

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Alice Lopes Moriamez

Amanda Bandeira Klapper

**Avaliação do impacto das emissões veiculares na saúde pública no
município de São Paulo**

São Paulo

2017

Alice Lopes Moriamez
Amanda Bandeira Klapper

**Avaliação do impacto das emissões veiculares na saúde pública no
município de São Paulo**

Versão original

Dissertação de Trabalho de Conclusão de Curso
apresentada à Escola Politécnica da USP (POLI-USP) para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil

Orientadora: Prof^a Mariana A. Giannotti

São Paulo
2017

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catalogação-na-publicação

Moriamez, Alice Lopes

Avaliação do impacto das emissões veiculares na saúde pública no município de São Paulo / A. L. Moriamez, A. B. Klapper -- São Paulo, 2017.
89 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes.

1. Veículos [indicadores] 2. Poluição atmosférica [diagnóstico] {São Paulo (SP)} I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Transportes II. t. III. Klapper, Amanda Bandeira

Nome: MORIAMEZ, Alice Lopes; KLAPPER, Amanda Bandeira
Título: Avaliação do impacto das emissões veiculares na saúde pública
no município de São Paulo

Dissertação de Trabalho de Conclusão de Curso
apresentada à Escola Politécnica da USP (POLI-USP) para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil

Aprovado em: ____/____/_____

Banca Examinadora

Prof. Mariana A. Giannotti

Gabriel Feriancic

Eduardo Barbosa Germani

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à nossos familiares, amigos e professores da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Agradecimento especial para os que auxiliaram o desenvolver deste trabalho: Mariana Giannotti, Eduardo Barbosa Germani, Diego Bogado Tomasiello, Leonardo Godoy, Claudia Soares Machado, Sergio Ibarra Espinosa, Hugo Pietrantonio, João Cucci e Vicente Alves.

RESUMO

MORIAMEZ, Alice Lopes; KLAPPER, Amanda Bandeira. **Avaliação do impacto das emissões veiculares na saúde pública no município de São Paulo.** 2017. Dissertação de Trabalho de Conclusão de Curso para título de Bacharel em Engenharia Civil - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

Neste trabalho buscou-se a correlação entre fluxo veicular e diagnósticos relacionados à poluição atmosférica. Foram abordados conceitos de fluxo de veículos, analisadas maneiras de cálculo de fluxo na literatura e elaborado um indicador de fluxo. O indicador de fluxo tem como finalidade a caracterização da distribuição espacial das tendências de tráfego nas vias, podendo diferir dos valores reais porém mantendo a proporcionalidade entre as vias comparativas. A elaboração do indicador de fluxo teve como base as características do sistema viário e as velocidades de veículos rastreados. A análise dos diagnósticos foi estruturada por meio de setores censitários através do cálculo da taxa de incidência dentro dos habitantes do setor. A correlação espacial foi obtida pela análise de "clusters" de setores censitários, dos distritos de Cidade Tiradentes e Pinheiros, do município de São Paulo, com a atribuição de um indicador de fluxo e de uma taxa de diagnósticos relacionadas à poluição veicular, permitindo a identificação de setores dentro do distrito em que há a combinação de valores altos do indicador de fluxo e alta taxa de diagnóstico.

Palavras-chave: 1.Veículos [indicadores] 2.Poluição atmosférica [diagnóstico] 3.Fluxo de tráfego {São Paulo (SP)}

ABSTRACT

MORIAMEZ, Alice Lopes; KLAPPER, Amanda Bandeira. **Avaliação do impacto das emissões veiculares na saúde pública no município de São Paulo.** 2017. Dissertação de Trabalho de Conclusão de Curso para título de Bacharel em Engenharia Civil - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

This work has the purpose of finding the correlation between traffic flow and diagnostics related to air pollution. The concepts studied and analysed were traffic flow and the methods of calculating vehicle flow in other studies along with the proposition of a traffic flow index. The traffic flow index has the goal of highlighting the spatial trend of traffic on the roads, which means it can vary from the actual flow observed on the road but still maintain its proportionality on a group of roads. The traffic flow index is based on the characteristics of the roads and in the tracked vehicles speed. The diagnostics analysis was structured by census sectors through the incidence rate of the diseases related to traffic emissions on inhabitants. The spatial correlation was obtained by the analysis of sector clusters on the districts Cidade Tiradentes e Pinheiros of São Paulo, with the association of a flow index and the diagnostics related to air pollution rate it was possible to identify the sectors within districts where there is a combination of high traffic index flow and high incidence rate.

