das localizações, datas e extensões, recorreu-se também ao site oficial da CET¹, que disponibiliza informações complementares e detalhadas sobre cada trecho.

Figura 3 – Trecho do mapa da CET utilizado como referência inicial.



Fonte: Disponibilizado por funcionário da CET

A construção dessa base de dados envolveu a identificação das coordenadas geográficas (latitude e longitude) referentes ao início e ao término de cada faixa azul. Ainda que exista uma margem de erro em relação a esses pontos, buscou-se a maior aproximação possível da configuração real. Já as informações sobre datas de implementação e extensão foram mantidas conforme descritas oficialmente pela CET.

¹ <<https://www.cetsp.com.br/consultas/faixa-azul/informacoes-gerais.aspx>> Acesso em: fev de 2025

Concluída a base referente às faixas azuis, passou-se à obtenção dos dados sobre sinistros de trânsito na cidade de São Paulo. Para isso, foram utilizados os dados disponibilizados publicamente pelo Infosiga, os quais, entretanto, necessitaram de etapas de tratamento para adequação ao escopo do projeto, conforme descrito a seguir:

- **Filtragem inicial:** seleção exclusiva de registros referentes ao município de São Paulo, uma vez que o Infosiga abrange todo o Estado;
- **Seleção de variáveis:** o Infosiga disponibiliza três bases principais (*Sinistros*, *Pessoas* e *Veículos*). Após uma análise preliminar, optou-se por desconsiderar a base *Veículos*, pois ela contém majoritariamente características visuais, como cor, ano e tipo do veículo envolvido, que não agregam valor às análises propostas neste projeto. Assim, o foco permaneceu nas bases *Sinistros* e *Pessoas*, que de fato fornecem informações relevantes para a investigação dos acidentes relacionados às faixas azuis.
- **Unificação das bases:** os dados estavam segmentados em dois períodos distintos (2015–2021 e 2022–2025). A integração foi realizada a partir do *ID do sinistro*, relacionando ocorrências e indivíduos envolvidos;
- **Filtragem por motocicletas:** mantiveram-se apenas os registros envolvendo ao menos uma motocicleta, excluindo-se categorias genéricas (*tp_veiculo_outros*, *tp_veiculo_nao_disponivel*);
- **Tipo de via:** restringiram-se os registros às vias municipais, que correspondem ao contexto de implantação das faixas azuis;
- **Recorte temporal:** devido ao número reduzido de sinistros registrados entre 2015 e 2018, com apenas 295 ocorrências em 2015, 259 em 2016, 241 em 2017 e 249 em 2018, optou-se por iniciar as análises a partir de 2019. A partir desse ano, observa-se um aumento significativo no volume de registros, totalizando 13.055 ocorrências, o que garante maior robustez estatística e confiabilidade na interpretação dos resultados.

3.1.1 Estrutura dos Dados

Após as etapas de coleta, tratamento, o conjunto de dados utilizado na aplicação foi organizado em dois componentes principais: (i) o conjunto de faixas azuis, convertido para o formato *GeoDataFrame*, e (ii) o conjunto de sinistros, mantido originalmente em formato *CSV* e posteriormente convertido para *GeoDataFrame* durante o processo de análise espacial.

3.1.1.1 *GeoDataFrame* de Faixas

Cada linha do *GeoDataFrame* representa um segmento de faixa azul, já implementado ou previsto para implementação. Os dados referentes às faixas azuis encontram-se disponíveis

no repositório do projeto (RIBEIRO, 2025), no seguinte diretório: <...\geodata\dados_rotas_sentido_1.geojson>

- Principal: Nome completo da faixa;
- Principal Base: Nome padronizado da via, sem indicação de versão;
- Zona de SP: Região geográfica da cidade (Centro, Norte, Sul, Leste, Oeste);
- Extensao_km: Extensão total do trecho (em quilômetros);
- Data_Implementacao: Data oficial de implementação;
- geometry: Geometria do tipo *LineString* representando o traçado.

3.1.1.2 GeoDataFrame de Sinistros

Cada linha do conjunto de dados representa um sinistro georreferenciado, contendo informações espaciais e descritivas associadas ao evento. Os registros utilizados nesta etapa foram gerados previamente e estão disponíveis no código-fonte do projeto (RIBEIRO, 2025), no seguinte diretório:<...\analiseDeDados\Scripts\GeracaoCSV\acidentes_atribuidos_faixas_azuis_inclusivo_hibrido_30m.csv>

- id_sinistro: Identificador único do registro;
- nome_faixa_azul: Faixa azul associada ao sinistro;
- data_acidente: Data da ocorrência do acidente;
- data_implementacao_faixa: Data da implementação da faixa correspondente;
- periodo_relativo: Classificação temporal (ANTES ou DEPOIS);
- gravidade: Severidade do acidente (Fatal, Grave, Leve, etc.);
- tipo_vitima: Perfil da vítima (Condutor, Pedestre, Passageiro, etc.);
- vitimas_fatais, vitimas_graves, vitimas_leves: Contagem de vítimas por gravidade;
- latitude, longitude: Coordenadas geográficas da ocorrência;
- geometry: Geometria do tipo *Point*.

3.2 Tecnologias Utilizadas

O projeto foi desenvolvido em Python e disponibilizado de forma pública no GitLab (RIBEIRO, 2025), adotando bibliotecas específicas para manipulação de dados tabulares, processamento geoespacial, construção de visualizações interativas e renderização de mapas dinâmicos na web. A Tabela 1 apresenta as principais bibliotecas utilizadas no desenvolvimento.

Tabela 1 – Bibliotecas principais utilizadas na aplicação.

Biblioteca	Finalidade	Referência
Streamlit (1.45.1)	Framework web para interfaces interativas	(STREAMLIT, 2024)
Streamlit Folium (0.25.0)	Integração entre Folium e Streamlit	(STREAMLIT-FOLIUM, 2024)
GeoPandas (1.1.0)	Manipulação de dados geoespaciais	(GEOPANDAS, 2024)
Pandas (2.2.3)	Processamento e análise de dados tabulares	(MCKINNEY, 2024)
Folium (0.19.5)	Geração de mapas interativos	(FOLIUM, 2024)
Plotly (5.17.0)	Construção de gráficos interativos	(PLOTLY..., 2024)
NumPy (2.2.5)	Operações matemáticas e computação numérica	(NUMPY, 2024)
Shapely (2.1.0)	Construção e análise de geometrias	(SHAPELY, 2024)
PyProj (3.7.1)	Conversões e projeções cartográficas	(PYPROJ, 2024)
psutil (7.0.0)	Monitoramento e diagnóstico de uso de recursos	(PSUTIL, 2024)

