

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS - CAMPUS BAURU

DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO

BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

GUSTAVO RIBEIRO MONTES

**UTILIZANDO CIÊNCIA DE DADOS PARA IDENTIFICAR MELHORIAS
NA INFRAESTRUTURA URBANA PARA PEDESTRES**

BAURU

Novembro/2025

GUSTAVO RIBEIRO MONTES

**UTILIZANDO CIÊNCIA DE DADOS PARA IDENTIFICAR MELHORIAS
NA INFRAESTRUTURA URBANA PARA PEDESTRES**

Trabalho de Conclusão de Curso do Curso
de Bacharelado em Ciência da Compu-
tação da Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de
Ciências, Campus Bauru.
Orientador: Prof. Dr. Higor Amario de Souza

BAURU
Novembro/2025

M779u	Montes, Gustavo Ribeiro Utilizando ciência de dados para identificar melhorias na infraestrutura urbana para pedestres / Gustavo Ribeiro Montes. -- Bauru, 2025 51 p. : tabs., mapas Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Ciência da Computação) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências, Bauru Orientador: Higor Amario de Souza 1. Ciência de Dados. 2. Mobilidade Ativa. 3. Pedestres. 4. Políticas Públicas. I. Título.
-------	--

Gustavo Ribeiro Montes

Utilizando ciência de dados para identificar melhorias na infraestrutura urbana para pedestres

Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Bacharelado em Ciência da Computação da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciências, Campus Bauru.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Higor Amario de Souza

Orientador

Universidade de São Paulo

Escola Politécnica

Departamento de Engenharia de
Computação e Sistemas Digitais

**Profa. Dra. Simone das Graças
Domingues Prado**

Universidade Estadual Paulista "Júlio de
Mesquita Filho"

Faculdade de Ciências

Departamento de Computação

Profa. Dra. Juliana da Costa Feitosa

Universidade Estadual Paulista "Júlio de
Mesquita Filho"

Faculdade de Ciências

Departamento de Computação

Bauru, 12 de Novembro de 2025.

À minha família e parceira, por darem sentido a tudo.

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço à minha família, aos meus pais e ao meu irmão, pelo apoio incondicional indispensável para as oportunidades que tive ao longo da minha vida. Sem eles, não conseguiria ter alcançado nenhuma de minhas conquistas.

Expresso minha profunda gratidão ao Prof. Dr. Higor de Souza pela orientação e paciência ao longo do desenvolvimento deste trabalho, desde a escolha do tema até os mínimos detalhes finais.

Agradeço também à minha companheira Isadora por sua presença essencial em momentos desafiadores, por seu carinho e apoio, que foram fundamentais para meu equilíbrio emocional durante a elaboração deste trabalho.

A todos, minha eterna gratidão.

Resumo

O presente trabalho utiliza técnicas da Ciência de Dados para analisar padrões de mobilidade urbana sustentável, com ênfase nos deslocamentos realizados a pé na cidade de São Paulo, visando apoiar a formulação de políticas públicas mais efetivas. A partir das bases abertas da Pesquisa Origem e Destino (OD) 2023 e do portal GeoSampa, foram aplicadas técnicas de análise estatística descritiva (AED) e análise exploratória de dados espaciais (AEDE) para identificar padrões de mobilidade e relações entre características socioeconômicas, distribuição territorial e infraestrutura urbana. As análises revelaram disparidades na distribuição das viagens a pé entre diferentes regiões e grupos populacionais, destacando a influência de fatores econômicos, educacionais e estruturais na escolha pelo deslocamento pedestre. Além disso, as análises geoespaciais permitiram mapear zonas com elevada concentração de pedestres, indicando áreas prioritárias para intervenções públicas. Os resultados destacam a relevância da mobilidade ativa para o desenvolvimento urbano sustentável e evidenciam como abordagens baseadas em dados podem auxiliar decisões mais eficazes no planejamento de cidades mais acessíveis e inclusivas.

Palavras-chave: Ciência de Dados; Mobilidade Ativa; Pedestres; Políticas Públicas.

Abstract

This article applies Data Science techniques to analyze sustainable urban mobility patterns, with emphasis on pedestrian travel in the city of São Paulo, aiming to support the formulation of more effective public policies. Using open source data from the 2023 Origin-Destination Survey (OD) and the GeoSampa portal, descriptive statistical analysis and exploratory spatial data analysis (ESDA) techniques were applied to identify mobility patterns and relationships among socioeconomic characteristics, territorial distribution, and urban infrastructure. The analyses revealed disparities in the distribution of pedestrian trips across different regions and population groups, highlighting the influence of economic, educational, and structural factors on the choice of walking as a mode of transportation. Furthermore, geospatial analyses enabled the mapping of zones with high pedestrian concentration, indicating priority areas for public interventions. The results emphasize the relevance of active mobility for sustainable urban development and demonstrate how data-driven approaches can support more effective decision-making in planning more accessible and inclusive cities.

Keywords: Data Science; Active Mobility; Pedestrians; Public Policies.

Lista de figuras

Figura 1 – Amostra da Pesquisa OD 2023	18
Figura 2 – Amostra dos dados das Calçadas do GeoSampa	18
Figura 3 – Cálculo da representatividade dos meios de transporte	22
Figura 4 – Categorização da Raça	23
Figura 5 – Categorização da Distância Percorrida	24
Figura 6 – Cálculo da Distribuição de Raça de Pedestres	24
Figura 7 – Cálculo de Viagens de Pedestres por Zona OD	25
Figura 8 – Operação de Intersecção Espacial de Calçadas e Viagens de Pedestres	27
Figura 9 – Evolução Temporal dos Meios de Transporte	28
Figura 10 – Comparação de Viagens dos Meios de Transporte em 2023	29
Figura 11 – Principais Meios de Transporte em 2023	30
Figura 12 – Evolução Temporal dos Pedestres	30
Figura 13 – Distribuição de Viagens por Faixas Etárias de Pedestres	31
Figura 14 – Distribuição de Viagens por Raças de Pedestres	32
Figura 15 – Distribuição de Viagens por Grau de Instrução de Pedestres	32
Figura 16 – Distribuição de Viagens por Condição de Atividade de Pedestres	33
Figura 17 – Renda Individual de Pedestres	33
Figura 18 – Renda Média por Grau de Instrução dos Pedestres	34
Figura 19 – Motivos por Escolha do Meio a Pé	34
Figura 20 – Motivos para Viagem	35
Figura 21 – Distâncias das Viagens de Pedestres	35
Figura 22 – Distância Média por Motivo ao Destino de Pedestres	36
Figura 23 – Mapa de Calor das Origens dos Pedestres	37
Figura 24 – Origens de Pedestres por Município (RMSP)	38
Figura 25 – Origens de Pedestres por Distrito (RMSP)	39
Figura 26 – Origens de Pedestres por Distrito (SP)	40
Figura 27 – Origens de Pedestres por Zona OD (SP)	41
Figura 28 – Pedestres vs Outros Meios de Transporte por Distritos (SP)	42
Figura 29 – Pedestres vs Outros Meios de Transporte por Zonas OD (SP)	43
Figura 30 – Calçadas com Origens de Pedestres na Vila Curuçá	44
Figura 31 – Rua Ponta da Pinheira - Vila Curuçá	44
Figura 32 – Calçadas com Origens de Pedestres na Cidade Tiradentes	45
Figura 33 – Rua Quinta Sinfonia - Cidade Tiradentes	45
Figura 34 – Calçadas com Origens de Pedestres na Fazenda Itaim	46
Figura 35 – Rua Manuel Rodrigues Santiago - Fazenda Itaim	46

Lista de tabelas

Tabela 1 – Distritos com mais viagens de pedestres em SP	38
Tabela 2 – Zonas OD com mais viagens de pedestres em SP	39
Tabela 3 – Distritos com maior percentual de pedestres em relação a outros meios	40
Tabela 4 – Zonas OD com maior percentual de pedestres em relação a outros meios	40
Tabela 5 – Logradouros com mais origens de pedestres	42

Lista de abreviaturas e siglas

AED	Análise Exploratória de Dados
AEDE	Análise Exploratória de Dados Espaciais
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>
OD	Origem e Destino
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
SP	Cidade de São Paulo
ZMQ	<i>ZeroMQ</i>

Sumário

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Problema	13
1.2	Justificativa	13
1.3	Objetivo Geral	13
1.4	Objetivos Específicos	14
1.5	Organização do Trabalho	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	Mobilidade Ativa	15
2.2	Análises	16
2.3	Dados Abertos	17
3	METODOLOGIA	19
3.1	Métodos de Pesquisa	19
3.1.1	Estatística Descritiva	19
3.1.2	Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE)	19
3.2	Tecnologias e Ferramentas	20
3.3	Análises	21
3.3.1	Evolução Temporal dos Meios de Transporte	21
3.3.2	Perfil do Pedestre	22
3.3.3	Análises Geoespaciais	25
4	RESULTADOS	28
4.1	Evolução Temporal dos Meios de Transporte	28
4.2	Perfil do Pedestre	30
4.3	Análises Geoespaciais	36
5	CONCLUSÃO	47
	REFERÊNCIAS	48

1 Introdução

A caminhada é uma das formas mais antigas e fundamentais de deslocamento humano, presente desde os primórdios da civilização até os dias atuais. Contudo, a partir do século XX, o processo de urbanização passou a privilegiar os transportes motorizados individuais, resultando em uma infraestrutura urbana voltada prioritariamente para o uso de automóveis. Essa priorização gerou uma série de externalidades negativas, como aumento do trânsito, emissão de poluentes, acidentes de trânsito e redução da qualidade de vida urbana (BOARETO, 2008).

Diante desses impactos, cresce o interesse por alternativas sustentáveis de mobilidade, com destaque para os modos não motorizados, como caminhar e pedalar. A mobilidade urbana ativa vem sendo promovida por diversas políticas públicas em escala global, justamente por aliar benefícios sociais, ambientais e econômicos. No entanto, para que esse tipo de mobilidade seja efetivamente adotado, é imprescindível que a infraestrutura urbana ofereça suporte adequado, especialmente no que se refere à qualidade das calçadas, iluminação pública, segurança viária e acessibilidade.

A realidade brasileira, entretanto, ainda é marcada por deficiências estruturais significativas nesse aspecto. Segundo Magagnin (2009), apenas 2% do sistema viário brasileiro é composto por vias exclusivas para pedestres, evidenciando a carência de investimento em infraestrutura voltada à mobilidade ativa. Nesse cenário, torna-se essencial compreender os fatores que influenciam o deslocamento a pé nas cidades, a fim de subsidiar políticas públicas mais eficazes na promoção de ambientes urbanos caminháveis.

A Pesquisa Origem e Destino (OD), conduzida periodicamente pela Companhia do Metrô de São Paulo, oferece uma base de dados rica e atualizada sobre os padrões de deslocamento da população na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Essa pesquisa inclui dados socioeconômicos, informações sobre os meios de transporte utilizados, tempo de deslocamento, entre outros aspectos relevantes. Com a edição mais recente de 2023, é possível analisar, inclusive, os efeitos da pandemia de Covid-19 sobre os hábitos de mobilidade urbana.

Neste contexto, o presente trabalho propõe a utilização de técnicas de Ciência de Dados para analisar dados da OD e identificar padrões e correlações relacionadas à mobilidade urbana ativa, especialmente os deslocamentos a pé. A Ciência de Dados, conforme definido por Dhar (2013), envolve a aplicação de métodos estatísticos, computacionais e de visualização para extrair conhecimento relevante a partir de grandes volumes de dados. Assim, pretende-se empregar abordagens de análise exploratória,

modelagem estatística e visualização interativa de dados, com o objetivo de mapear áreas críticas e propor melhorias na infraestrutura urbana.

1.1 Problema

A infraestrutura urbana inadequada representa um dos principais entraves à adoção da mobilidade ativa nas cidades brasileiras. Em função da histórica priorização do transporte motorizado, calçadas e demais estruturas voltadas aos pedestres são frequentemente negligenciadas no planejamento urbano. Diante disso, este trabalho busca responder à seguinte questão: quais fatores influenciam a mobilidade urbana a pé na Região Metropolitana de São Paulo, e como esses fatores se relacionam com a infraestrutura existente?

A resposta a essa pergunta pode orientar a formulação de políticas públicas mais eficazes para a promoção da mobilidade ativa, contribuindo para a redução da dependência do transporte motorizado e para a melhoria da qualidade de vida urbana.

1.2 Justificativa

A análise de grandes volumes de dados gerados por estudos como a Pesquisa OD pode fornecer insights valiosos para a gestão da mobilidade urbana. A aplicação de técnicas de Ciência de Dados permite identificar padrões de deslocamento, áreas de maior vulnerabilidade para pedestres e correlações entre infraestrutura urbana e comportamento de mobilidade. Conforme argumenta Nadikattu (2020), a Ciência de Dados é essencial para extrair informações estratégicas a partir de conjuntos de dados complexos, contribuindo para a tomada de decisões mais assertivas.

Portanto, ao utilizar métodos quantitativos e computacionais para explorar os dados da OD 2023, este trabalho visa propor diretrizes de melhoria da infraestrutura urbana voltada à mobilidade ativa. As análises realizadas poderão indicar, por exemplo, locais com alta circulação de pedestres e baixa qualidade de calçadas, áreas com incidência elevada de acidentes envolvendo pedestres ou regiões mal iluminadas e com pouca sinalização. Os resultados obtidos poderão subsidiar intervenções mais direcionadas e efetivas por parte do poder público.

1.3 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é aplicar técnicas presentes na área de Ciência de Dados, como análise exploratória de dados e análise geoespacial, em conjuntos de

dados abertos, visando identificar padrões de deslocamento de pedestres e de uso da infraestrutura de mobilidade a pé em São Paulo.

1.4 Objetivos Específicos

Com o intuito de alcançar o objetivo geral deste trabalho, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Identificar fatores e padrões importantes relacionados a mobilidade urbana para pedestres;
- Analisar áreas e calçadas que precisem de intervenções públicas e outros fatores que tenham impactos na infraestrutura urbana relacionada a pedestres;
- Comparar os dados das pesquisas OD ao longo do tempo; e
- Construir uma ferramenta de análise espacial.

1.5 Organização do Trabalho

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos, além dos elementos pré e pós-textuais.

O Capítulo 2 aborda a Fundamentação Teórica, reunindo os principais conceitos essenciais para o desenvolvimento do trabalho. São discutidos temas como mobilidade ativa, estatística descritiva e uso de conjuntos de dados abertos.

No Capítulo 3, é apresentada a Metodologia adotada, detalhando os métodos de análise, as ferramentas computacionais utilizadas e o processo de tratamento e exploração dos dados provenientes da Pesquisa OD e do portal GeoSampa.

O Capítulo 4 é dedicado à apresentação dos Resultados, onde são descritas as descobertas das análises estatísticas e geoespaciais, acompanhadas de visualizações e interpretações.

Finalmente, o Capítulo 5 traz a Conclusão, sintetizando as principais contribuições do trabalho, além de sugerir direções para estudos futuros.

2 Fundamentação Teórica

Neste capítulo são apresentados os principais conceitos teóricos que embasam o desenvolvimento deste trabalho. Abordam-se conceitos relacionados à mobilidade ativa e sustentável, aos tipos de análises estatísticas e espaciais aplicadas, além dos conjuntos de dados abertos utilizados.

2.1 Mobilidade Ativa

De acordo com Duarte et al. (2022), a mobilidade urbana sustentável tem como pilar central a priorização do deslocamento de pessoas em vez do deslocamento de veículos. Essa abordagem busca reduzir os impactos ambientais gerados pelo transporte motorizado, promover o acesso da população aos espaços urbanos e fomentar o desenvolvimento social e econômico das cidades. Assim, a mobilidade urbana sustentável incentiva o uso de modos de transporte não motorizados, como caminhar e pedalar, que estão na categoria de mobilidade ativa (CARVALHO; FREITAS, 2012).

Nesse contexto, a mobilidade ativa refere-se aos deslocamentos realizados por meio da força humana, principalmente a pé ou por bicicleta, sem o uso de motores. Mais do que um meio de transporte, ela representa uma prática que promove a sustentabilidade urbana, a inclusão social e a melhoria da qualidade de vida nas cidades. Segundo Magagnin (2009), a infraestrutura voltada ao pedestre é um componente essencial para a acessibilidade urbana, uma vez que todos os deslocamentos, mesmo aqueles motorizados, envolvem algum trecho realizado a pé.