Key words: 1. Vehicles [indicators] 2. Atmospheric pollution [diagnosis] 3. Traffic flow {São Paulo (SP)}

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	16
1.1 Organização do trabalho	17
2. OBJETIVOS	18
3. CÁLCULO DO FLUXO DE VEÍCULOS	19
3.1 Fluxo de veículos e conceitos correlatos	19
3.1.1 Fluxo de saturação	19
3.1.2 Tempos da semaforização	23
3.1.2.1 Tempo perdido	23
3.1.2.2 Tempo de verde real e efetivo	23
3.1.2.3 Tempo de ciclo	24
3.1.3 Capacidade	24
3.1.4 Fluxo	25
3.1.5 Classificação das vias do OpenStreetMap	25
3.1.5.1 Motorway	25
3.1.5.2 Trunk	25
3.1.5.3 Primary	25
3.1.5.4 Secondary	25
3.1.5.5 Tertiary	26
3.1.5.6 Residential	26
3.1.5.7 Links	26
3.2 Fórmula do fluxo para movimento ininterrupto	26
3.3 Função BPR	27
4. POLUIÇÃO VEICULAR E SEU IMPACTO NA SAÚDE	30
5. MÉTODOS	33
5.1 Seleção dos dados	35
5.2 Escolha das áreas - critérios utilizados	38
5.3 Determinação da fórmula do indicador de fluxo	45
5.4 Determinação das constantes da fórmula da BPR	46
5.5 Cálculo da capacidade	47
5.4.1 Fluxo de Saturação	47
5.4.1 Taxa de verde efetivo	50
5.6 Associação com dados de saúde pública	54
5.7 Análises espaciais	55
5.8 Análise de associação espacial	58
6. RESULTADOS	60

6.1 Comparação com a fórmula BPR	60
6.2 Resultados individuais	64
6.3 Resultados comparativos	76
7. CONCLUSÕES	82
7.1 O indicador de fluxo e a relação com doenças relacionadas à poluição veicular	82
7.2 Proposições	83
8. REFERÊNCIAS	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema da metodologia utilizada no Trabalho Final II	34
Figura 2 - Índice paulista de vulnerabilidade social (IPVS)	39
Figura 3 - Mapa de tempo de deslocamento por região	41
Figura 4 - Mapa dos distritos de São Paulo com destaque em Pinheiros e Cidade Tiradentes	42
Figura 5 - Mapa das densidades populacionais dos distritos de Pinheiros e Cidade Tiradentes	43
Figura 6 - Mapa de cobertura vegetal de Pinheiros e Cidade Tiradentes	44
Figura 7 - Malha Viária Pinheiros e Cidade Tiradentes	45
Figura 8 - Semáforos do distrito de Cidade Tiradentes	51
Figura 9 - Semáforos do distrito de Pinheiros	52
Figura 10 - Vias no distrito de Cidade Tiradentes.....	55
Figura 11 - Vias do distrito de Pinheiros.....	56
Figura 12 - Veículos rastreados no distrito de Cidade Tiradentes	57
Figura 13 - Veículos rastreados no distrito de Pinheiros	58
Figura 14 - Gráfico de frequência da razão Indicador de Fluxo/Fluxo BPR para	

Pinheiros	61
Figura 15 - Gráfico de frequência da razão Indicador de Fluxo/Fluxo BPR para Cidade Tiradentes.....	62
Figura 16 - Indicador de Fluxo e Fluxo segundo a fórmula da BPR nas vias de Cidade Tiradentes.....	63
Figura 17 - Indicador de Fluxo e Fluxo segundo a fórmula da BPR nas vias de Pinheiros.....	63
Figura 18 - Mapa com indicadores de fluxo de Cidade Tiradentes	64
Figura 19 - Mapa com indicadores de fluxo de Pinheiros	65
Figura 20 - Mapa de significância LISA de indicadores de fluxo do distrito de Cidade Tiradentes	66
Figura 21 - Mapa de significância LISA de indicadores de fluxo de Pinheiros	66
Figura 22 - Dispersão Moran's I de indicadores de fluxo no distrito de Cidade Tiradentes	67
Figura 23 - Dispersão Moran's I de indicadores de fluxo de Pinheiros	68
Figura 24 - Mapa de clusters LISA de indicadores de fluxo do distrito de Cidade Tiradentes	69
Figura 25 - Mapa de clusters LISA de indicadores de fluxo de Pinheiros	70
Figura 26 - Diagnósticos relacionados à poluição atmosférica no distrito de Cidade Tiradentes	71