Fonte: Elaborado pelo Autor

3.3 Método de Atribuição de Sinistro por Faixa

Cada faixa azul é representada por sua geometria obtida a partir dos arquivos *shapefile*. A partir dessa geometria, é gerado um *buffer* de 10 metros, utilizado como área de influência espacial para identificar sinistros potencialmente relacionados à ela. Um acidente é considerado associado a determinada faixa quando suas coordenadas estão dentro desse limite, complementado por critérios adicionais de atribuição espacial que garantem maior precisão no vínculo entre sinistro e faixa.

```
# Parâmetros de atribuição
self.raio_analise_logradouro = 10 # metros para acidentes por logradouro
self.raio_analise_buffer = 10     # metros para acidentes por buffer
self.raio_analise_corredor = 10   # metros para Corredor Norte-Sul
self.raio_analise_jacu = 10       # metros para Avenida Jacu Pêssego
```

O fluxo geral de atribuição segue cinco etapas:

1. Identificação do tipo de faixa;
2. Filtragem por logradouro;
3. Validação espacial, quando aplicável;

4. Filtragem por buffer;
5. Combinação dos métodos, eliminando duplicatas e priorizando logradouro.

Além da atribuição espacial, foi necessário considerar também a dimensão temporal dos registros para que a comparação entre períodos *antes* e *depois* da implementação fosse estatisticamente consistente. Algumas faixas, especialmente as implantadas em 2024, ainda possuem quantidade limitada de dados posteriores, impossibilitando comparações diretas com faixas mais antigas. Para evitar distorções, como a interpretação equivocada de variações percentuais exageradas devido a bases muito pequenas, definiu-se um limite máximo de um ano de dados anteriores e um ano posteriores à implantação. Dessa forma, cada faixa utiliza um intervalo proporcional e compatível ao volume de informações disponível, permitindo uma comparação mais justa entre trechos recentes e aqueles implementados há mais tempo.

Essa abordagem temporal dinâmica assegura tanto a robustez da análise quanto a equidade entre faixas com diferentes datas de implementação, reduzindo vieses e evitando conclusões imprecisas sobre a efetividade da infraestrutura.

3.3.1 Estratégias por Tipo de Faixa

1. Minhocão

- Atribuição baseada exclusivamente no nome do logradouro (LOGRADOURO_MINHOCAO);
- Não há validação espacial adicional;
- Coordenadas inconsistentes são removidas durante o processamento.

2. Corredor Norte-Sul

- Utiliza estratégia híbrida:
 - correspondência por logradouro (LOGRADOURO_CORREDOR);
 - validação espacial por *buffer* de 10 m (BUFFER_CORREDOR).
- Em casos de duplicidade, prevalece o pareamento por logradouro;
- Pontos inconsistentes são removidos.

3. Avenida Jacu Pêssego

- Estratégia híbrida similar ao Corredor Norte-Sul:
 - correspondência por logradouro (LOGRADOURO_JACU_PESSEGO);
 - validação espacial por *buffer* de 10 m (BUFFER_JACU_PESSEGO).
- Em casos de duplicidade, prevalece o logradouro;
- Pontos com divergência espacial são descartados.

4. Demais Faixas

- Validação utilizando duas abordagens complementares:
 - correspondência por logradouro com *buffer* de 50 m (LOGRADOURO_HIBRIDO);
 - validação direta por *buffer* de 10 m (BUFFER_HIBRIDO).
- Em casos em que ambas as estratégias atribuem o mesmo ponto, prevalece a associação por logradouro.

3.3.2 Resumo dos Métodos de Atribuição

A Tabela 2 apresenta uma síntese dos métodos de atribuição empregados no processo de vinculação dos sinistros às faixas azuis. Durante a utilização da aplicação, o usuário pode ajustar dinamicamente o raio utilizado no método LOGRADOURO_HIBRIDO, alternando entre 10 m, 30 m e 50 m.

A escolha desses valores não é arbitrária: o raio inicial adotado foi de 10 m, pois representa uma margem espacial estrita, diretamente associada à geometria da via e adequada para capturar apenas sinistros muito próximos ao eixo da faixa azul. No entanto, ao analisar os resultados, observou-se que parte dos registros apresentava geolocalização imprecisa, com alguns pontos posicionados sobre edificações ou afastados artificialmente da via devido a erros de coleta ou limitações dos dispositivos de GPS.

Para contornar esse problema e permitir uma análise mais robusta, foram incluídos também os raios de 30 m e 50 m. Esses valores ampliados possibilitam abranger sinistros com pequenas imprecisões de localização, garantindo maior cobertura sem comprometer a relação espacial com a faixa azul. Além disso, a diferença de 20 m entre cada raio foi definida para proporcionar variações suficientemente distintas entre os cenários, permitindo comparar a sensibilidade dos resultados à medida que se aumenta a área de influência considerada.

Essa parametrização torna a análise mais flexível e permite ao usuário avaliar o impacto das faixas azuis sob diferentes níveis de tolerância espacial, auxiliando na investigação da efetividade dessas implementações.

Tabela 2 – Métodos de atribuição do processo híbrido.

Método	Descrição	Raio	Validação Espacial
LOGRADOURO_MINHOCÃO	Minhocão – logradouro	–	Não
LOGRADOURO_CORREDOR	Corredor Norte-Sul – logradouro	10m	Sim
BUFFER_CORREDOR	Corredor Norte-Sul – buffer	10m	Sim
LOGRADOURO_JACU_PESSEGO	Avenida Jacu Pêssego – logradouro	10m	Sim
BUFFER_JACU_PESSEGO	Avenida Jacu Pêssego – buffer	10m	Sim
LOGRADOURO_HIBRIDO	Outras faixas – logradouro validado	10m	Sim
BUFFER_HIBRIDO	Outras faixas – buffer direto	10m	Sim

Fonte: Elaborado pelo Autor.

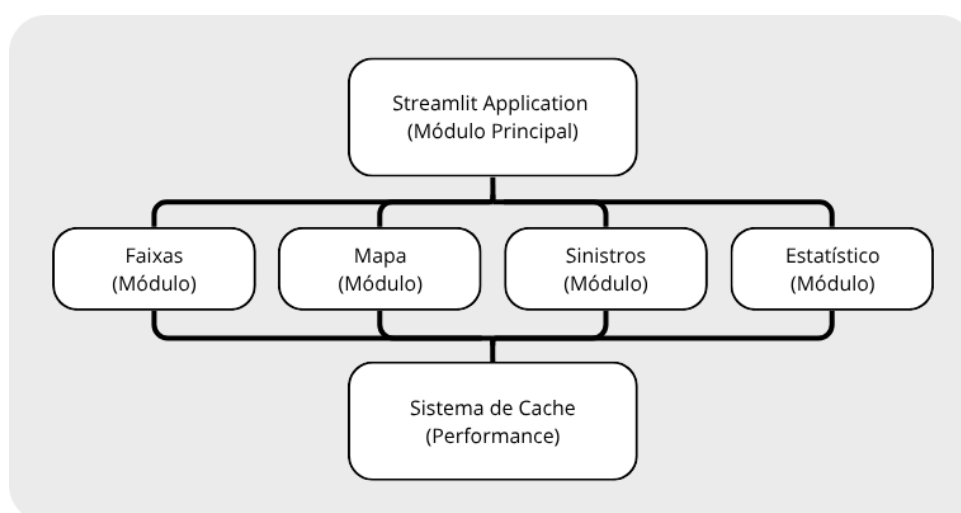
3.4 Arquitetura do Sistema

O sistema segue uma arquitetura modular baseada na separação de responsabilidades, de modo a garantir manutenibilidade, extensibilidade e escalabilidade e é composta pelos seguintes componentes:

- **Interface Web (Streamlit):** camada de apresentação e interação com o usuário;
- **Módulos de Negócio:** responsáveis pelas regras específicas de domínio (faixas, sinistros, mapas);
- **Sistema de Cache:** otimiza a performance e reduz o tempo de carregamento.