A mobilidade ativa também está diretamente ligada à promoção da saúde pública e à redução da desigualdade urbana. Segundo a World Health Organization (2019), o incentivo ao caminhar contribui para a diminuição de doenças crônicas não transmissíveis, como diabetes e hipertensão, além de reduzir os índices de poluição e ruído urbano. Dessa forma, investir em infraestrutura adequada para pedestres não apenas melhora a mobilidade, mas também gera benefícios coletivos para a sociedade.

Contudo, a realidade das cidades brasileiras ainda revela grandes desafios estruturais. A priorização histórica do automóvel individual resultou em calçadas irregulares, falta de acessibilidade e insegurança viária. De acordo com Magagnin (2009), apenas 2% do sistema viário nacional é composto por vias exclusivas para pedestres, evidenciando o baixo investimento nesse tipo de infraestrutura.

Diversas políticas públicas e planos de mobilidade urbana têm buscado reverter

esse cenário. O Plano Nacional de Mobilidade Urbana (Lei nº 12.587/2012) estabelece a prioridade dos meios não motorizados e do transporte público coletivo sobre os motorizados individuais (BRASIL, 2012). Entretanto, a efetividade dessas políticas depende da existência de diagnósticos precisos e dados confiáveis sobre os padrões de deslocamento da população.

Então, compreender a mobilidade ativa com orientação a dados permite reconhecer padrões espaciais e sociais que influenciam o comportamento dos pedestres, revelando desigualdades territoriais e auxiliando decisões de planejamento urbano mais inclusivas.

2.2 Análises

A análise de dados pode ser conduzida sob diferentes abordagens, variando conforme o objetivo da investigação e a natureza das informações. Foram aplicadas duas técnicas principais: a Estatística Descritiva e a Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE).

A Estatística Descritiva, conforme Guedes et al. (2005), tem como objetivo resumir, organizar e apresentar os dados de forma compreensível, por meio de medidas, tabelas e representações gráficas. Essa técnica não busca estabelecer relações de causalidade, mas sim identificar tendências, distribuições e características gerais de um conjunto de dados. No presente trabalho, ela foi utilizada para caracterizar o perfil sociodemográfico e comportamental dos pedestres, analisando variáveis como idade, sexo, renda, grau de instrução e motivo das viagens.

Por outro lado, a AEDE representa uma extensão da análise exploratória tradicional, voltada especificamente para dados que possuem uma dimensão geográfica. Segundo Lopes et al. (2022), a AEDE busca identificar padrões de concentração, dispersão e autocorrelação espacial, permitindo compreender como fenômenos se distribuem no espaço e se há relação entre regiões vizinhas. Essa abordagem é amplamente utilizada em estudos urbanos e ambientais, pois possibilita visualizar desigualdades territoriais e dependências espaciais entre variáveis.

No âmbito deste trabalho, a AEDE foi aplicada para examinar a distribuição geográfica das viagens a pé na Região Metropolitana de São Paulo, utilizando ferramentas de geoprocessamento. Por meio da elaboração de mapas coropléticos e de calor, foi possível identificar zonas com maior concentração de pedestres, bem como regiões com déficit de infraestrutura urbana. Essa análise espacial complementa a estatística descritiva, permitindo uma compreensão mais abrangente dos fatores que influenciam a mobilidade ativa.

A combinação entre essas duas abordagens fornece uma visão tanto quantitativa quanto espacial dos dados, possibilitando análises mais completas sobre o comportamento dos pedestres e os desafios estruturais da mobilidade urbana.

2.3 Dados Abertos

Para analisar os padrões de mobilidade e mapear as regiões que precisam de intervenção pública em relação a pedestres, foram utilizados, essencialmente, dois conjuntos abertos: a Pesquisa OD de 2023 de São Paulo e o conjunto de calçadas da cidade de São Paulo proveniente do GeoSampa.

Os dados de viagens de pedestres foram obtidos da Pesquisa OD de 2023 de São Paulo e os dados das calçadas foram obtidos da plataforma GeoSampa.

A Pesquisa OD é um levantamento amostral de mobilidade urbana realizado periodicamente pela Companhia do Metropolitano de São Paulo desde 1967, com o objetivo de coletar dados sobre os padrões de deslocamento da população na Região Metropolitana de São Paulo. De acordo com Vasconcellos (2005), pesquisas desse tipo são fundamentais para o planejamento de transportes, pois fornecem dados sobre características socioeconômicas dos viajantes, motivos das viagens, modos de transporte utilizados, horários de deslocamento e tempos de viagem. A OD tornou-se referência nacional em estudos de mobilidade urbana, subsidiando políticas públicas e projetos de infraestrutura de transporte ao longo de décadas.

Historicamente, a primeira edição da Pesquisa OD foi realizada em 1967, seguida por edições em 1977, 1987, 1997, 2007, 2017 e, mais recentemente, em 2023. Cada edição expandiu sua abrangência territorial e metodológica, incorporando novas variáveis e tecnologias de coleta de dados (Companhia do Metropolitano de São Paulo, 2025).

Segundo Pitombo (2007), pesquisas de origem-destino constituem instrumentos essenciais para diagnósticos precisos da demanda por transporte, permitindo identificar necessidades de expansão de sistemas, pontos de congestionamento, áreas mal atendidas e tendências de uso de diferentes modos de transporte. Os dados da Pesquisa OD são utilizados por órgãos públicos, instituições de pesquisa e empresas de transporte para fundamentar decisões de planejamento urbano e mobilidade.

Um conceito fundamental da Pesquisa OD é o fator de expansão, uma variável que permite extrapolar os dados amostrais para representar a população total da região estudada. De acordo com Pilotto e Novaski (2022), o fator de expansão pode ser interpretado como um peso, que se aplicado à amostra totaliza o universo. Assim, ao multiplicar cada registro amostral por seu respectivo fator de expansão, obtém-se uma

3 Metodologia

Esta pesquisa tem caráter quantitativo e descritivo, com foco na análise de padrões espaciais e estatísticos de mobilidade urbana na cidade de São Paulo. A abordagem deste trabalho combina técnicas de análise estatística descritiva com análise exploratória de dados espaciais, buscando identificar regiões de maior concentração de viagens a pé e relacioná-las à infraestrutura urbana existente.

3.1 Métodos de Pesquisa

Para a análise dos conjuntos de dados, foram empregadas a análise estatística descritiva e a AEDE, juntamente com técnicas de geoprocessamento.

3.1.1 Estatística Descritiva

De acordo com Guedes et al. (2005), a estatística descritiva é uma das três áreas da Estatística e, através de tabelas, gráficos e medidas descritivas, tem como objetivo descrever e sumarizar uma série de dados da mesma natureza para obter uma visão geral do tema.

A partir de tabelas, gráficos de linhas e barras, foi conduzida uma análise exploratória de dados com o intuito de identificar os padrões de mobilidade e mobilidade ativa em São Paulo a partir dos dados da Pesquisa OD 2023, com foco nos deslocamentos de pedestres. As análises estatísticas descritivas buscaram compreender o comportamento geral da mobilidade na RMSP, a evolução do uso dos meios de transporte na cidade de São Paulo, bem como realizar comparações entre São Paulo e a RMSP. Também foi avaliada a evolução histórica do modo a pé na região metropolitana.

Além disso, realizou-se a caracterização do perfil demográfico dos pedestres, considerando a distribuição de pedestres em relação à: sexo, idade, grau de instrução, condição de atividade, renda individual e a relação entre renda individual e grau de instrução. A análise também abordou o comportamento dos pedestres, visando compreender as razões de escolha desse meio de transporte e os motivos das viagens.

3.1.2 Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE)

Complementarmente, a AEDE, considerada uma extensão da Análise Exploratória de Dados (AED) orientada a identificação de padrões de associação espacial entre outras coisas, conforme Lopes et al. (2022), foi aplicada para examinar a distribuição

geográfica de viagens a pé por meio de mapas coropléticos e de calor. Foram mapeados indicadores como: quantidade de viagens de pedestres por população de cada região, representatividade de viagens de pedestres em relação ao total de viagens da RMSP e SP, proporção das viagens de pedestres em relação a todos os meios de transporte e as calçadas com maior número de viagens localizadas em zonas OD com alto percentual de deslocamento de pedestres.

3.2 Tecnologias e Ferramentas

Esta seção apresenta as tecnologias e ferramentas empregadas para o desenvolvimento das análises do trabalho.

Python é uma linguagem de programação de propósito geral, de alto nível, orientada a objetos e fracamente tipada. A linguagem atende a diversas áreas, desde ciência de dados até desenvolvimento web. Logo, foi utilizada para atender as necessidades de ciência de dados existentes do trabalho.

Já o Jupyter Notebook é um ambiente interativo que combina código e texto. Baseado em JSON (*JavaScript Object Notation*), consegue armazenar diversos tipos de informações, como código, texto normal e equações. Através do protocolo *Interactive Computing Protocol* (protocolo aberto de redes baseado em *WebSockets* e *ZMQ*), o Notebook pode se comunicar com um *kernel* (processo habilitado a executar o código de alguma linguagem de programação e retornar o resultado). O usuário pode rodar códigos e escrever textos normais no mesmo arquivo. Esta ferramenta foi empregada neste trabalho para desenvolver, organizar e documentar os processos analíticos realizados.

Para analisar os dados, foi utilizado Pandas, uma biblioteca relacionada à ciência de dados pertencente ao ecossistema do Python que está sob desenvolvimento contínuo desde 2008. Segundo McKinney (2011), Pandas possui estruturas de dados e ferramentas que facilitam a solução de diversos problemas que utilizam dados estruturados; logo, economia, ciências sociais e outros campos beneficiam-se disso.

Ainda, GeoPandas é uma biblioteca *open-source* que expande a biblioteca Pandas, ao adicionar estruturas de dados geométricas; ela permite operações espaciais, facilitando o trabalho geoespacial em Python (JORDAHL, 2016). No presente trabalho, foi empregada para as análises geográficas e a geração de mapas temáticos.

De acordo com Sial, Rashdi e Khan (2021), Matplotlib é uma biblioteca de visualização de dados essencial à lista de bibliotecas Python utilizadas para ciência de dados. Nela é possível gerar gráficos de linha, pizza, barra e box-plot. Ela foi utilizada para representar visualmente os resultados estatísticos das análises, facilitando a

interpretação dos padrões identificados.

Folium foi utilizada para a criação de visualizações interativas de dados geoespaciais em formato de mapa. Segundo OZMEN (2021), o Folium integra o poder do Leaflet.js (biblioteca JavaScript de mapas) à linguagem Python, permitindo a sobreposição de camadas de informação e a criação de mapas coropléticos.

3.3 Análises

A seguir são apresentadas as análises feitas para averiguação dos conjuntos de dados da Pesquisa oD e de calçadas do GeoSampa com o objetivo de identificar fatores relevantes à mobilidade de pedestres em SP.

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram selecionadas variáveis específicas da Pesquisa OD consideradas essenciais para a caracterização do perfil dos pedestres e análise de seus padrões de deslocamento. Algumas delas são:

- Fator de Expansão;
- Modo Principal: meio de transporte principal da viagem;
- Raça;
- Sexo;
- Idade;
- Grau de Instrução;
- Condição de Atividade;
- Renda Individual;
- Município de Origem;
- Zona OD de Origem; e
- Coordenadas de Origem.

3.3.1 Evolução Temporal dos Meios de Transporte

Para compreender a relevância das viagens de pedestres em São Paulo, foram conduzidas análises sobre os meios de transporte de SP em geral. Foi realizada uma análise que investiga a representatividade dos principais meios de transporte na RMSP e SP ao longo dos anos e, depois realizou-se uma comparação entre o uso de

cada meio das duas regiões. Os meios analisados foram: a pé (pedestres), automóvel, bicicleta, motocicleta, ônibus, táxi e trem.

Foram utilizados dados das seguintes edições da Pesquisa OD: 1977, 1987, 1997, 2007, 2017 e 2023, pois estas estão disponíveis publicamente pelo portal do Metrô.

Em cada edição, foi realizada uma agregação dos registros por meio de transporte, somando-se os valores do fator de expansão correspondente a cada meio. Em seguida, foi calculada a proporção relativa de cada meio em relação ao total de viagens da respectiva edição, conforme indica a Figura 3. Essa operação possibilitou quantificar a representatividade de cada meio de transporte ao longo do tempo e comparar sua evolução entre a RMSP e o município de São Paulo.

Figura 3 – Cálculo da representatividade dos meios de transporte

```
# Calcula a representatividade de todos os meios da OD 1987
representation_df_87 = df_87.copy()
representation_df_87 = representation_df_87.groupby('modoprin')['fe_via'].sum()
representation_df_87 = (representation_df_87 / representation_df_87.sum()) * 100
```

Fonte: Elaborada pelo autor.

Após o cálculo das representatividades, os resultados foram aglomerados em uma estrutura única de dados, contendo os meios de transporte como colunas e os anos das pesquisas como linhas. Assim, foram gerados gráficos de linha que ilustram a evolução temporal da participação de cada meio de transporte.

Com o objetivo de aprofundar a análise sobre os pedestres, especialmente, foi realizada a mesma operação filtrando os meios para conter apenas o meio de transporte a pé. Assim, foi possível observar a evolução temporal deste meio, especificamente.

Ademais, esta análise feita para compreender a evolução temporal do uso dos meios de transporte, foi refeita particularmente para o conjunto de dados da OD 2023, incluindo todos os meios de transporte existentes no conjunto. Logo, gerou-se um gráfico de linha de evolução temporal com todos os meios e outro com os cinco meios de transporte mais utilizados.

3.3.2 Perfil do Pedestre

Continuando com os dados da Pesquisa OD 2023, realizou-se um estudo para compreender o perfil demográfico e socioeconômico dos pedestres de São Paulo.

Inicialmente, foi necessário realizar um tratamento de dados, em que se iniciou pela filtragem de viagens cujo principal meio de transporte fosse a pé. Em seguida, com o objetivo de facilitar a interpretação dos resultados e permitir comparações

consistentes entre os diferentes grupos populacionais, conforme ilustra a Figura 4, categorizou-se colunas de valores numéricos para as seguintes classificações:

- Critério Econômico: A, B1, B2, C1, C2, e D-E;
- Sexo: Masculino e Feminino;
- Raça: Branca, Preta, Amarela, Parda, Indígena e Sem Declaração;
- Grau de Instrução: Fundamental I Incompleto, Fundamental I Comp. / Fund. II Incomp., Fundamental II Comp. / Médio Incomp., Médio Comp / Sup. Incompleto e Superior Completo;
- Condição de Atividade: Trabalho Regular, Bico, Licença Médica, Aposentado, Sem Trabalho, Nunca trabalhou, Dona de casa e Estudante;
- Escolha A Pé: Pequena distância, Condução cara, Ponto/Estação distante, Condução demora para passar, Viagem demorada, Condução lotada, Atividade física, Medo de contágio e Outros motivos; e
- Motivo Destino: Trabalho Indústria, Trabalho Comércio, Trabalho Serviços, Escola/Educação, Compras, Médico/Dentista/Saúde, Recreação/Visitas/Lazer, Residência, Procurar Emprego, Assuntos Pessoais e Refeição.

Figura 4 – Categorização da Raça

```
# Mapeamento da raça
raca_labels = {1:"Branca", 2:"Preta", 3:"Amarela", 4:"Parda", 5:"Indígena", 6:"Sem declaração"}
pedestrians['RACA_LABEL'] = pedestrians['RAÇA'].map(raca_labels)
```

Fonte: Elaborada pelo autor.

Além da categorização de algumas colunas, como ilustra a Figura 5, foi necessário classificar e discretizar as colunas de idade e distância percorrida, da seguinte forma:

- Idade: Criança (0-12 anos), Adolescente (13-18 anos), Jovem (0-12 anos), Adulto (31-50 anos), Adulto 50+ (51-65 anos) e Idoso (mais de 65 anos);
- Distância Percorrida: Muito curta (< 500m), Curta (500-1000m), Média (1001-2000m), Longa (2001-5000m) e Muito Longa (> 5000m).