Figura 27 - Diagnósticos relacionados à poluição atmosférica no distrito de Pinheiros.....	71
Figura 28 - Taxa de diagnósticos por doenças relacionadas à poluição atmosféricas no distrito de Cidade Tiradentes.....	72
Figura 29 - Taxa de diagnósticos por doenças relacionadas à poluição atmosféricas no distrito de Pinheiros.....	73
Figura 30 - Mapa de significância LISA de taxa de diagnósticos de Cidade Tiradentes.....	74
Figura 31 - Mapa de significância LISA de taxa de diagnósticos do distrito de Pinheiros.....	74
Figura 32 - Mapa de clusters LISA de taxa de diagnósticos do distrito de Cidade Tiradentes.....	75
Figura 33 - Mapa de clusters LISA de taxa de diagnósticos de Pinheiros	75
Figura 34 - Mapa de indicadores de fluxo e taxa de diagnósticos em Cidade Tiradentes	76
Figura 35 - Mapa de indicadores de fluxo e taxa de diagnósticos no distrito de Pinheiros	77
Figura 36 - Mapa de significância LISA Bivariate de indicadores de fluxo e de taxa de diagnósticos de Cidade Tiradentes	78
Figura 37 - Mapa de significância LISA Bivariate de indicadores de fluxo e de taxa de diagnósticos de Pinheiros	79

Figura 38 - Mapa de clusters LISA Bivariate de indicador de fluxo e taxa de internação em Cidade Tiradentes	80
Figura 39 - Mapa de clusters LISA Bivariate de indicador de fluxo e taxa de internação em Pinheiros	81

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Fluxo de saturação básico pelo método de Webster	20
Tabela 2 - Fatores de equivalência por tipo de veículo	21
Tabela 3 - Parâmetros α e β da função BPR para diferentes tipos de via.....	28
Tabela 4 - Valores estimados para α , β e γ para a fórmula do BPR	29
Tabela 5 - Síntese dos dados do Sistema Viário de São Paulo.....	36
Tabela 6 - Síntese dos dados de rastreamento de veículos	36
Tabela 7 - Síntese dos dados de Saúde Pública	37
Tabela 8 - Grupos de vulnerabilidade social	40
Tabela 9 - Volumes de serviço para vias urbanas por nível de serviço, classe e número de faixas	48
Tabela 10 - Características das classes.....	48
Tabela 11 - Associação velocidade de fluxo livre com velocidade limite da via .	49
Tabela 12 - Fluxo de saturação por velocidade e número de faixas.....	50

Tabela 13 - Informações de semáforos de Cidade Tiradentes	51
Tabela 14 - Dados dos semáforos coletados em campo	53
Tabela 15 - Taxa de verde média por tipo de via dos dados coletados	53

1. INTRODUÇÃO

O município de São Paulo teve em 2016 uma população estimada em 12 milhões de habitantes em uma área de aproximadamente 1500 km² segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Frente as proporções da metrópole paulista há um maior tempo de deslocamento de seus habitantes, maior tráfego de veículos e maior movimento pendular entre o local de moradia e o local de trabalho.

Com a crescente necessidade de transporte e a falta de acompanhamento da oferta de transporte público, o transporte individual ganhou participação na mobilidade urbana, sendo que os automóveis representam 72% da frota municipal (DENATRAM, 2011).

A excessiva quantidade de veículos promove externalidades negativas como o maior tráfego, o maior tempo de deslocamento de seus habitantes, mais acidentes de trânsito e poluição. A poluição é um fator considerável de diversos problemas de saúde, sendo que segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS) 3,7 milhões de mortes no mundo foram atribuídas à poluição atmosférica em 2012. Tratando-se de São Paulo, 26% dos diagnósticos do sistema público de 2007 foram de doenças respiratórios relacionadas à poluição, segundo o Sistema Único de Saúde (SUS, 2007).