Na Figura 4 há a exemplificação da arquitetura que foi desenvolvida para o sistema em questão:

Figura 4 – Arquitetura do Sistema.



Fonte: Elaborado pelo Autor

3.5 Módulos do Sistema

A arquitetura da aplicação foi estruturada em módulos independentes e complementares, permitindo uma organização clara das responsabilidades e facilitando a manutenção, evolução e reutilização do código. Cada módulo concentra tarefas específicas relacionadas ao fluxo de dados, processamento geoespacial, visualização e análise estatística, garantindo que o sistema opere de forma coesa e eficiente.

Essa modularização também possibilita que diferentes partes da aplicação sejam aprimoradas ou substituídas sem comprometer o funcionamento geral, além de favorecer a escalabilidade e a integração com novas funcionalidades futuras. A seguir, são detalhados os principais

módulos que compõem o sistema, suas funções e como eles contribuem para o funcionamento geral da aplicação.

3.5.1 Módulo Principal (app/core/)

O módulo principal é responsável pela orquestração geral da aplicação, atuando como camada de integração entre interface, processamento de dados e visualizações. Nele está localizado o arquivo `app.py`, que centraliza o fluxo de execução da aplicação dentro do *Streamlit*. Além disso, o módulo inclui o componente `performance_monitor.py`, voltado ao monitoramento do uso de recursos como memória e tempo de processamento, bem como o arquivo `performance_config.py`, que define os parâmetros e limites operacionais para otimização de desempenho. Dessa forma, o módulo principal garante o controle de estados, o encaminhamento de solicitações do usuário e o equilíbrio entre responsividade e carga computacional.

3.5.2 Módulo de Faixas (app/faixas/)

O módulo de faixas é responsável pelo gerenciamento dos dados geoespaciais referentes às faixas azuis, incluindo tanto trechos já implantados quanto trechos planejados. Ele realiza o carregamento e padronização das geometrias a partir de arquivos GeoJSON, aplica rotinas de limpeza estrutural e normalização de atributos e realiza a classificação automática entre faixas existentes e futuras. Além disso, calcula a extensão total de cada trecho, considerando diferentes implementações ao longo da mesma via, o que permite agregar e analisar evoluções de expansão das faixas. Por fim, o módulo também disponibiliza a exportação dos dados resultantes no formato Shapefile, permitindo integração com outros sistemas de geoprocessamento.

3.5.3 Módulo de Sinistros (app/sinistros/)

O módulo de sinistros é responsável pelo tratamento e análise de registros de acidentes ocorridos na malha urbana, com foco na relação com a implantação das faixas azuis. Ele realiza o carregamento de dados oriundos de arquivos CSV, incluindo múltiplas bases, padronizando formatos de data, coordenadas e atributos categóricos. As coordenadas são convertidas em geometrias espaciais, permitindo análises de proximidade. O módulo define níveis de gravidade (fatal, grave e leve) e categoriza cada ocorrência como anterior ou posterior à implementação da faixa correspondente. Também oferece suporte à análise em diferentes raios de influência espacial, como 10, 30 e 50 metros, possibilitando comparações robustas e sensíveis à escala territorial.

3.5.4 Módulo de Mapas (app/mapa/)

O módulo de mapas é responsável pela geração das visualizações geoespaciais interativas que compõem a interface principal da aplicação. Ele utiliza a biblioteca *Folium* para renderizar camadas contendo faixas azuis e registros de sinistros, diferenciando elementos visualmente de acordo com seu estado (existente ou futuro) e período de ocorrência (antes ou depois da implantação). Também implementa mecanismos de controle de camadas, permitindo ao usuário alternar entre visualizações e destacar informações específicas. O módulo emprega estratégias de otimização de renderização e cache para garantir fluidez no uso, mesmo em cenários com grande volume de dados.

3.5.5 Módulo Estatístico (app/estatisticas/)

O módulo estatístico consolida os resultados das análises e cálculos comparativos realizados sobre os dados das faixas e dos sinistros. Ele calcula métricas como variações absolutas e percentuais na quantidade de acidentes, distribuições por zona e trechos, e tendências temporais. Além disso, permite avaliar a efetividade das faixas azuis como política pública de segurança viária ao identificar reduções ou aumentos em acidentes após a sua implementação. Os resultados produzidos por este módulo são integrados à interface visual e aos gráficos interativos exibidos ao usuário, facilitando a interpretação e a comunicação dos achados.

3.6 Funcionalidades Principais

A aplicação desenvolvida reúne um conjunto de funcionalidades que permitem explorar, analisar e interpretar dados relacionados às faixas azuis e aos sinistros envolvendo motociclistas na cidade de São Paulo. Essas funcionalidades foram projetadas para oferecer uma experiência interativa, intuitiva e tecnicamente robusta, integrando visualização geográfica, filtros dinâmicos, análises estatísticas e mecanismos de exportação de dados. Dessa forma, o sistema não apenas facilita a compreensão espacial e temporal dos eventos analisados, mas também amplia o potencial de uso por pesquisadores, gestores públicos e demais interessados no tema. As subseções a seguir detalham cada um desses recursos e sua contribuição para a investigação e apoio à tomada de decisão.

3.6.1 Visualização Geográfica

O sistema disponibiliza uma visualização geoespacial interativa das faixas azuis de São Paulo (Figura 5), integrando trechos existentes, planejados e registros de sinistros relacionados. A interface é construída sobre mapas interativos que permitem zoom, navegação e consulta direta de informações por meio de popups descritivos. Popups são janelas informativas exibidas