Para simplificar a análise dos motivos de viagem relacionados ao trabalho, as classes "trabalho indústria", "trabalho comércio" e "trabalho serviços" foram agrupadas

Figura 5 – Categorização da Distância Percorrida

```
# Categorização da distância (em metros)
bins_distancia = [0, 500, 1000, 2000, 5000, float('inf')]
labels_distancia = ['Muito curta (<500m)', 'Curta (500-1000m)', 'Média (1001-2000m)',
                    'Longa (2001-5000m)', 'Muito longa (>5000m)']

pedestrians['CAT_DISTANCIA'] = pd.cut(pedestrians['DISTANCIA'], bins=bins_distancia, labels=labels_distancia)
```

Fonte: Elaborada pelo autor.

sob a categoria única "trabalho", com a soma ponderada dos respectivos fatores de expansão.

Após esse pré-processamento de dados, foi calculada a distribuição de pedestres de acordo com as variáveis: sexo, idade, raça, grau de instrução, condição de atividade, motivo de deslocamento a pé e motivo de viagem ao destino. Foi operada uma aglomeração dos deslocamentos de acordo com a variável e uma soma dos valores de fator de expansão das respectivas classes. Após isso, foi calculada a representatividade proporcional a partir do valor total de fator de expansão das viagens de pedestres, conforme ilustra a Figura 6. Logo, obteve-se uma visão geral do perfil demográfico dos pedestres ao plotar gráficos de linhas e de barras destas representatividades.

Figura 6 – Cálculo da Distribuição de Raça de Pedestres

```
raca_dist = pedestrians.groupby('RACA_LABEL')['FE_VIA'].sum() / pedestrians_weight * 100
raca_dist_normalized = raca_dist / raca_dist.sum() * 100
raca_dist_normalized.plot(kind='bar', title='Distribuição por Raça dos Pedestres', ylabel='%', xlabel="Raça")
```

Fonte: Elaborada pelo autor.

Adicionalmente, investigou-se a relação entre grau de instrução e renda individual dos pedestres. Para isso, as viagens de pedestres foram agrupadas de acordo com grau de instrução e calculou-se a média ponderada para cada classe, sendo o resultado plotado em um gráfico de barras. Complementarmente, foi elaborado um *violinplot* para a renda individual considerando o quartil superior de 0,95.

Finalmente, foi realizada uma análise sobre a associação do motivo de viagem de 'Procurar Emprego' e o motivo de escolha do meio pedestre 'Condução Cara', por meio da comparação entre os fatores de expansão agregados desses grupos, a fim de avaliar a influência de restrições econômicas na decisão de deslocar-se a pé. Também foi analisada a relação entre a distância média percorrida e o motivo do deslocamento.

As análises da presente subseção (3.3.2) foram replicadas para a cidade de São Paulo e RMSP para comparação de perfis de pedestres entre essas duas regiões.

Enfim, estas análises contribuíram para a caracterização do perfil demográfico, socioeconômico e comportamental dos pedestres na cidade de São Paulo, servindo de base para as investigações geoespaciais apresentadas na subseção 3.3.3.

3.3.3 Análises Geoespaciais

Com o objetivo de desenvolver uma compreensão mais abrangente sobre a distribuição espacial das viagens a pé na cidade de São Paulo, foram realizadas análises geoespaciais a partir dos dados da Pesquisa OD 2023 e das camadas geográficas disponibilizadas pelo portal GeoSampa. Essas análises tiveram como propósito identificar padrões espaciais de concentração de pedestres e relações entre mobilidade ativa e infraestrutura urbana.

Foram utilizados arquivos *shapefile* referentes às zonas OD, distritos e municípios da RMSP e a camada de calçadas do GeoSampa. Após o carregamento dos dados, todos os conjuntos espaciais foram convertidos para o mesmo sistema de referência geográfica, EPSG:4326. E, as análises consistiram em operações de junção espacial e agregação de variáveis para o cálculo de indicadores de representatividade pedestre em diferentes granularidades territoriais.

Inicialmente, foram gerados mapas coropléticos representando a representatividade das viagens a pé em relação ao total de viagens para os níveis: zona OD, distrito e município. Em cada granularidade, os registros de viagens da Pesquisa OD 2023 foram filtrados para o meio de transporte principal a pé e agregados espacialmente. Em seguida, somou-se o fator de expansão das viagens pedestres por região e calculou-se o percentual relativo ao total de viagens (todos os meios) da mesma área, conforme indica a Figura 7. Esse indicador permitiu identificar regiões com maior proporção de deslocamentos a pé, evidenciando a predominância da mobilidade ativa nas áreas periféricas.

Figura 7 – Cálculo de Viagens de Pedestres por Zona OD

```
# total de viagens
total_viagens = pedestrians_walk["FE_VIA"].sum()

# viagens por zona
zone_share = (
    pedestrians_walk.groupby("ZONA_0")["FE_VIA"].sum()
    .reset_index()
    .rename(columns={"ZONA_0": "NumeroZona", "FE_VIA": "VIAGENS"})
)

# calcula representatividade de viagens
zone_share["PERC"] = 100 * zone_share["VIAGENS"] / total_viagens

# ordena decrescentemente de acordo com a porcentagem
zone_share = zone_share.sort_values("PERC", ascending=False)

# zonas
zones_map = od_zones.merge(zone_share, on="NumeroZona", how="left").fillna(0)
```

Fonte: Elaborada pelo autor.

Adicionalmente, foram desenvolvidos mapas coropléticos que relacionam o percentual de viagens de pedestres em relação à população residente, utilizando os dados populacionais de cada distrito e zona OD. Essa análise buscou observar a relevância da mobilidade a pé em função do tamanho populacional, permitindo destacar regiões onde há maior intensidade relativa de deslocamentos pedestres.

Também foi desenvolvido um mapa de comparação entre o percentual de viagens de pedestres e o total de viagens por todos os modos de transporte no município de São Paulo, possibilitando identificar áreas onde o deslocamento a pé tem papel mais significativo na matriz de mobilidade.

Para complementar a análise, foi produzido um mapa de calor das origens de viagens de pedestres no município de São Paulo. A partir das coordenadas de origem presentes na Pesquisa OD 2023, foram gerados pontos geográficos correspondentes às localizações de origem das viagens a pé. Esse mapa possibilitou visualizar geograficamente os principais centros originadores de viagens a pé, evidenciando padrões de centralidade e dispersão dentro do município.

A etapa final das análises geoespaciais concentrou-se em três zonas OD com elevada representatividade de pedestres: Vila Curuçá, Fazenda Itaim e Cidade Tiradentes. Nessas áreas, foram realizados cruzamentos espaciais entre os pontos de origem das viagens a pé e o *shapefile* de calçadas do GeoSampa.

Essa etapa iniciou-se com a filtragem das calçadas pertencentes às zonas OD de interesse. Em seguida, foram geradas zonas de influência (*buffers*) em torno das calçadas e pontos de origem dos pedestres, de forma que tais objetos fossem expandidos proporcionalmente. Nesta análise, as calçadas foram *bufferizadas* com uma distância de 5 metros e os pontos de origem com uma de 15 metros em relação ao tamanho original.

A partir dos objetos aumentados, foi aplicada uma operação de interseção espacial entre as calçadas com as viagens de pedestres da zona para estimar os segmentos viários com maior volume de viagens pedestres, conforme ilustra a Figura 8. O resultado foi utilizado para gerar mapas interativos, onde as calçadas foram coloridas de acordo com a intensidade ponderada de viagens de pedestres, definida pela soma dos fatores de expansão das viagens cujas origens coincidiam com cada calçada.

Os mapas da etapa final destacaram quais calçadas concentram maior movimentação de pedestres e, portanto, podem demandar prioridade em intervenções urbanas.

De modo geral, as análises geoespaciais possibilitaram identificar zonas de alta concentração de viagens a pé e áreas com potencial déficit de infraestrutura adequada à mobilidade pedestre.

Figura 8 – Operação de Intersecção Espacial de Calçadas e Viagens de Pedestres

```
intersections = gpd.sjoin(  
    pedestrians_gdf,  
    sidewalks_analysis_zone,  
    how="inner",  
    predicate="intersects",  
)  
  
sidewalks_usage = (  
    intersections.groupby("index_sidewalk")["FE_VIA"]  
    .sum()  
    .reset_index()  
    .rename(columns={"FE_VIA": "INTENSIDADE"})  
)
```

Fonte: Elaborada pelo autor.

4 Resultados

Neste capítulo, são apresentados os resultados decorrentes das análises estatísticas e geoespaciais.

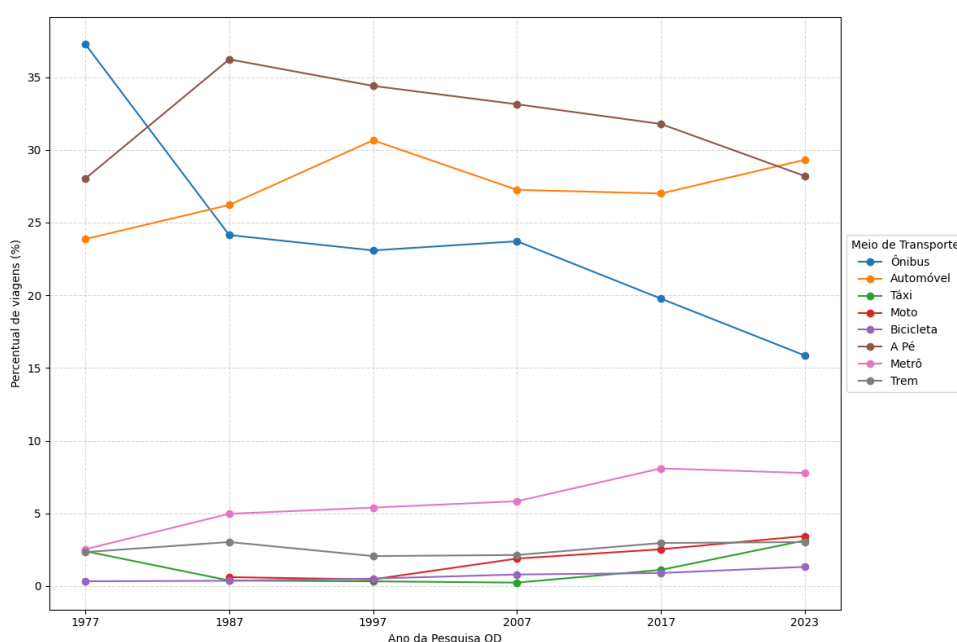
4.1 Evolução Temporal dos Meios de Transporte

Inicialmente, foi analisada a distribuição do uso dos meios de transporte na Região Metropolitana de São Paulo, com o objetivo de avaliar a representatividade das viagens realizadas a pé.

Dessa forma, foram realizadas análises comparativas das Pesquisas OD de 1977 a 2023, a fim de avaliar a evolução do uso dos principais meios de transporte ao longo do período.

Conforme apresentado na Figura 9, os meios de transporte com maiores percentuais de viagens foram A Pé, Automóvel e Ônibus, enquanto Bicicleta, Táxi e Trem apresentaram as menores participações, somando menos de 10%. Observa-se ainda que, em 2023, ocorreu uma inversão na liderança, com o Automóvel superando, pela primeira vez, o modo A Pé em representatividade.

Figura 9 – Evolução Temporal dos Meios de Transporte

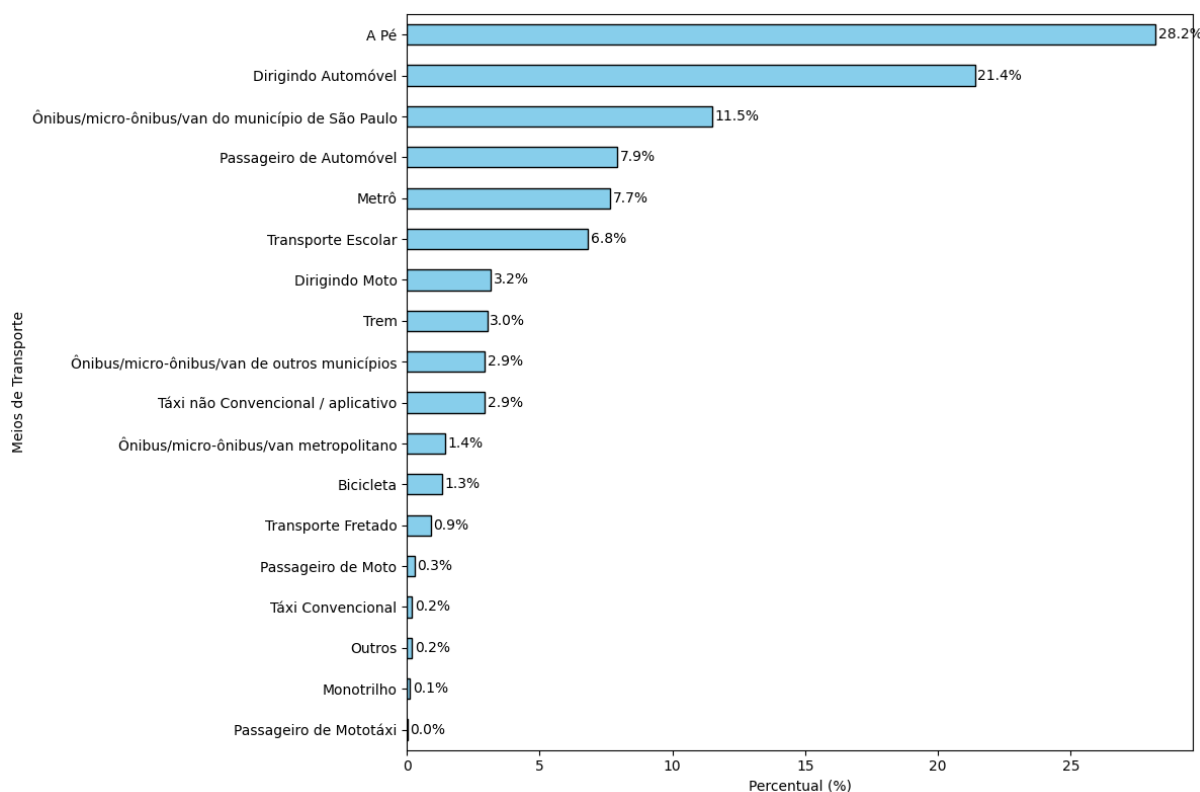


Fonte: Elaborada pelo autor.

Além disso, analisou-se a distribuição do uso dos meios de transporte na edição mais recente da pesquisa, a OD 2023. Segundo as Figuras 10 e 11, os meios A Pé,

Dirigindo Automóvel e Ônibus (ou equivalentes) destacam-se como os mais utilizados. Em contrapartida, Passageiro de Táxi, Monotrilho, Táxi Convencional e Passageiro de Moto apresentam os menores percentuais de viagens, que somados não alcançam 1% do total.

Figura 10 – Comparação de Viagens dos Meios de Transporte em 2023

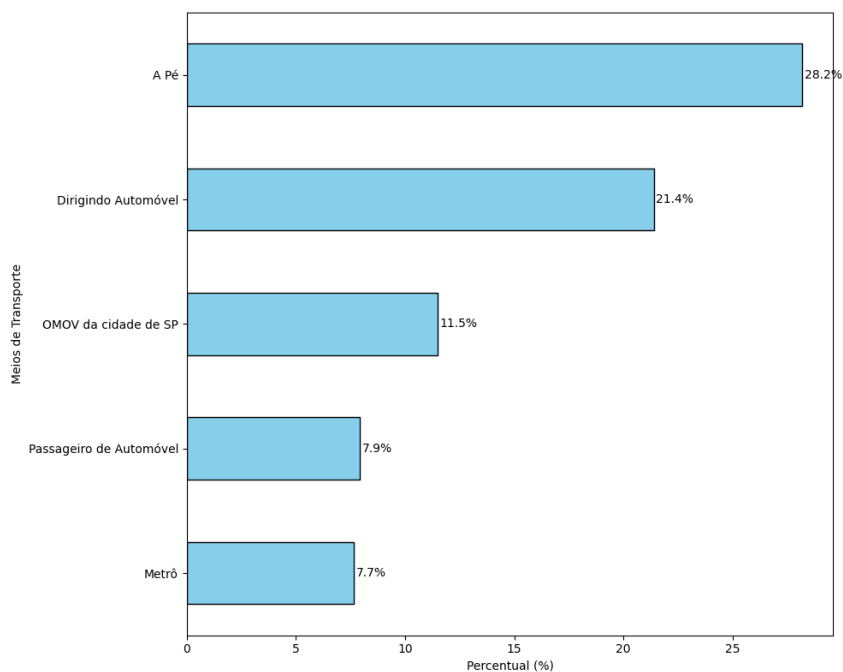


Fonte: Elaborada pelo autor.