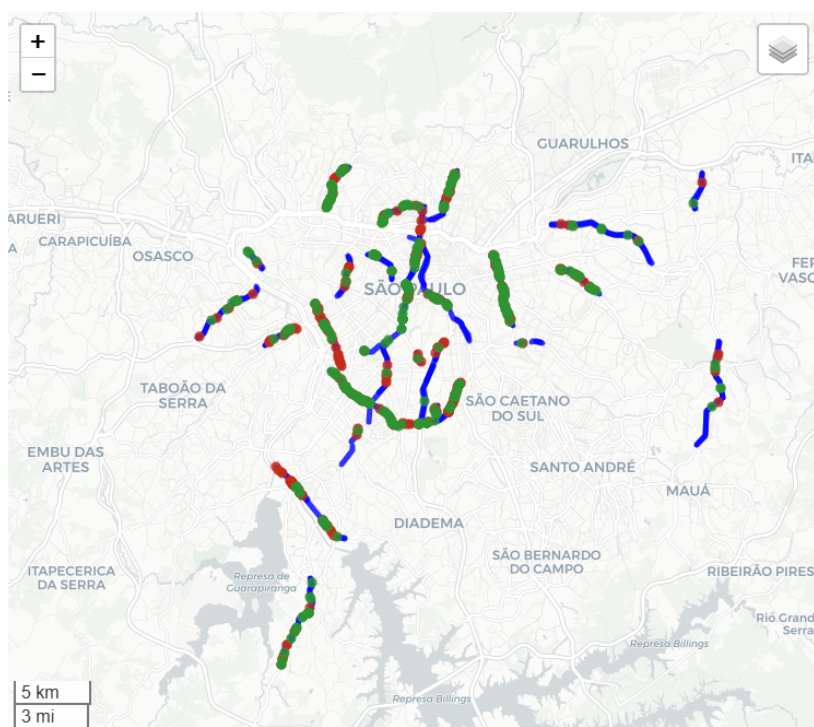
ao clicar em um elemento do mapa, apresentando detalhes associados àquele ponto ou segmento, como extensão da faixa, data de implementação, tipo de sinistro ou gravidade do acidente. Além disso, o usuário pode ativar ou ocultar diferentes camadas, o que facilita comparações espaciais e a identificação de padrões territoriais.

Principais características:

- Mapa interativo com navegação livre (*zoom* e deslocamento);
- Exibição de faixas existentes, planejadas e sinistros;
- Popups informativos com atributos e detalhes relevantes;
- Controle de camadas e legenda intuitiva.

Figura 5 – Ilustração da Visualização Geográfica na Aplicação.

Mapa das Faixas Azuis e Sinistros



Fonte: Elaborado pelo Autor

3.6.2 Filtros Interativos

O sistema oferece filtros configuráveis que permitem ao usuário ajustar a visualização e a análise conforme diferentes critérios espaciais, temporais e temáticos. Os filtros relacionados às faixas possibilitam restringir a visualização por zona geográfica ou por logradouro específico,

além de permitir alternar entre faixas existentes e planejadas (Figura 6). Para os sinistros, os filtros permitem controlar o raio de influência, a severidade, o tipo de vítima, o período analisado e faixas de comparação antes e depois da implantação (Figura 7).

Filtros disponíveis:

- Filtro por zona geográfica da cidade;
- Filtro por avenida ou rua específica;
- Seleção de faixas existentes ou futuras;
- Raio de análise em relação à faixa: 10 m, 30 m ou 50 m;
- Classificação por gravidade, tipo de vítima e período relativo à implantação.

Comportamento dos filtros:

- Atualização dinâmica conforme seleções do usuário;
- Interdependência entre filtros (opções se ajustam automaticamente);
- Validação de entradas para evitar conflitos.

Figura 6 – Ilustração dos Filtros das Faixas na Aplicação.

Filtros



Filtros - Faixas

Zona

Selecione a Zona

Choose options

Avenida Principal

Selecione a Avenida/Rua da Faixa

Choose options

☐ Exibir faixas futuras

Exibir Resumo Fechar Resumo Reset Filtros Ocultar Faixas

Figura 7 – Ilustração dos Filtros dos Sinistros na Aplicação.

Filtros - Sinistros

Raio de Atribuição
 Seleccione o raio de atribuição dos sinistros:

Faixas Azuis
 Seleccione as faixas azuis para análise:

Período Relativo
 Seleccione o período:

Gravidade dos Acidentes
 Seleccione a gravidade dos acidentes:

Tipo de Vítima
 Seleccione o tipo de vítima:

Tipo de Análise (Período)
 Seleccione o tipo de análise de período:

Fonte: Elaborado pelo Autor

3.6.3 Análises Estatísticas

O sistema fornece análises estatísticas que consolidam indicadores que permitem avaliar o impacto da implantação das faixas azuis sobre os sinistros. A análise comparativa entre períodos anteriores e posteriores à implementação possibilita estimar reduções absolutas e relativas na ocorrência de acidentes. Também são conduzidas análises temporais para identificação de tendências, bem como estudos segmentados por gravidade e tipo de vítima, permitindo compreender de forma aprofundada o perfil dos sinistros.

Tipos de análise realizados:

- Comparação antes/depois da implantação das faixas;
- Avaliação de variação absoluta e percentual de sinistros;
- Análise temporal;
- Distribuição por gravidade (leve, grave, fatal) - (Figura 8);
- Segmentação por tipo de vítima;

- Comparação entre diferentes zonas da cidade.

Figura 8 – Distribuição por Gravidade dos Acidentes



Fonte: Elaborado pelo Autor

3.6.4 Exportação de Dados

O sistema permite que o usuário exporte os dados filtrados para utilização em análises complementares em outras ferramentas. No caso das faixas azuis, a exportação é realizada no formato Shapefile, disponibilizado em um arquivo compactado (.zip). Esse arquivo contém a geometria das faixas, bem como atributos associados, como extensão, data de implementação e localização, possibilitando sua integração com softwares de geoprocessamento, como QGIS e ArcGIS. Para os registros de sinistros, a exportação é feita em formato CSV, reunindo todas as ocorrências filtradas com base nos parâmetros selecionados pelo usuário. Esse formato permite que as informações sejam facilmente manipuladas em planilhas eletrônicas, ferramentas estatísticas ou outras plataformas analíticas voltadas à exploração dos dados.

3.7 Tratamento de Exceções

O sistema implementa um conjunto de mecanismos de tratamento de exceções com o objetivo de garantir estabilidade operacional, previsibilidade na execução das análises e comunicação clara com o usuário em situações de inconsistência ou ausência de dados. Estes procedimentos evitam interrupções inesperadas e asseguram a confiabilidade dos resultados apresentados pela aplicação.

3.7.1 Tratamento de Dados Faltantes

Dados provenientes de fontes públicas podem conter valores nulos ou inconsistentes, especialmente em colunas relacionadas à localização e datas. Por essa razão, antes de qualquer processamento, o sistema executa uma série de validações estruturais para garantir a integridade

mínima das tabelas de entrada. Esse processo inclui a verificação da existência de colunas essenciais, como latitude e longitude; a remoção de registros com valores inválidos ou ausentes em campos críticos; a validação das coordenadas antes da geração das geometrias espaciais; e a exibição de mensagens informativas ao usuário sempre que forem identificadas inconsistências ou ausência de dados essenciais. Dessa forma, assegura-se que apenas registros adequados sigam para as etapas subsequentes de análise e visualização.

3.7.2 Tratamento de Cache Corrompido

Para reduzir o tempo de carregamento, o sistema utiliza um mecanismo de cache local com validade controlada. No entanto, arquivos de cache podem tornar-se obsoletos ou corrompidos devido a atualizações de dados ou interrupções no processo de escrita. Para mitigar esses riscos, o sistema implementa uma política de expiração com tempo limite (TTL) de 2 horas, removendo automaticamente arquivos expirados ou inválidos. Sempre que é identificada alguma inconsistência, o cache é reconstruído de forma automática e silenciosa, garantindo que o usuário não seja impactado pela operação interna. Além disso, o sistema assegura a continuidade da aplicação mesmo em casos de falha na leitura do cache, reforçando a robustez e confiabilidade do processo.

3.7.3 Tratamento de Parsing de Datas

Datas provenientes de bases públicas podem estar registradas em diferentes formatos, o que exige um processo de padronização para garantir consistência interna ao sistema. Para isso, a aplicação realiza inicialmente a tentativa de conversão no formato dd/mm/yyyy. Caso o valor não se enquadre nesse padrão, é acionado um mecanismo de fallback automático que tenta interpretar as datas em formatos ISO ou outros formatos compatíveis. Quando possível, valores ausentes são preenchidos por meio de conversões alternativas, assegurando que nenhum registro essencial seja descartado sem necessidade. Ao final desse processo, todas as datas são uniformizadas em um formato interno padronizado, garantindo coerência em todas as etapas de análise e visualização.

3.7.4 Tratamento de Arquivos Ausentes

Caso arquivos esperados não estejam disponíveis no diretório previsto, o sistema não interrompe o fluxo de execução. Antes de realizar qualquer carregamento, ele verifica automaticamente a existência dos arquivos necessários e, caso estejam ausentes, informa o usuário sobre a indisponibilidade dos dados. Nesses cenários, estruturas vazias são retornadas quando aplicável, garantindo que o restante da aplicação continue funcionando normalmente, ainda que com um conjunto reduzido de informações.

3.7.5 Tratamento de Erros em Visualizações

A geração de gráficos depende da disponibilidade de um volume mínimo de dados para que comparações e análises tenham validade estatística. Para evitar falhas ou interpretações incorretas, o sistema realiza uma verificação prévia que identifica automaticamente quando o conjunto filtrado é insuficiente para produzir visualizações consistentes. Nesses casos, o usuário é informado por meio de mensagens de aviso, garantindo transparência quanto às limitações da análise. Além disso, o sistema conta com mecanismos específicos para tratar exceções de renderização e, quando necessário, substitui gráficos complexos por visualizações simplificadas que ainda permitam a interpretação básica dos dados disponíveis, mantendo a aplicação funcional e evitando interrupções no fluxo de uso.

3.7.6 Tratamento de Erros em Mapas

Mapas dependem de geometrias válidas para serem renderizados corretamente. Para evitar falhas causadas por coordenadas ausentes, formatos incorretos ou projeções incompatíveis, o sistema realiza uma validação estrutural prévia, identificando e corrigindo automaticamente inconsistências simples. Quando a correção não é possível, apenas a entidade defeituosa é descartada, preservando o restante do conjunto. Além disso, rotinas de limpeza removem arquivos temporários gerados no processamento, evitando acúmulo e falhas futuras. Esse processo garante que problemas geométricos não interrompam o fluxo da aplicação e que a visualização permaneça funcional mesmo com registros parcialmente comprometidos.

3.8 Sistema de Cache

O sistema de cache foi implementado com o objetivo de otimizar o desempenho da aplicação, reduzindo tempos de carregamento, minimizando reprocessamentos desnecessários e melhorando a experiência de uso. Esse mecanismo permite armazenar resultados já processados, evitando que consultas, cálculos e reconstruções de mapas sejam repetidos de forma redundante durante a navegação na aplicação.

3.8.1 Motivações para a Implementação

Durante o desenvolvimento inicial, foram observados gargalos de desempenho, especialmente no carregamento de dados de sinistros e na regeneração de mapas. Tais problemas resultavam em lentidão significativa, ocasionando travamentos temporários da interface. Entre os principais fatores identificados destacam-se:

- Tempo elevado de carregamento inicial (aproximadamente 10–15 segundos);
- Reprocessamento de dados a cada interação, mesmo sem alteração nos parâmetros;

- Travamentos ao aplicar zoom ou filtros no mapa;
- Consumo elevado de memória devido a carregamentos duplicados;
- Experiência do usuário prejudicada por longas esperas.

3.8.2 Arquitetura do Sistema de Cache

O mecanismo de cache foi estruturado em duas camadas principais:

1. **Cache Nativo do Streamlit** Utiliza o decorador `@st.cache_data` para armazenar resultados de funções de carregamento e pré-processamento. Esse cache possui tempo de expiração (*TTL*) de duas horas, armazenando resultados conforme parâmetros utilizados. Além disso, qualquer alteração nos parâmetros das funções ou nos arquivos de origem resulta na invalidação imediata do conteúdo armazenado, assegurando que informações desatualizadas não sejam utilizadas. Esse processo é aplicado principalmente às rotinas de carregamento de dados geoespaciais e estatísticos, reduzindo o tempo de resposta e otimizando o desempenho geral da aplicação.
2. **Cache Inteligente de Filtros de Sinistros** Para otimizar o desempenho da aplicação, foi desenvolvido o `SinistrosCacheManager`, um gerenciador responsável por armazenar resultados filtrados de forma inteligente. Ele gera uma chave hash única para cada combinação de parâmetros, como raio, período, tipo de evento e gravidade, permitindo reuso imediato de consultas idênticas. Os dados processados são salvos de forma persistente no diretório `cache/`, em arquivos `.pkl`, garantindo acesso rápido em sessões futuras. O sistema também aplica uma expiração automática de duas horas, removendo arquivos obsoletos e mantendo o cache sempre consistente e eficiente.

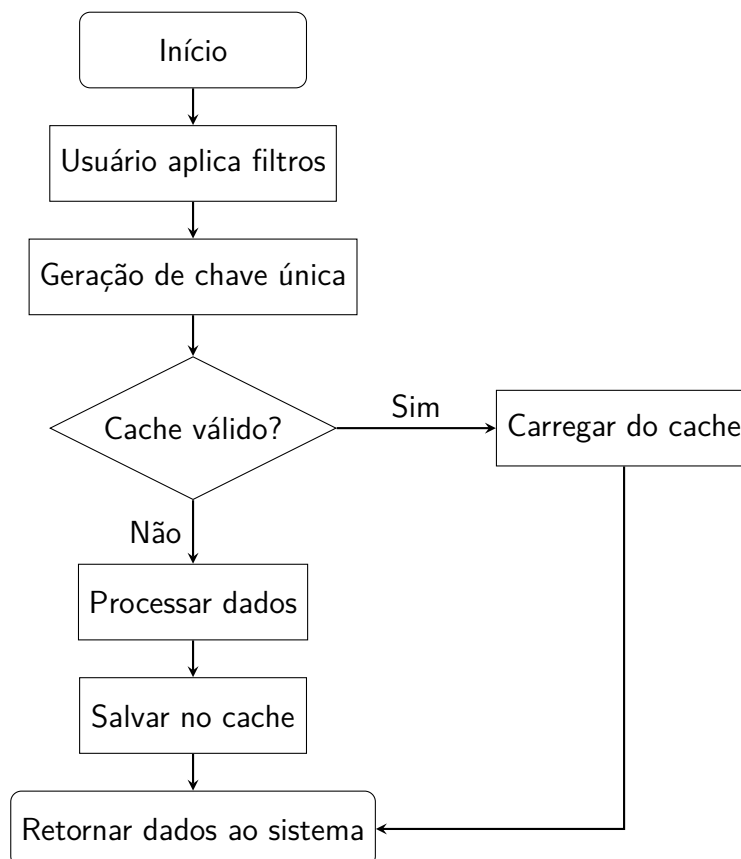
3.8.3 Fluxo Operacional do Sistema de Cache