Ao analisar especificamente o modo pedestre, observou-se a evolução temporal da representatividade de suas viagens ao longo das edições da pesquisa. De acordo com a Figura 12, a edição de 2023 registrou, pela primeira vez na série histórica das Pesquisas OD, uma redução na participação das viagens a pé. Em 2017, elas representavam 36,23% do total, enquanto em 2023 esse percentual caiu para 28,03%, marcando o menor índice de representatividade entre todas as edições.

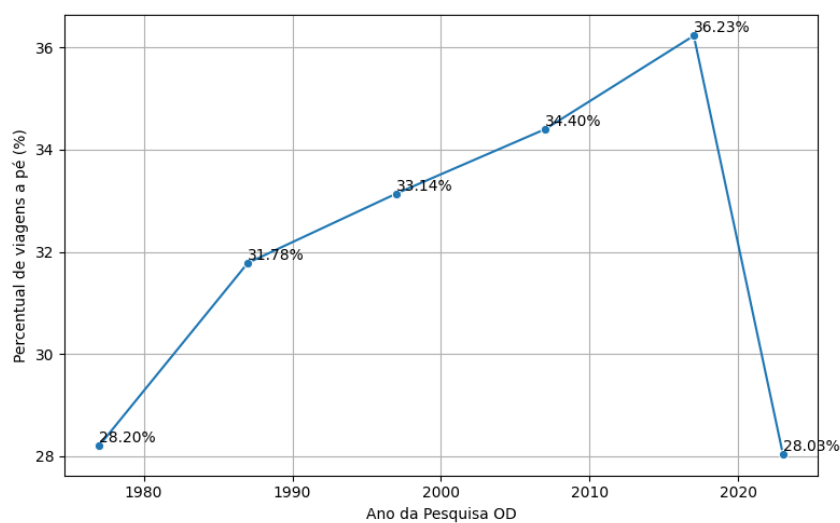
Então, foi verificado que o meio a pé representou cerca de 30% das viagens em São Paulo ao longo dos anos, tornando-se um dos meios essenciais para a cidade. Porém, de acordo com a edição de 2023 da Pesquisa OD, houve uma queda no percentual de viagens deste meio.

Figura 11 – Principais Meios de Transporte em 2023



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 12 – Evolução Temporal dos Pedestres



Fonte: Elaborada pelo autor.

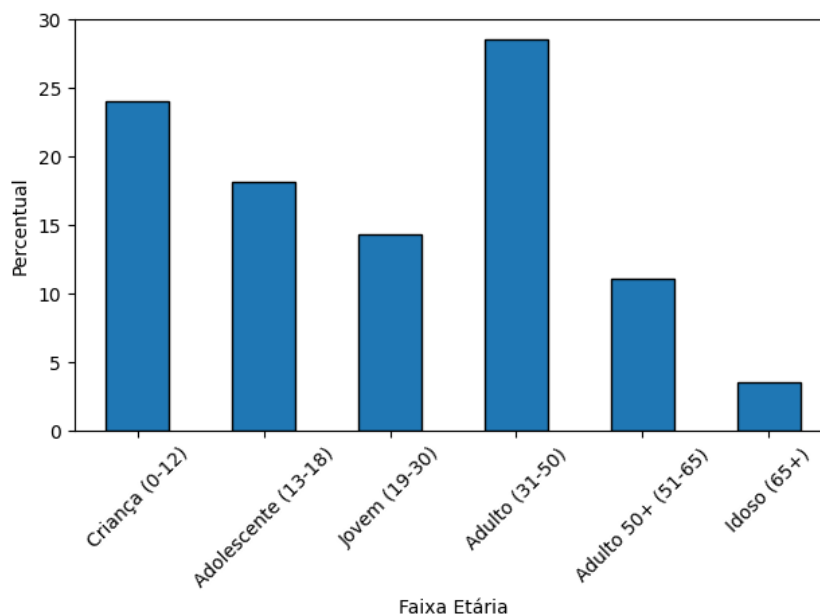
4.2 Perfil do Pedestre

Além de analisar a evolução da distribuição de viagens dos meios de transporte em São Paulo, foram realizadas análises sobre o perfil social, demográfico e econômico de pedestres, com base na Pesquisa OD 2023.

Verificou-se que o sexo feminino foi predominante, representando 56,02% das viagens realizadas a pé. A idade média dos pedestres é de aproximadamente 32 anos

e, conforme a discretização apresentada na Seção 3.3.2 e ilustrada na Figura 13, a faixa etária com maior representatividade corresponde às pessoas entre 31 e 50 anos (28,57%). Por outro lado, o grupo de idosos (mais de 65 anos) apresentou a menor participação, com apenas 3,58% das viagens.

Figura 13 – Distribuição de Viagens por Faixas Etárias de Pedestres



Fonte: Elaborada pelo autor.

Em relação à raça, observou-se que as categorias branca e parda concentram juntas 87% das viagens, sendo, portanto, as duas classes mais representativas, conforme ilustra a Figura 14. Já a raça Indígena apresentou o menor percentual, com participação de apenas 0,29%.

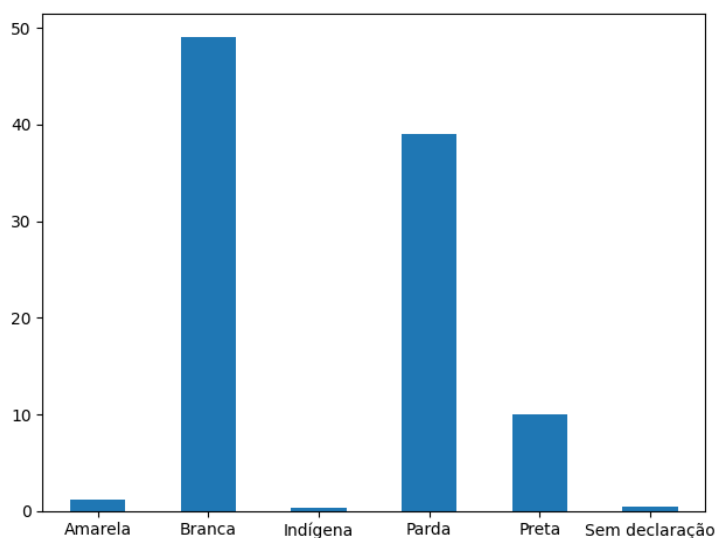
Ao analisar o grau de instrução dos pedestres, verificou-se que a maioria possui ensino médio completo ou ensino superior incompleto, correspondendo a aproximadamente 30% das viagens realizadas. Por outro lado, os pedestres com ensino superior completo representam apenas 11,92%, o grupo com menor representatividade nas viagens, conforme apresentado na Figura 15.

Já em relação à condição de atividade, variável que se refere à ocupação do viajante, observou-se que a grande parte dos pedestres, cerca de 70%, são pessoas com trabalho regular ou são estudantes, de acordo com a Figura 16.

Em seguida, analisou-se a renda individual dos viajantes que utilizam esse meio de transporte. O 3º quartil correspondeu a R\$1.900,00 e a média a R\$1.643,00, como apresenta a Figura 17. Logo, a maioria dos pedestres tem uma média próxima a um salário mínimo.

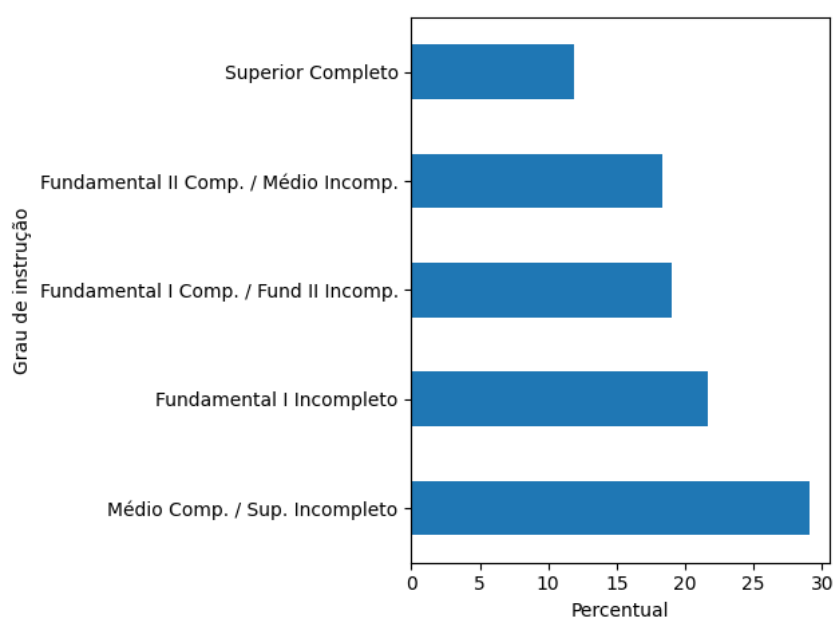
Ao relacionar a renda individual e o grau de instrução, buscou-se compreender

Figura 14 – Distribuição de Viagens por Raças de Pedestres



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 15 – Distribuição de Viagens por Grau de Instrução de Pedestres

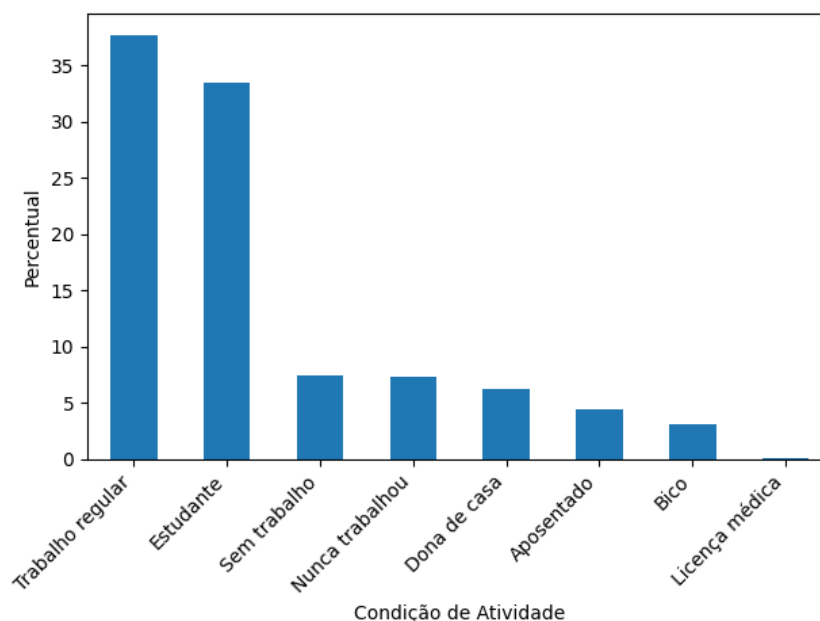


Fonte: Elaborada pelo autor.

de forma mais aprofundada o perfil socioeconômico dos pedestres. De acordo com a Figura 18, verificou-se que pedestres com o superior completo tendem a ter uma renda individual mais elevada, geralmente cerca de R\$7.203,04. Já aqueles com o médio completo e superior incompleto, que representam a maior parte dos pedestres, possuem uma renda média de aproximadamente R\$1.718,64, configurando uma diferença aproximada de quatro vezes em relação aos que possuem ensino superior completo.

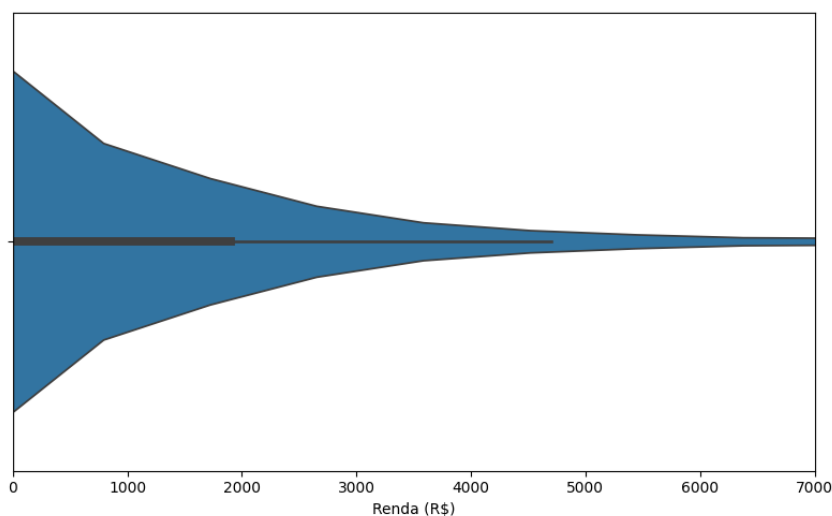
Aprofundando-se na análise do perfil do pedestre, foi analisado o motivo da

Figura 16 – Distribuição de Viagens por Condição de Atividade de Pedestres



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 17 – Renda Individual de Pedestres

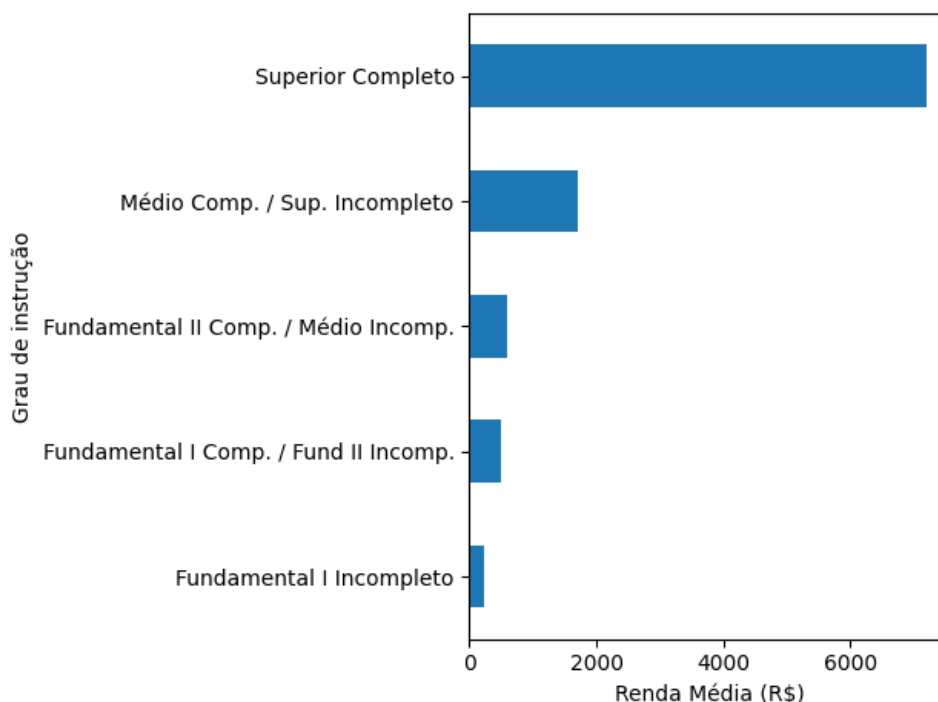


Fonte: Elaborada pelo autor.

escolha por este meio e o motivo da viagem ao destino. Como ilustra a Figura 19, cerca de 94% dos pedestres optaram pela viagem a pé em razão da pequena distância ao destino, e o segundo motivo na lista foi o de condução cara, representando apenas 2,33% das viagens. Já para os motivos em relação à destinação, trabalho, educação e residência compõem o núcleo central com aproximadamente 90%, enquanto compras e refeição ocupam posições com menos destaque, conforme apresenta a Figura 20.