A Figura 9 ilustra o fluxo de operação adotado para o gerenciamento de cache dos dados filtrados de sinistros. Esse processo busca otimizar o desempenho da aplicação ao evitar processamentos repetidos. Quando o usuário aplica filtros, como raio, período ou tipo de vítima, o sistema gera uma chave única que representa exatamente aquela combinação de parâmetros. Com essa chave, verifica-se a existência de um arquivo de cache válido; caso exista e não esteja expirado, os dados são carregados imediatamente, reduzindo o tempo de resposta.

Se não houver um cache disponível, seja por inexistência, expiração ou alteração nos dados de origem, o sistema realiza o processamento completo, filtrando os dados brutos, convertendo geometrias e categorizando as informações. Em seguida, o resultado é salvo como um novo arquivo de cache associado à chave gerada, garantindo maior agilidade em consultas futuras.

Por fim, os dados filtrados são retornados ao sistema, já prontos para visualização ou análise, tornando toda a aplicação mais eficiente e responsiva.

Figura 9 – Fluxo de funcionamento do sistema de cache para dados de sinistros.



Fonte: Elaborado pelo Autor

3.8.4 Resultados Obtidos

Com a implementação do sistema de cache, observaram-se melhorias significativas no desempenho da aplicação. O tempo de carregamento após a primeira execução foi reduzido em aproximadamente 70–80%, enquanto o tempo de resposta dos filtros caiu de 15 segundos para cerca de 5 segundos. Além disso, houve uma redução expressiva no processamento necessário para a geração de mapas e visualizações, resultando em uma experiência de uso muito mais fluida e responsiva.

4 Exemplos de Análises

O desenvolvimento da aplicação possibilitou a geração de análises mais consistentes e a extração de percepções relevantes acerca dos impactos da implementação das faixas azuis na cidade de São Paulo de forma mais visual. A partir dos dados processados, foi possível comparar a variação de sinistros antes e depois da implantação, de modo a identificar trechos viários que apresentaram desempenho positivo (redução de acidentes) e aqueles nos quais houve aumento de ocorrências.

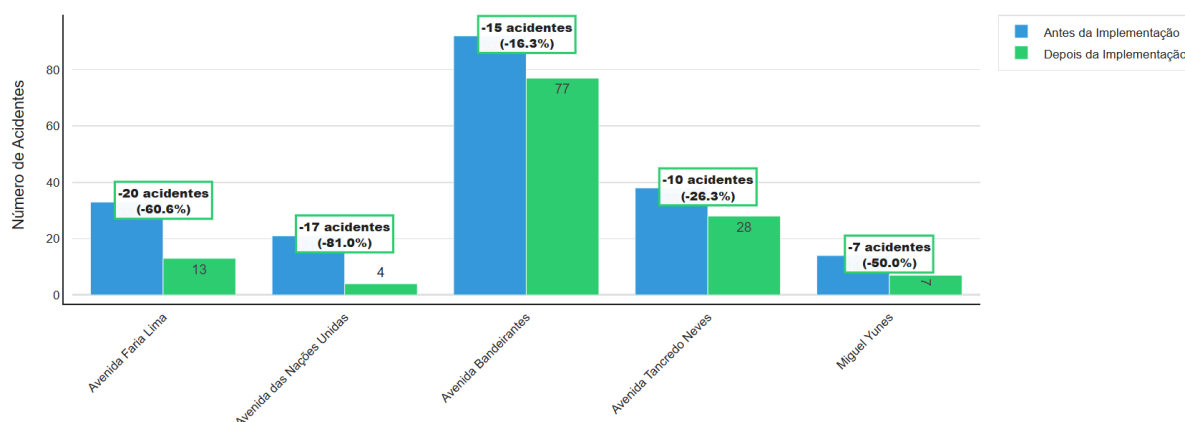
Para tornar essa avaliação mais justa e minimizar distorções em faixas com baixos registros de acidentes, adotaram-se critérios mínimos de ocorrência prévia, permitindo comparações percentuais mais equilibradas. Assim, foram estruturadas duas análises complementares: (i) as top 5 faixas com maior redução de acidentes e (ii) as top 5 faixas com aumento mais significativo de sinistros após a implementação.

As subseções a seguir apresentam os resultados visuais dessas análises, seguidos de interpretações que auxiliam na compreensão dos fatores que podem ter contribuído para os comportamentos observados no trânsito.

4.1 Top 5 faixas com maior redução de acidentes

Com o objetivo de garantir comparações mais consistentes entre os registros anteriores e posteriores à implementação das faixas azuis, adotou-se como critério mínimo a existência de pelo menos três sinistros no período anterior à implantação. Essa escolha evita distorções estatísticas comuns em amostras muito pequenas. Por exemplo, se uma faixa apresentasse apenas um acidente antes e um depois, a variação percentual resultaria artificialmente em 100%, produzindo interpretações enganosas e pouco relevantes para a análise. Assim, o recorte mínimo de três registros contribui para maior robustez na avaliação dos impactos. A Figura 10 apresenta as cinco faixas que registraram as maiores reduções no número de sinistros após a aplicação desse critério.

Figura 10 – Top 5 faixas com maior redução de sinistros (mínimo de 3 acidentes antes da implementação).