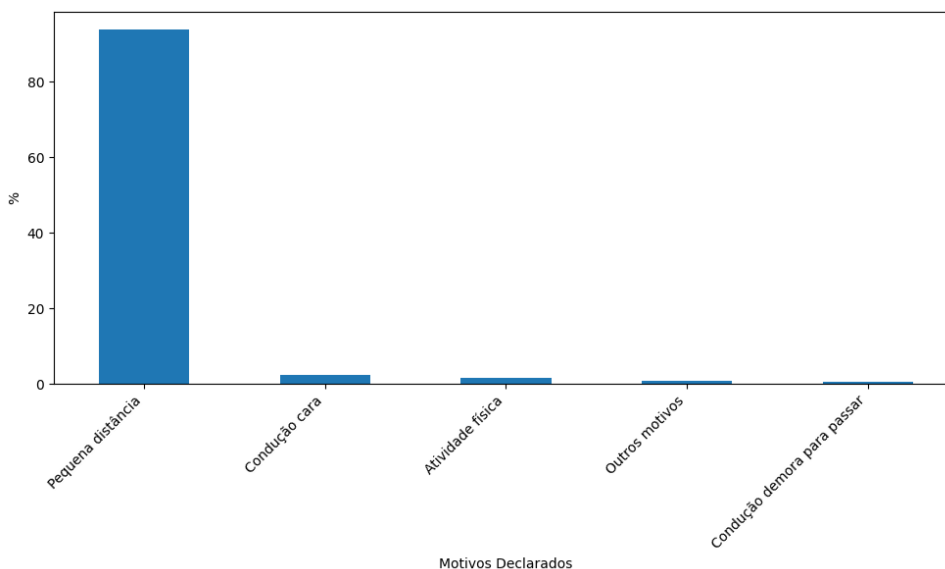
Além dos motivos relacionados à escolha do meio e da viagem, foi analisada a distância média, caracterizada em classes descritas em 3.3.2. Observou-se que mais

Figura 18 – Renda Média por Grau de Instrução dos Pedestres



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 19 – Motivos por Escolha do Meio a Pé

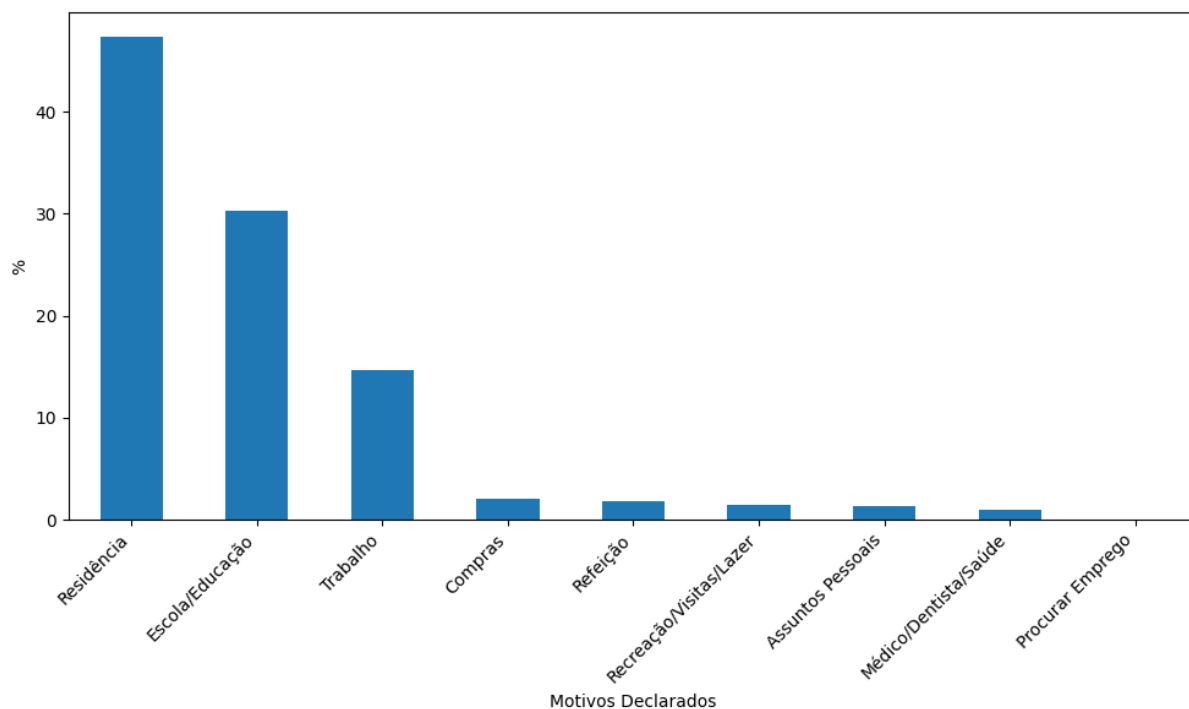


Fonte: Elaborada pelo autor.

de 50% das viagens são realizadas em distâncias curtas menores que 500 metros ou 1000 metros, de acordo com a Figura 21. E, distâncias longas a partir de 1001 metros representam menos de 20% do total de viagens de pedestres.

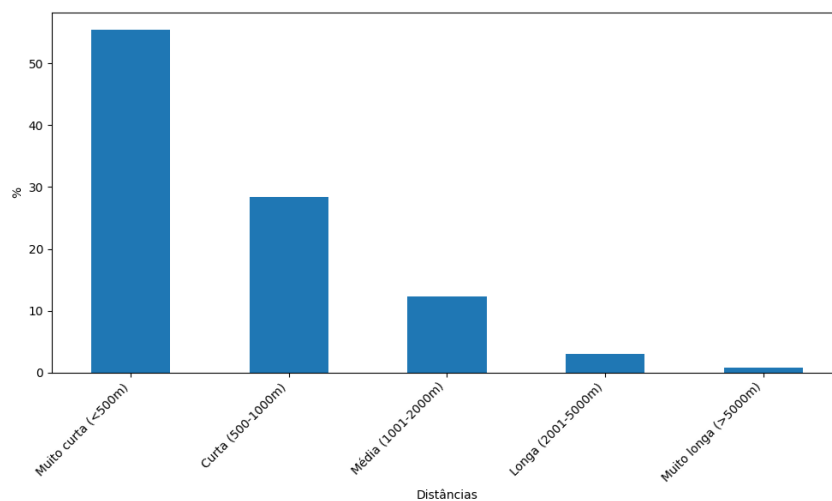
A distância foi relacionada com o motivo de destino das viagens de pedestres, calculando-se a distância média para cada motivo listado na Pesquisa OD 2023.

Figura 20 – Motivos para Viagem



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 21 – Distâncias das Viagens de Pedestres

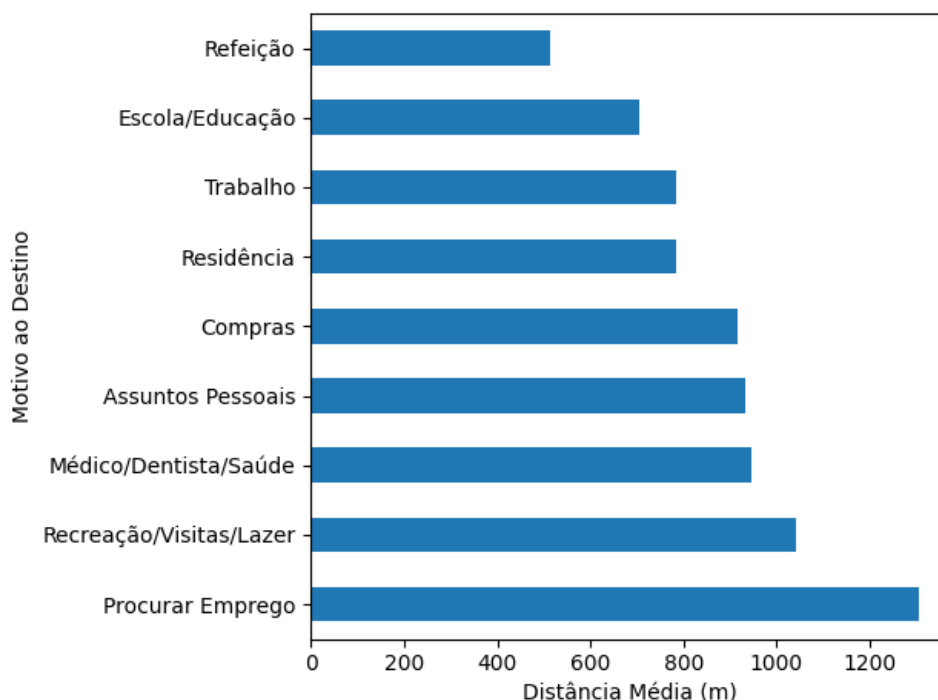


Fonte: Elaborada pelo autor.

Segundo a Figura 22, os motivos refeição, educação e trabalho (motivos com mais percentuais de viagens) possuem uma distância média menor do que 800 metros, mas a de procurar emprego ultrapassa 1000 metros, chegando a cerca de 1300 metros.

A partir desses dados, verifica-se que o perfil predominante do pedestre é composto por pessoas que realizam deslocamentos para trabalho ou educação, apresentam renda média de R\$ 1.718,00 e escolaridade de nível médio completo. A escolha

Figura 22 – Distância Média por Motivo ao Destino de Pedestres



Fonte: Elaborada pelo autor.

pelo deslocamento a pé está diretamente relacionada à curta distância entre origem e destino.

4.3 Análises Geoespaciais

Após descrever o perfil do pedestre de São Paulo, foram realizadas análises para compreender geograficamente a distribuição de viagens de pedestres e relacioná-la com a infraestrutura viária existente para tal meio.

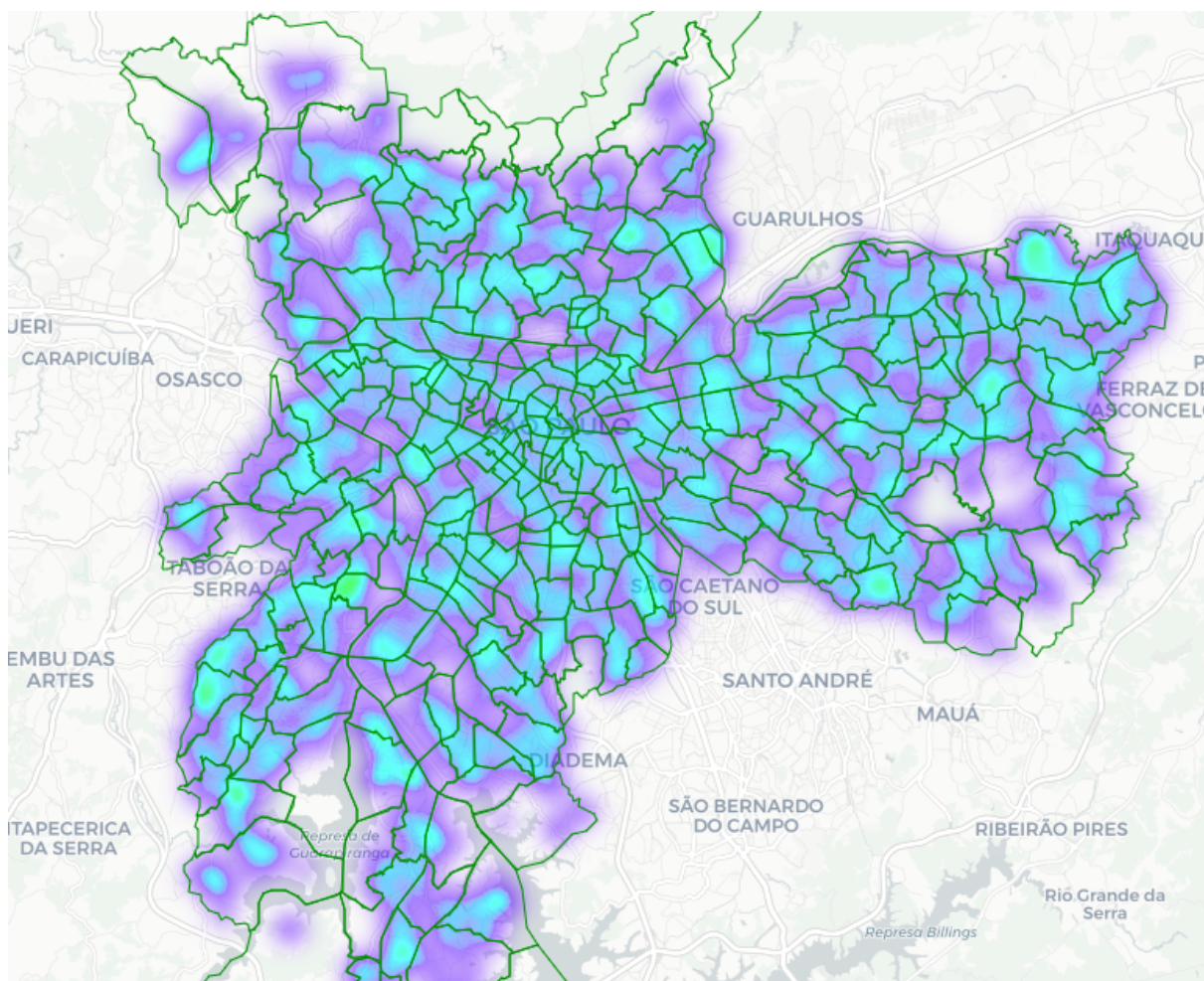
Inicialmente, foram criados mapas coropléticos e de calor para aprofundar o conhecimento sobre os deslocamentos dos pedestres na RMSP e na cidade de SP.

Foi gerado um mapa de calor dos pontos de origem dos pedestres na cidade de São Paulo, apresentado na Figura 23. Observa-se que os pontos de origem estão bem distribuídos, com maior concentração tanto nas regiões centrais quanto nas periferias da cidade.

Em seguida, foram construídos mapas coropléticos para representar as origens dos deslocamentos a pé em diferentes níveis de granularidade espacial: municípios, distritos e zonas OD.

O primeiro conjunto de mapas coropléticos (Figuras 24 e 25) apresenta a proporção de origens de pedestres em cada região, em relação ao total de origens

Figura 23 – Mapa de Calor das Origens dos Pedestres



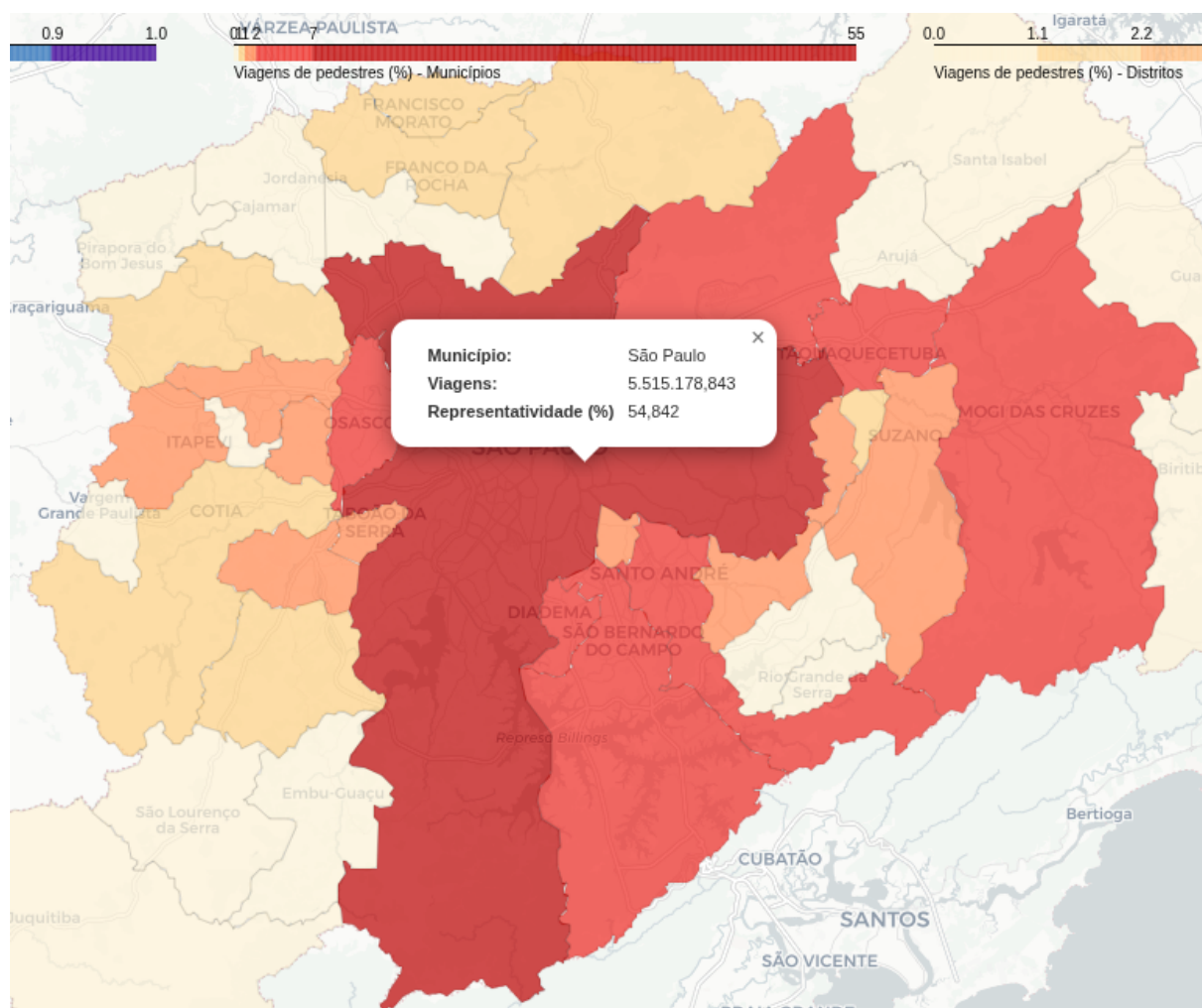
Fonte: Elaborada pelo autor.

da respectiva escala. Em nível municipal, verificou-se que a cidade de São Paulo concentra a maioria significativa dos deslocamentos, representando aproximadamente 55% das origens, seguida por Guarulhos com 6%. Quando analisados os distritos, os maiores percentuais foram identificados em São Bernardo do Campo e Guarulhos, que juntos correspondem a 10% das viagens a pé na RMSP.

A análise espacial, ilustrada nas Figuras 24 e 25, foi aprofundada para os distritos e zonas OD do município de São Paulo. De acordo com as Figuras 26 e 27, as maiores participações de pedestres concentram-se nas periferias, evidenciando a relevância dessas áreas para a mobilidade ativa.

Na granularidade de distritos, Jardim Ângela, Grajaú, Itaim Paulista, Cidade Tiradentes e Capão Redondo destacam-se, como apresentado pela Tabela 1. Estes somam cerca de 8% da participação total de viagens de pedestres na cidade de São Paulo. Já na escala de zonas OD, Cidade Tiradentes volta a se destacar com o maior percentual de viagens (1,011%), seguida por Parada de Taipas e Parelheiros, de acordo

Figura 24 – Origens de Pedestres por Município (RMSP)



Fonte: Elaborada pelo autor.

com a Tabela 2.

Tabela 1 – Distritos com mais viagens de pedestres em SP

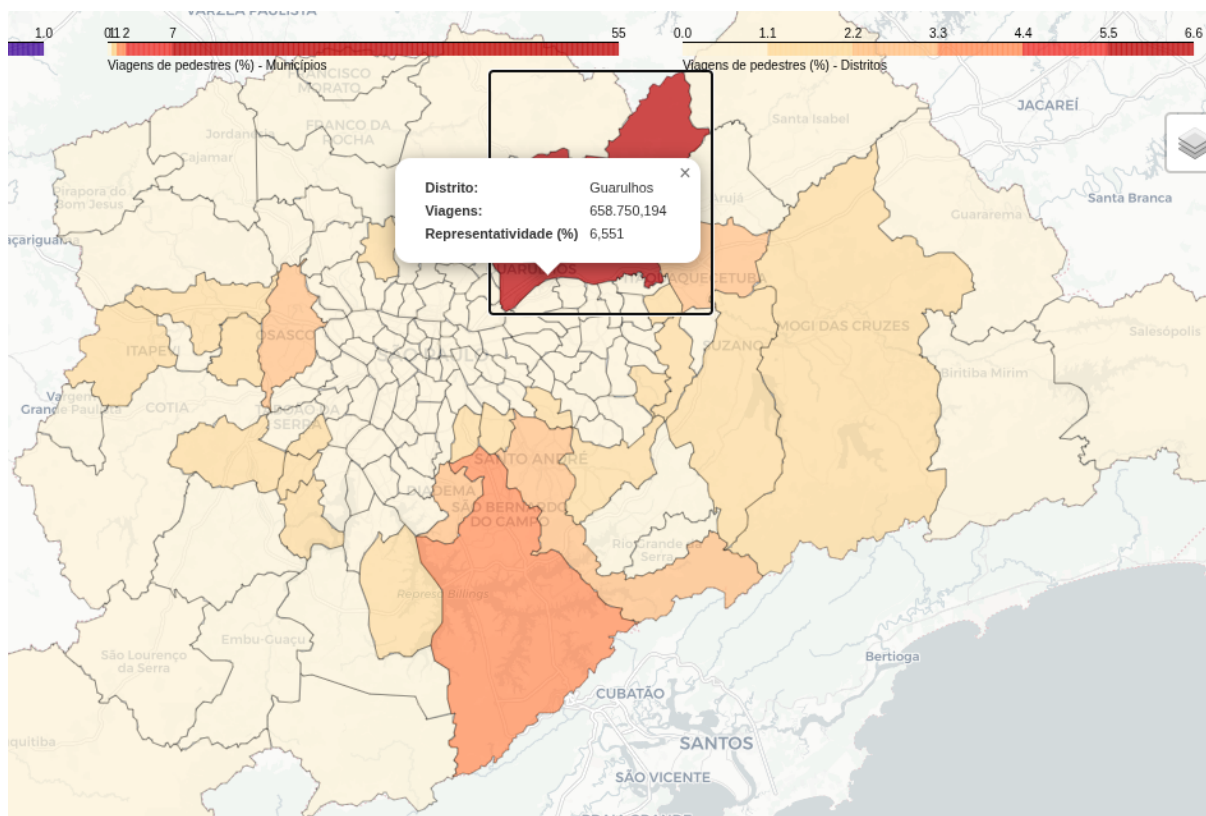
Distrito	Total de Viagens	Pedestres em relação a SP inteira
Capão Redondo	135.232,289	1,345%
Cidade Tiradentes	146.260,503	1,454%
Grajaú	167.952,313	1,670%
Itaim Paulista	163.336,586	1,624%
Jardim Ângela	175.618,138	1,746%

Fonte: Elaborada pelo autor.

Expandindo a análise espacial, foram criados mapas coropléticos que expressam o percentual de viagens a pé em relação aos outros meios da mesma região, assim observou-se quais áreas de São Paulo têm o meio a pé como seu principal.

Verificou-se que, como mostram as Figuras 28 e 29, as regiões periféricas

Figura 25 – Origens de Pedestres por Distrito (RMSP)



Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 2 – Zonas OD com mais viagens de pedestres em SP

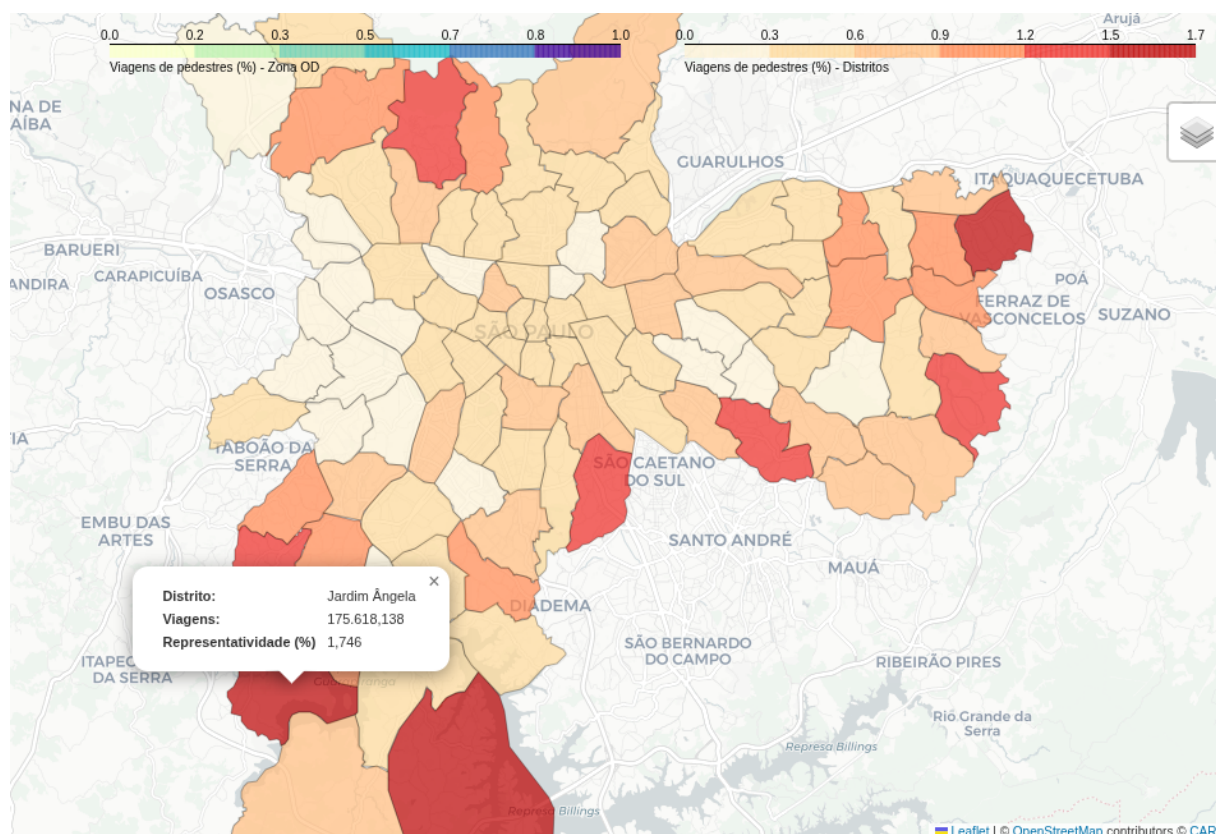
Zona OD	Total de Viagens	Pedestres em relação a SP inteira
Cachoeirinha	67.344,056	0,670%
Cidade Tiradentes	101.638,786	1,011%
Jardim Miriam	72.212,319	0,718%
Parada de Taipas	90.704,835	0,902%
Parelheiros	76.860,453	0,764%

Fonte: Elaborada pelo autor.

possuem grande destaque nessa análise também. Além de possuírem grande parte das viagens de pedestres da cidade, o meio a pé é um dos seus principais meios de transporte.

Alguns distritos e zonas OD que se destacam pelos seus percentuais altos de viagens de pedestres em relação aos outros meios são, Vila Curuçá, Itaim Paulista, Cidade Tiradentes, São Rafael e Morro do Índio, dos quais alguns tornaram-se objetos de estudo do presente trabalho sobre a relação viagens de pedestres e a estrutura viária local existente. As Tabelas 3 e 4 apresentam os cinco distritos e zonas OD com maiores percentuais segundo esse quesito discutido.

Figura 26 – Origens de Pedestres por Distrito (SP)



Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 3 – Distritos com maior percentual de pedestres em relação a outros meios

Distrito	Total de Viagens	% de viagens a pé
Cidade Tiradentes	146.260,503	47,620%
Itaim Paulista	163.336,586	45,957%
Lajeado	100.509,294	45,396%
São Rafael	79.496,341	47,439%
Vila Curuçá	103.446,016	44,220%

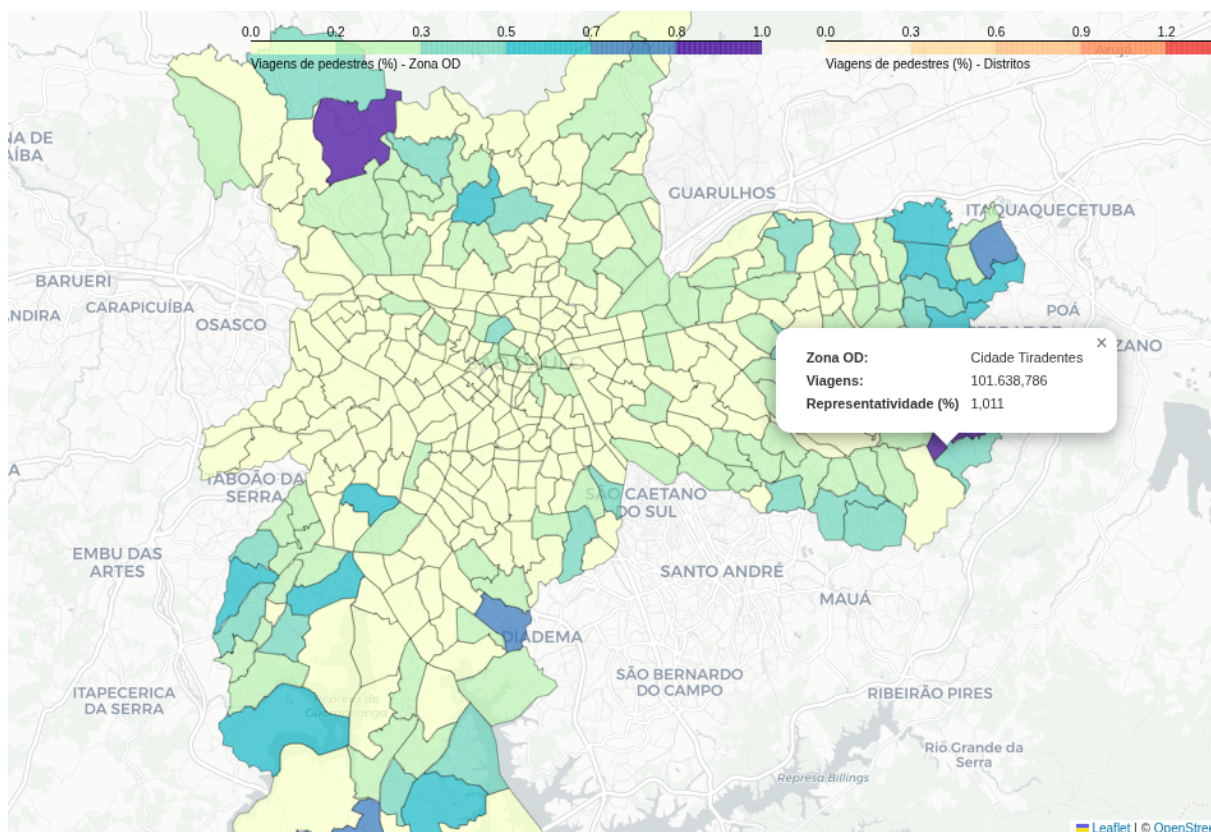
Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 4 – Zonas OD com maior percentual de pedestres em relação a outros meios

Zona OD	Total de Viagens	% de viagens a pé
Fazenda Itaim	67.169,282	51,041%
Juscelino Kubitschek	31.150,918	50,515%
Lajeado	44.502,920	55,669%
Morro do Índio	18.775,839	58,763%
Vila Curuçá	60.049,926	56,433%

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 27 – Origens de Pedestres por Zona OD (SP)



Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 29 ilustra que a zona OD USP Leste I possui o maior percentual de viagens a pé em relação ao total de suas viagens, cerca de 83%. Porém o número total de viagens que ocorreram nessa área é baixo, aproximadamente 7.200 viagens, logo essa zona OD pode ser considerada um caso de *outlier*.