Fonte: Elaborado pelo Autor

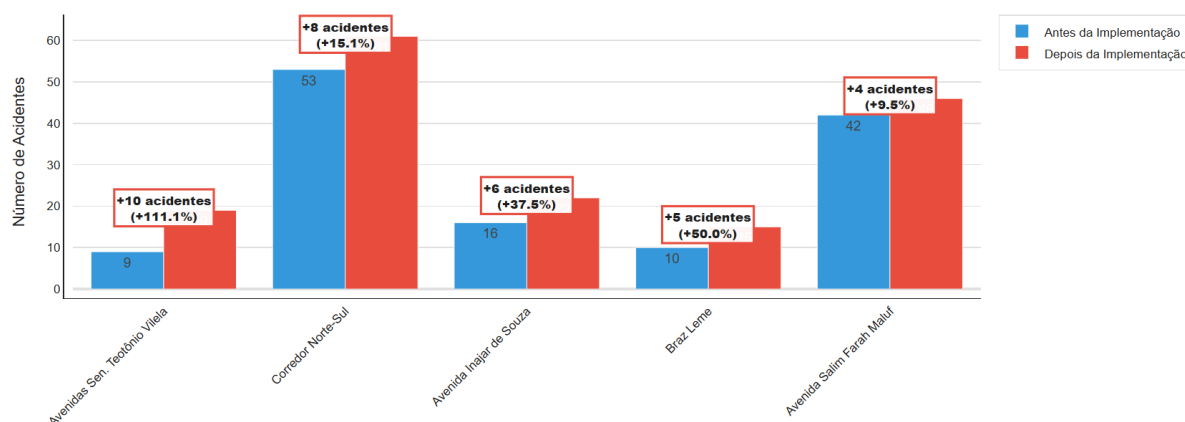
Observa-se que a Avenida das Nações Unidas apresentou a maior redução percentual entre todas as faixas analisadas, com queda aproximada de 81%. Uma possível explicação relaciona-se às características da via, que possui ampla largura, presença de controle semafórico e número expressivo de radares, elementos que podem favorecer maior disciplina de velocidade e uso adequado do espaço delimitado para motos. Soma-se a isso o fato de essa faixa ter sido implementada posteriormente às primeiras instalações da cidade, podendo indicar maior maturidade dos condutores quanto ao uso da infraestrutura.

A Avenida Faria Lima, por sua vez, registrou redução aproximada de 61% nos sinistros. Assim como no caso anterior, a presença de mecanismos de fiscalização, estrutura viária organizada e maior adaptação da população ao uso das faixas azuis podem ter contribuído para o resultado observado.

4.2 Top 5 faixas com maior aumento de acidentes

Mantendo a mesma lógica analítica adotada na etapa anterior, definiu-se um critério mínimo de dois sinistros registrados antes da implementação para incluir uma faixa azul na análise de aumentos. Essa restrição é fundamental para evitar distorções estatísticas que podem ocorrer em cenários com poucos eventos. Por exemplo, uma variação de 1 para 2 acidentes representaria um aumento de 100%, mas não refletiria necessariamente uma tendência significativa ou relevante do ponto de vista da segurança viária. Com esse critério, garantem-se comparações mais estáveis e interpretações mais consistentes. A Figura 11 apresenta, portanto, as cinco faixas que registraram os maiores aumentos no número de sinistros após a implantação da infraestrutura.

Figura 11 – Top 5 faixas com maior aumento de sinistros (mínimo de 2 acidentes antes da implementação).



Fonte: Elaborado pelo Autor

A Avenida Senador Teotônio Vilela apresentou o maior crescimento proporcional, com aumento de aproximadamente 111%. A via possui papel estratégico de conexão viária entre os distritos de Socorro, Cidade Dutra e Parelheiros, sendo rota de deslocamento frequente entre áreas residenciais e polos de trabalho. Por tratar-se de via relativamente estreita, é possível que a redução de espaço útil para os demais veículos tenha ampliado potenciais conflitos no tráfego.

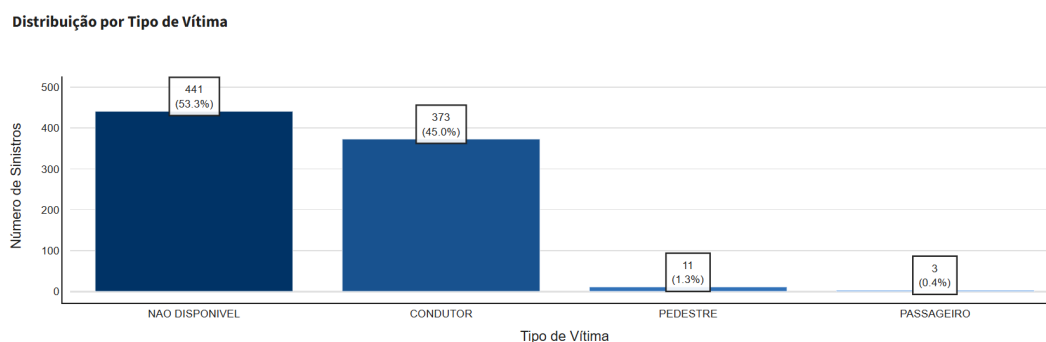
Outro caso relevante ocorre no Corredor Norte-Sul, que registrou aumento de cerca de 15% nos sinistros. Trata-se de um dos principais eixos de circulação da capital, com intensa demanda e elevado fluxo diário de veículos, o que pode explicar a maior probabilidade de ocorrências mesmo após a introdução da faixa específica para motocicletas.

Já a Avenida Braz Leme apresentou aumento aproximado de 50%. Uma hipótese para esse comportamento envolve o número reduzido de mecanismos de fiscalização eletrônica, o que pode contribuir para maior sensação de liberdade entre condutores, elevando riscos de desrespeito aos limites de velocidade e, consequentemente, a probabilidade de sinistros.

5 Limitações dos Dados

Durante o desenvolvimento do projeto, identificaram-se algumas limitações relevantes na base de dados do *Infosiga*. Uma delas diz respeito à ausência de informações completas sobre as pessoas envolvidas nos sinistros. Em grande parte dos registros, o campo que indica o tipo de vítima (como condutor, passageiro ou pedestre) aparece marcado como *não disponível*, o que compromete análises mais específicas relacionadas ao perfil das vítimas. Essa limitação pode ser observada na Figura 12, onde se nota que a maior parte das ocorrências não possui informação detalhada sobre os envolvidos no acidente.

Figura 12 – Distribuição por Tipo de Vítima (raio 30m).

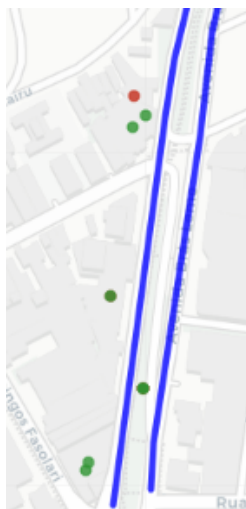


Fonte: Elaborado pelo Autor

Outra inconsistência identificada diz respeito à geolocalização dos sinistros. Durante o processo de validação espacial, observou-se que diversos registros apresentavam coordenadas posicionadas sobre edificações, o que, na prática, não seria um ponto real de ocorrência de acidente. A Figura 13 ilustra esse problema, evidenciando sinistros alocados em locais incompatíveis com a malha viária.

Devido a essa imprecisão espacial, tornou-se necessário empregar diferentes valores de *buffer*, a fim de mitigar o impacto desses erros e possibilitar resultados mais consistentes. Essa estratégia permitiu aprofundar as comparações e garantir maior confiabilidade na associação entre faixas azuis e sinistros.

Figura 13 – Localização dos Sinistros (raio 30m).