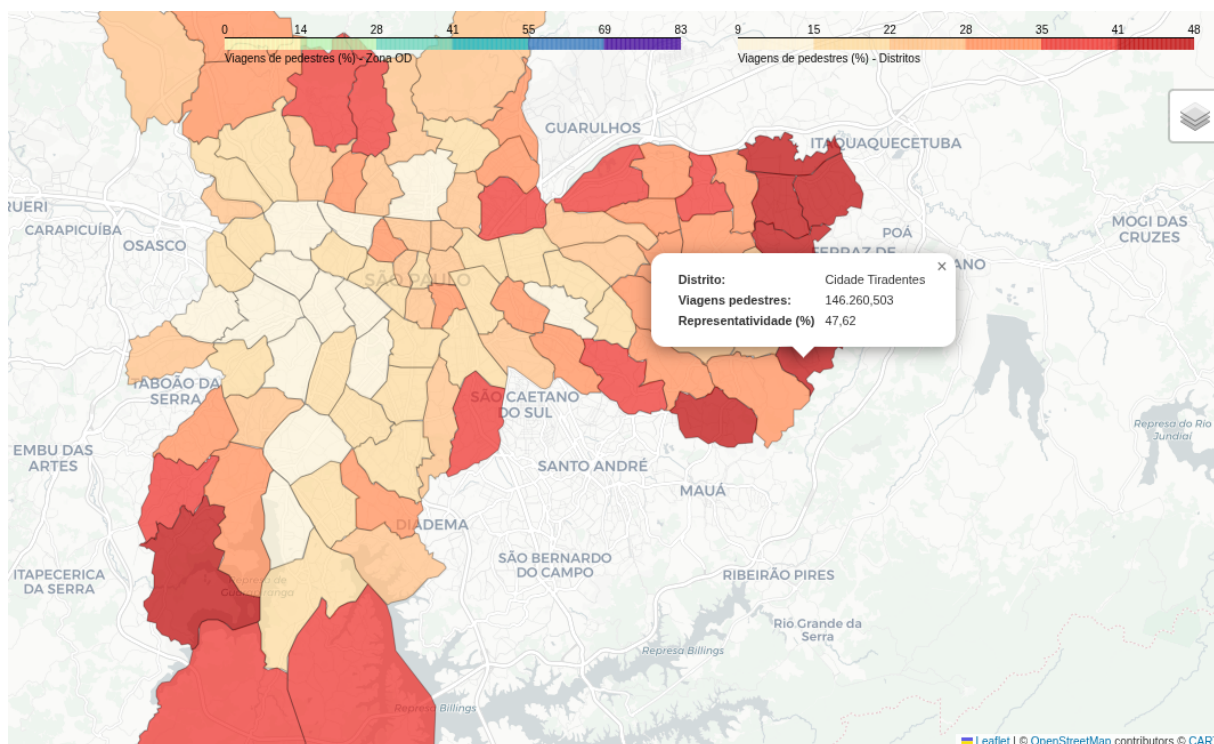
Finalmente, analisou-se a relação entre as calçadas existentes e o volume de viagens a pé originadas nas zonas OD de Cidade Tiradentes, Fazenda Itaim e Vila Curuçá, selecionadas por apresentarem elevados percentuais de deslocamentos a pé e alta participação desse modo em relação aos demais meios de transporte, conforme apresentado anteriormente.

Na zona OD da Vila Curuçá, que contabiliza aproximadamente 60.000 viagens, sendo 56,43% realizadas a pé, observou-se que 18,13% das viagens de pedestres têm origem na Rua Ponta da Pinheira, conforme ilustrado nas Figuras 30 e 31.

Em Cidade Tiradentes, que registra cerca de 100.000 viagens, das quais 47,96% são a pé, a Rua Quinta Sinfonia destaca-se com o maior percentual de origens de viagens de pedestres, atingindo 5,27%, como demonstram as Figuras 32 e 33.

Por sua vez, a zona OD da Fazenda Itaim apresenta um total de 67.000 viagens, sendo aproximadamente 51% realizadas a pé. Nessa região, a Rua Manuel Rodrigues

Figura 28 – Pedestres vs Outros Meios de Transporte por Distritos (SP)



Fonte: Elaborada pelo autor.

Santiago concentra 8,79% das origens de viagens de pedestres, configurando-se como o principal logradouro de partida, conforme evidenciado nas Figuras 34 e 35.

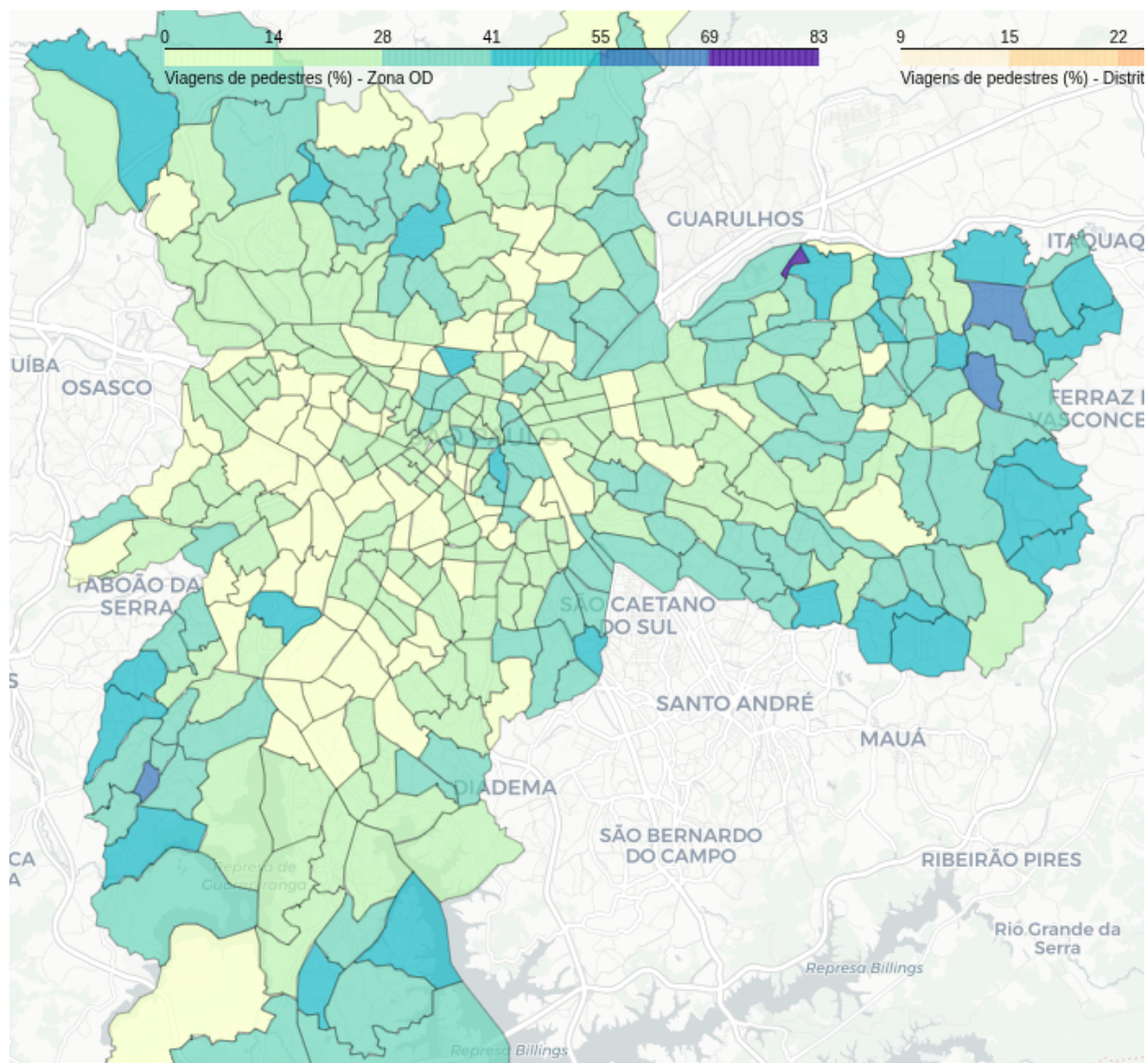
A Tabela 5 sintetiza os logradouros das zonas OD destacados e respectivos percentuais de origens de viagens de pedestres. Esses locais representam potenciais áreas prioritárias para intervenções e melhorias na infraestrutura viária, visto que concentram significativa parcela das viagens a pé em zonas OD de alto volume de deslocamentos.

Tabela 5 – Logradouros com mais origens de pedestres

Zona OD	Logradouro	% pedestres da zona
Cidade Tiradentes	R Quinta Sinfonia	5,27%
Fazenda Itaim	R Manuel Rodrigues Santiago	8,79%
Vila Curuçá	R Ponta da Pinheira	18,13%

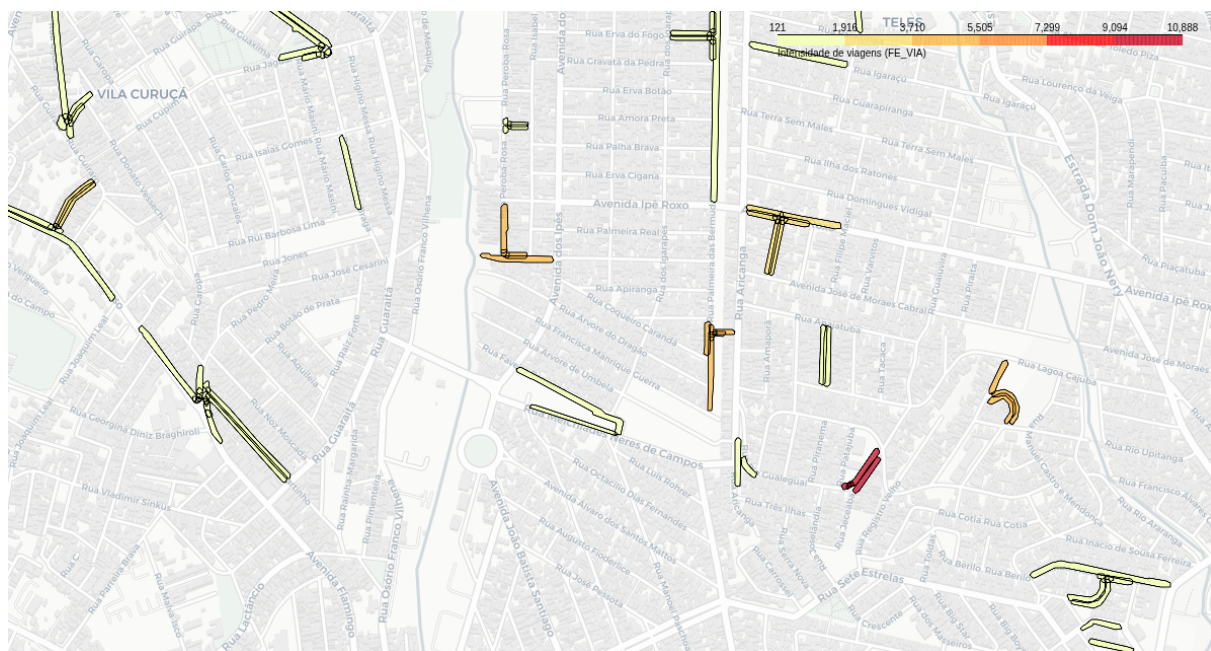
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 29 – Pedestres vs Outros Meios de Transporte por Zonas OD (SP)



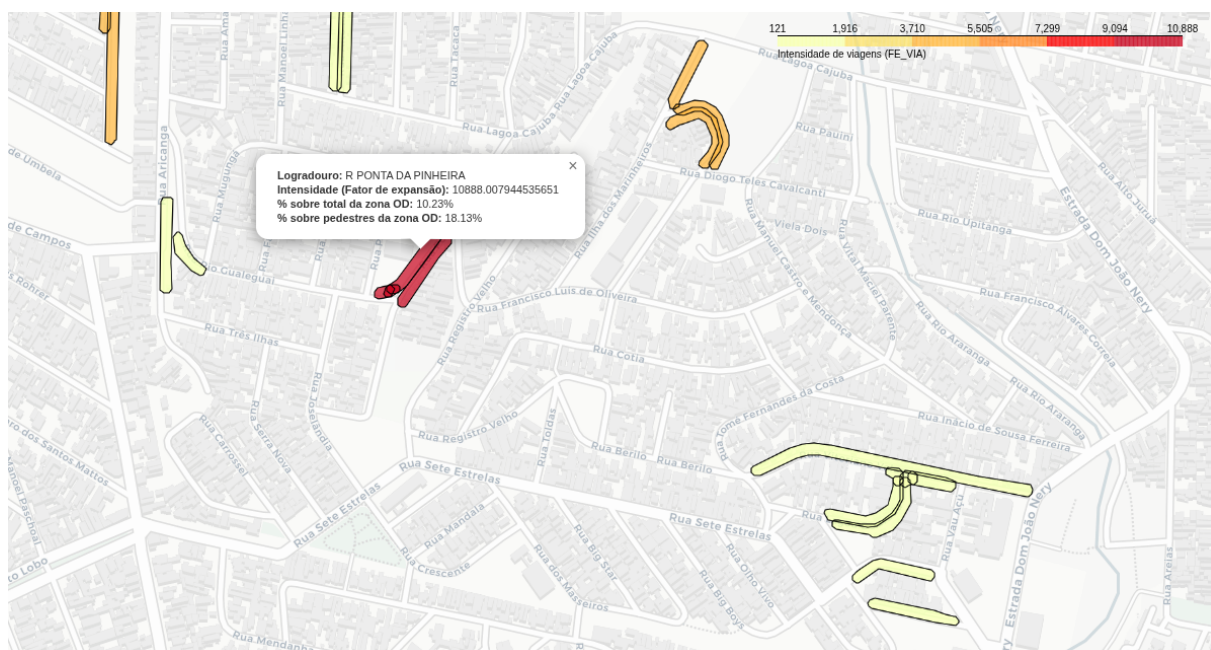
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 30 – Calçadas com Origens de Pedestres na Vila Curuçá



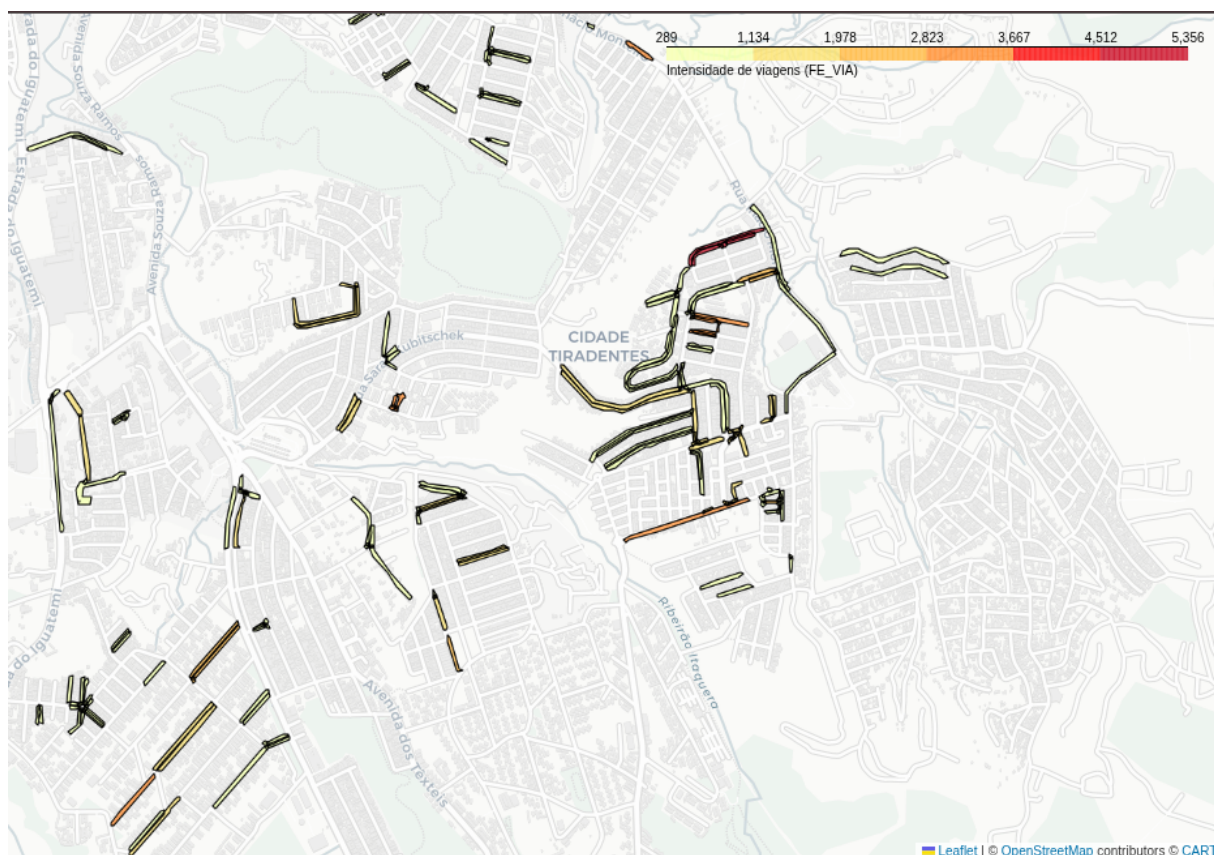
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 31 – Rua Ponta da Pinheira - Vila Curuçá



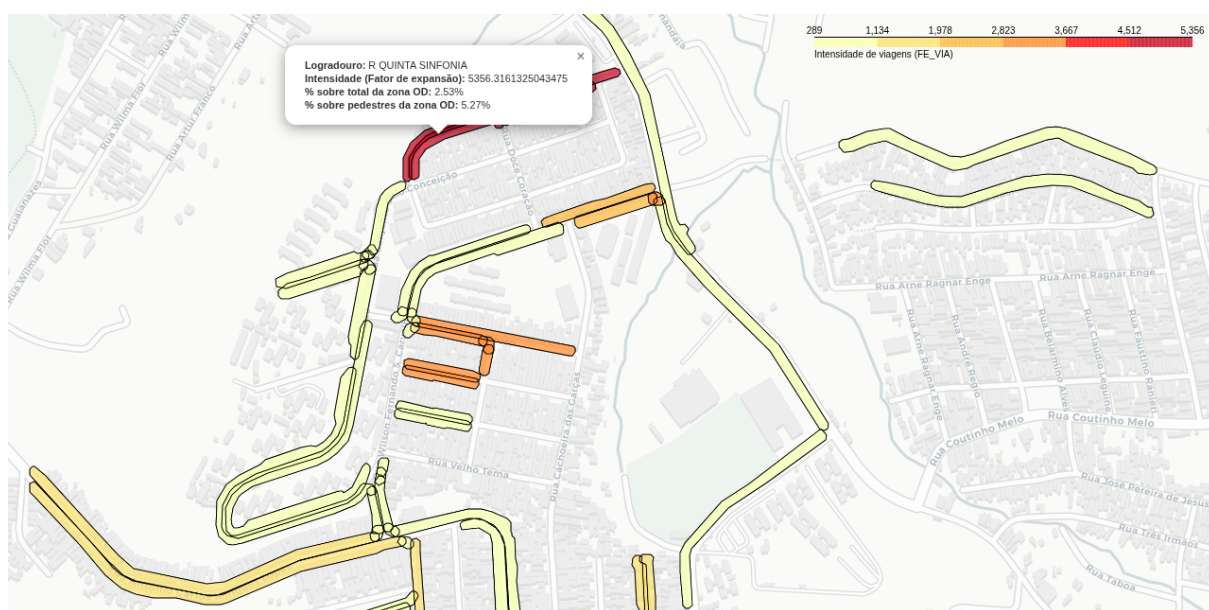
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 32 – Calçadas com Origens de Pedestres na Cidade Tiradentes



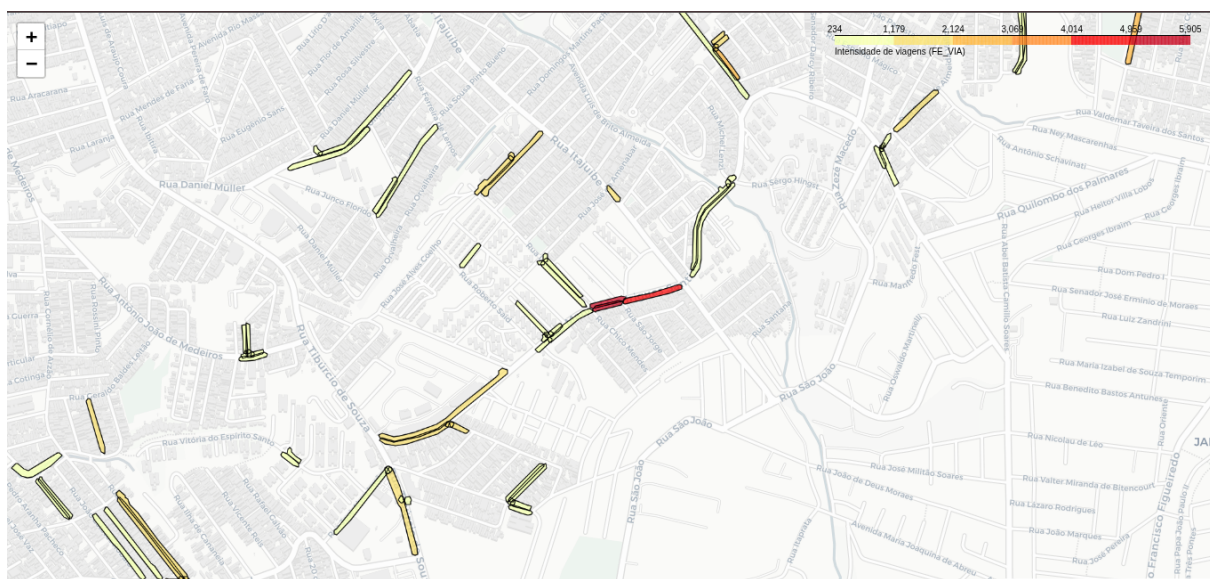
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 33 – Rua Quinta Sinfonia - Cidade Tiradentes



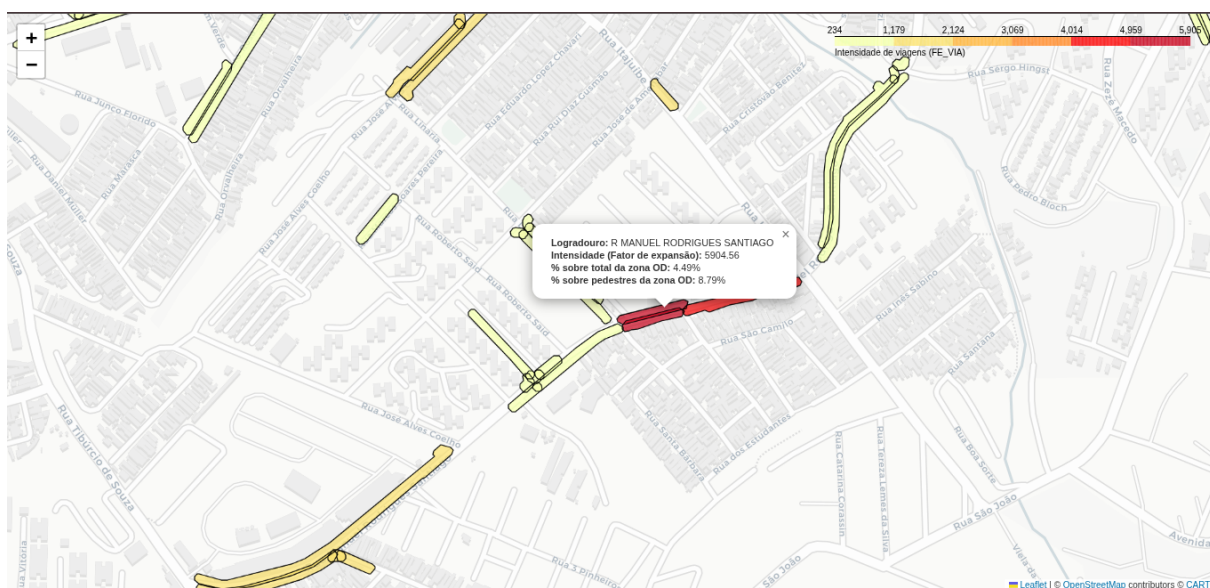
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 34 – Calçadas com Origens de Pedestres na Fazenda Itaim



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 35 – Rua Manuel Rodrigues Santiago - Fazenda Itaim



Fonte: Elaborada pelo autor.

5 Conclusão

O presente trabalho demonstrou o potencial da Ciência de Dados como ferramenta de apoio à formulação de políticas públicas voltadas à mobilidade urbana sustentável.

A partir de análises das edições da Pesquisa Origem e Destino e de dados geográficos do portal GeoSampa, foi possível identificar padrões relevantes sobre o deslocamento de pedestres na cidade de São Paulo e compreender de que forma fatores socioeconômicos e espaciais influenciam a mobilidade a pé. As análises realizadas mostraram que o meio pedestre permanece expressivo, especialmente em regiões periféricas, onde o transporte público é menos acessível e as condições de infraestrutura urbana ainda são precárias.

Os resultados evidenciaram que variáveis como renda, grau de instrução e motivo da viagem estão intimamente relacionadas às escolhas de deslocamento. A alta concentração de viagens a pé em áreas com menor renda e infraestrutura deficiente reforça a necessidade de políticas públicas que priorizem investimentos em calçadas, iluminação, acessibilidade e segurança viária.

Então, este estudo reforça a importância de integrar análises quantitativas e espaciais à gestão pública, promovendo decisões baseadas em evidências.

Finalmente, trabalhos futuros podem aprofundar as análises aqui apresentadas, explorando novas dimensões e fontes de informação, como:

- aprofundar as análises da Pesquisa OD, investigando relações como faixas horárias, evoluções temporais e impactos da pandemia de Covid-19 na mobilidade;
- cruzar os dados da OD com registros de reclamações de cidadãos disponíveis no portal SP156, a fim de identificar demandas e percepções dos cidadãos sobre infraestrutura urbana; e
- incorporar dados de acidentes e ocorrências de trânsito, ampliando a compreensão sobre os riscos e vulnerabilidades enfrentados pelos pedestres.

Referências

BOARETO, R. A política de mobilidade urbana e a construção de cidades sustentáveis. *Revista dos Transportes Públicos-ANTP*, v. 30, p. 31–2008, 2008. Disponível em: <http://www.fetranspordocs.com.br/downloads/10APoliticaConstrucaoCidadesSustentaveis.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2025.

BRASIL. *Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012: Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana e dá outras providências*. 2012. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 4 jan. 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12587.htm. Acesso em: 29 out. 2025.

CARVALHO, M. L. d.; FREITAS, C. M. d. Pedalando em busca de alternativas saudáveis e sustentáveis. *Ciência & Saúde Coletiva*, SciELO Public Health, v. 17, p. 1617–1628, 2012. Disponível em: https://www.scielo.org/article/ssm/content/raw/?resource_ssm_path=/media/assets/csc/v17n6/v17n6a24.pdf. Acesso em: 28 out. 2025.

Companhia do Metropolitano de São Paulo. *Pesquisa Origem e Destino 2023: Região Metropolitana de São Paulo*. São Paulo, 2025. Disponível em: <http://www.metro.sp.gov.br/pesquisa-od/>. Acesso em: 25 mar. 2025.

DHAR, V. Data science and prediction. *Communications of the ACM*, ACM New York, NY, USA, v. 56, n. 12, p. 64–73, 2013. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/2500499>. Acesso em: 25 mar. 2025.

DUARTE, L. F.; FRANCO, P. R. de A.; MATSUOKA, C. F.; STUCHI, S.; PAULINO, S. Mobilidade urbana sustentável com ênfase em mobilidade ativa no entorno escolar. *Journal of Sustainable Urban Mobility*, v. 2, n. 1, p. 01–12, 2022. Disponível em: <https://scholar.archive.org/work/wly4pldd5rflbteilrue67zwe/access/wayback/https://ipmmu.com.br/josum/article/download/6/3>. Acesso em: 28 out. 2025.

GUEDES, T. A.; MARTINS, A. B. T.; ACORSI, C. R. L.; JANEIRO, V. Estatística descritiva. *Projeto de ensino aprender fazendo estatística*, sn, v. 1, p. 1–49, 2005. Disponível em: https://www.ime.usp.br/~rvicente/Guedes_etal_Estatistica_Descritiva.pdf. Acesso em: 16 Outubro 2025.

JORDAHL, K. Geopandas documentation. URL: <http://sethc23.github.io/wiki/Python/geopandas.pdf>. Download vom, v. 26, p. 2022, 2016. Disponível em: <https://media.readthedocs.org/pdf/geopandas-doc/latest/geopandas-doc.pdf>. Acesso em: 14 Outubro 2025.

LOPES, G. R.; PELARIGO, K. J.; DELBEM, A.; SOUSA, J. B. de. Análise exploratória de dados espaciais com python. *Sociedade Brasileira de Computação*, 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Gesiel-Lopes/publication/363484284_Analise_Exploratoria_de_Dados_Espaciais_com_Python. Acesso em: 18 Outubro 2025.

MAGAGNIN, R. C. Cidades acessíveis: o planejamento da infraestrutura para a circulação de pedestres. *Maria Solange G. de C. Fontes, Norma Regina T. Constantino*

e Luis Cláudio Bittencourt (Org.). *Arquitetura e urbanismo: novos desafios para o século XXI*. Canal, v. 6, 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Renata-Magagnin/publication/312190622_Arquitetura_e_Urbanismo_novos_desafios_para_o_seculo_XXI_CIDADES_ACESSIVEIS_O_PLANEJAMENTO_DA_INFRAESTRUTURA_PARA_A_CIRCULACAO_DE_PEDESTRES. Acesso em: 25 mar. 2025.

MCKINNEY, W. pandas: a foundational python library for data analysis and statistics. *Python for high performance and scientific computing*, Dallas, TX, v. 14, n. 9, p. 1–9, 2011. Disponível em: https://www.academia.edu/download/117768488/pyhpc2011_submission_9.pdf. Acesso em: 14 Outubro 2025.

NADIKATTU, R. R. Research on data science, data analytics and big data. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING, SCIENCE AND INFORMATIONAL TECHNOLOGY*, v. 9, n. 5, p. 99–105, 2020. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3622844. Acesso em: 25 mar. 2025.

OZMEN, E. Event density visualization with python folium library for public complaint management: An application with 311 calls. *Research & Reviews in Science and Mathematics-I*, 2021. Disponível em: https://www.gecekitapligi.com/Webkontrol/uploads/Fck/sciences1_1.pdf#page=47. Acesso em: 14 Outubro 2025.

PILOTTO, A. S.; NOVASKI, M. A. d. M. Indicadores de mobilidade urbana na rmisp a partir da pesquisa od-metrô. *Cadernos Metrópole*, SciELO Brasil, v. 25, p. 229–254, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cm/a/CQZs4RBzJkRWDrXXb9SBg3H/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 29 out. 2025.

PITOMBO, C. S. *Análise do comportamento subjacente ao encadeamento de viagens através do uso de minerador de dados*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Cira-Pitombo-2/publication/267702742_ANALISE_DO_COMPORTAMENTO_SUBJACENTE_AO_ENCADEAMENTO_DE_VIAGENS_ATRAVES_DO_USO_DE_MINERADOR_DE_DADOS. Acesso em: 29 out. 2025.

SIAL, A. H.; RASHDI, S. Y. S.; KHAN, A. H. Comparative analysis of data visualization libraries matplotlib and seaborn in python. *International Journal*, v. 10, n. 1, p. 277–281, 2021. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/65736020/ijatcse391012021.pdf>. Acesso em: 14 Outubro 2025.

TEODORO, T. W. O potencial dos dados do geosampa no cumprimento dos objetivos de desenvolvimento sustentável relacionados à saúde e bem-estar e cidades e comunidades sustentáveis. Florianópolis, SC., 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/264116>. Acesso em: 29 out. 2025.

VASCONCELLOS, E. A. d. *Transporte urbano, espaço e equidade: análise das políticas públicas*. São Paulo: Annablume, 2005. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=fp7HJrZZ_qMC&oi=fnd&pg=PA11&dq=Transporte+urbano,+espa%C3%A7o+e+equidade:+an%C3%A1lise+das+pol%C3%ADticas+p%C3%BAblicas&ots=ka1PS8KFE1&sig=prlcEPsbOjOKBSUn8AW5FBMLOhA. Acesso em: 29 out. 2025.

World Health Organization. *Global action plan on physical activity 2018-2030: more active people for a healthier world*. World Health Organization, 2019. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241514187>. Acesso em: 29 out. 2025.