Fonte: Elaborado pelo Autor

6 Conclusão

O desenvolvimento do sistema e sua disponibilização em um repositório público no GitLab (RIBEIRO, 2025) favorecem a transparência e o reuso dos dados e metodologias empregados, contribuindo para o avanço de pesquisas futuras relacionadas à mobilidade urbana e segurança viária. A aplicação apresenta um caráter pioneiro ao abordar especificamente as faixas azuis de São Paulo, disponibilizando uma base georreferenciada dessas infraestruturas para download, bem como uma base tratada de sinistros de trânsito. Esse conjunto de dados pode ser facilmente integrado a outras ferramentas analíticas, ampliando seu potencial de uso por pesquisadores, gestores públicos e desenvolvedores.

Durante o processo de implementação, alguns desafios se destacaram, especialmente na etapa de construção da base de dados das faixas azuis e no procedimento de associação entre sinistros e as faixas azuis. A definição de critérios espaciais consistentes, alinhada ao tratamento de inconsistências e lacunas presentes nos dados originais, exigiu atenção metodológica e validações.

A interface da aplicação foi desenvolvida utilizando a biblioteca *Streamlit*, o que possibilitou prototipagem ágil e facilidade de uso. Entretanto, essa solução apresenta limitações, como a dificuldade de implantação direta em ambiente web sem ajustes de arquitetura. Assim, um avanço futuro do sistema envolve sua reestruturação para publicação online, com separação mais clara entre *front-end* e *back-end*, além da utilização de um banco de dados mais robusto, como o BigQuery, permitindo escalar a aplicação para volumes maiores de dados e múltiplos usuários simultâneos.

Como continuidade do trabalho, destaca-se a possibilidade de implementação de um módulo administrativo capaz de registrar novas faixas azuis conforme forem expandidas pela Prefeitura da cidade de São Paulo, atualizando automaticamente os resultados das análises comparativas entre períodos pré e pós-implantação. Além disso, seria pertinente incorporar rotinas de atualização periódica dos dados de sinistros fornecidos pelo Infosiga, permitindo que as visualizações e indicadores permaneçam atualizados ao longo do tempo.

Por fim, recomenda-se, para projetos futuros, o desenvolvimento de um sistema mais estruturado voltado à coleta e padronização de dados sobre sinistros de trânsito. Como observado ao longo deste estudo, parte dos registros apresenta inconsistências, falta de preenchimento ou localização imprecisa, o que limita a precisão das análises. Um sistema integrado de registro e disponibilização de dados, com padrões claros e interoperabilidade entre instituições públicas, contribuiria significativamente para pesquisas acadêmicas, definição de políticas públicas baseadas em evidências e promoção de maior transparência à sociedade.

Em síntese, o sistema desenvolvido representa uma contribuição significativa para a

análise dos impactos das faixas azuis na segurança viária da cidade de São Paulo, ao consolidar dados, métodos e ferramentas de visualização em um único ambiente acessível. Ao mesmo tempo em que se posiciona como um ponto de partida para estudos mais abrangentes, o trabalho reforça a importância da disponibilidade e qualidade dos dados públicos para a tomada de decisões baseadas em evidências. Espera-se que, a partir desta iniciativa, novas investigações possam ser conduzidas, aprimorando o entendimento sobre a relação entre infraestrutura urbana, mobilidade e segurança, e incentivando a continuidade de soluções tecnológicas que apoiem o planejamento e a gestão do espaço urbano.

Referências

CET. *Faixa Azul - Histórico de implementação*. 2025. Acesso em: 01 abr. 2025. Disponível em: <<https://www.cetsp.com.br/consultas/faixa-azul/informacoes-gerais.aspx>>.

CET. *Mapa de Infraestrutura Ciclovial*. 2025. Acesso em: 01 abr. 2025. Disponível em: <<https://www.cetsp.com.br/consultas/bicicleta/mapa-de-infraestrutura-ciclovitaria.aspx>>.

Companhia de Engenharia e Tráfego - CET. *Apresentação Faixa Azul*. 2021. Acesso em: 07 set. 2024. Disponível em: <https://www.cetsp.com.br/media/1206265/apresentacao_faixa_azul.pdf>.

FOLIUM. 2024. <<https://python-visualization.github.io/folium/>>. Acesso em: jul. 2025.

G1. *Número de mortes em acidentes no trânsito de SP em 2023 é o maior dos últimos oito anos*. 2024. Acesso em: 07 set. 2024. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2024/01/16/numero-de-mortes-em-acidentes-no-transito-de-sp-em-2023-e-o-maior-dos-ultimos-oito-anos.ghtml>>.

GEOPANDAS. 2024. <<https://geopandas.org/>>. Acesso em: jul. 2025.

MCKINNEY, W. *Pandas*. 2024. <<https://pandas.pydata.org/>>. Acesso em: jul. 2025.

MOTOBOY, J. A. V. do. *Sindimotosp, CET-SP e Abraciclo estiveram na Malásia com autoridades locais para troca de experiências sobre faixa exclusiva para motociclistas*. 2024. Acesso em: feb. 2025. Disponível em: <<https://www.jornalavozdomotoboy.com.br/noticia/509/sindimotosp-cet-sp-e-abraciclo-estiveram-na-malasia-com-autoridades-locais-para-troca-de-experiencias-em-relacao-a-faixa-exclusiva-para-motociclistas>>.

NUMPY. 2024. <<https://numpy.org/>>. Acesso em: jul. 2025.

O Globo. *Número de motos aumenta 50% na Grande SP, e mais mulheres aderiram ao modal*. 2025. Acesso em: 01 abr. 2025. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/brasil/sao-paulo/noticia/2025/02/11/numero-de-motos-aumenta-50percent-na-grande-sp-e-cresce-numero-de-mulheres-pilotando-o-modal.ghtml>>.

PLOTLY Python. 2024. <<https://plotly.com/python/>>. Acesso em: jul. 2025.

PSUTIL. 2024. <<https://psutil.readthedocs.io/>>. Acesso em: jul. 2025.

PYPROJ. 2024. <<https://pyproj4.github.io/pyproj/>>. Acesso em: jul. 2025.

RIBEIRO, A. N. Tcc: Sistema faixadata – repositório de código. 2025. Acesso em: 11 nov. 2025. Disponível em: <https://gitlab.com/arthur.n.ribeiro/TCC_FaixaData_SP/-/tree/d3a23d7f9a0ff8168e948b6252f8785b1b1e4127>.

SHAPELY. 2024. <<https://shapely.readthedocs.io/>>. Acesso em: jul. 2025.

SOUZA, H. A. de; VIANNA, E. de O.; SOUZA, E. C. de; KON, F. Implantação e uso da ferramenta de análise de mobilidade de bicicletas BikeScience na CET: Identificando caminhos cicláveis em São Paulo. *Revista UniCET*, v. 3, p. 21–43, 2021. ISSN 2763-7905.

STREAMLIT. 2024. <<https://streamlit.io/>>. Acesso em: jul. 2025.

STREAMLIT-FOLIUM. 2024. <<https://github.com/randyzwitch/streamlit-folium>>. Acesso em: jul. 2025.