Alguns estudos têm analisado a influência do tráfego urbano e doenças correlatas. Almeida (2013) estudou a relação entre doenças respiratórias e o tráfego urbano no município de São Paulo. Para tal foram utilizadas metodologias de análise espacial como o cálculo do índice de Moran e análises de regressão espacial entre taxa de internação por doenças respiratórias e densidade de tráfego. Ribeiro (2011) estudou a exposição à poluição de ar, decorrente da densidade de tráfego, e relações entre internações hospitalares por tipos de câncer em São Paulo. Nas análises foram exploradas associações entre densidade de tráfego, Índice de Desenvolvimento Humano e internações hospitalares por tipos de câncer. Em ambos os estudos foram evidenciadas associações positivas entre a exposição ao material particulado decorrente da poluição do ar e os casos de internações das doenças estudadas.

O avanço tecnológico permitiu que uma grande quantidade de dados espaciais seja disponibilizado para a análise, por exemplo, de padrões de mobilidade a partir de dados de rastreamento de veículo e de pessoas a partir de dados captados pelo celular. Diante desse crescimento da quantidade de dados disponíveis, surgiu o conceito de *SmartCities* ou "Cidades Inteligentes" que utiliza dados para compreender os problemas da cidade, embasar simulações de previsões e servir como suporte à decisão para o delineamento de soluções para os problemas identificados.

Este projeto busca utilizar os dados de rastreamento de veículos no município de São Paulo para analisar a correlação dos fluxos veiculares com as internações por doenças respiratórias e, a partir disso, desenvolver mapas que delimitem zonas de risco na metrópole, servindo como base para propostas de planejamento urbano.

1.1 Organização do trabalho

Este trabalho está dividido em sete partes. Após esta introdução, uma seção trata do objetivo (seção 2), duas seções tratam sobre os princípios teóricos e técnicos (seções 3 e 4) que fundamentaram os métodos (seção 5) e análises dos resultados (seção 6). A seção 7 apresenta as conclusões do trabalho. Ao final há a lista de referências utilizadas (seção 8).

2. OBJETIVOS

Desenvolver método para a identificação de áreas de risco à saúde devido à poluição atmosférica decorrente de emissões veiculares, a partir de inferência de um indicador de fluxo calculado com base em grandes volumes de dado de rastreamento de veículos e características físicas das vias.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Desenvolver um indicador de fluxo de veículos a partir de dados de rastreamentos e buscar formas de atestar sua validade;
- Mapear a distribuição espacial dos indicadores de fluxos em duas áreas de estudo: Cidade Tiradentes e Pinheiros;
- Mapear a taxa de diagnósticos relacionados à poluição atmosférica em dois distritos de estudo: Cidade Tiradentes e Pinheiros;
- Analisar a correlação espacial entre o indicador de fluxo de veículos e a incidência de internações por doenças relacionadas à poluição veicular.

3. CÁLCULO DO FLUXO DE VEÍCULOS

Essa seção apresenta a fundamentação teórica sobre o cálculo de fluxo de veículos, base para os métodos de inferência do indicador de fluxo proposto neste trabalho. A seção está organizada em uma primeira parte introdutória abordando os conceitos utilizados (3.1), seguido pela seção que apresenta conceitos relacionados à fluxo de veículos (3.2), bem como a apresentação da fórmula para movimentos ininterruptos (3.3) e a fórmula BPR (3.4).

3.1 Fluxo de veículos e conceitos correlatos

Nessa seção são apresentados os conceitos e termos que serão utilizados ao longo deste trabalho.

3.1.1 Fluxo de saturação

Segundo o Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito - Volume V, o **fluxo de saturação** corresponde ao número máximo de veículos que poderia passar em uma aproximação controlada por sinalização semafórica, no caso dessa aproximação receber indicação verde durante uma hora inteira (CONTRAN, 2014), e portanto, sua unidade padrão é em veículos/hora.

O método de Webster, definido na apostila do Curso de Engenharia de Engenharia de Táfego da Universidade Federal de Santa Catarina (GOLDNER, s.d.), determina uma forma objetiva de cálculo do fluxo de saturação de uma via por meio do seguinte parâmetro:

Largura da via na aproximação (Sb):

$$Sb = 525 \times L \quad (1)$$

Em que:

S_b = Fluxo de saturação básico, em veículos por hora de tempo de verde (v/htv)
 L = Largura da via na aproximação (m)

Este resultado é válido para $5,5 < L < 18,0$ m. Para valores menores:

$L(m)$	3,0	3,3	3,6	3,9	4,2	4,5	4,8	5,2
$S(v/htv)$	1.850	1.875	1.900	1.950	2.075	2.250	2.475	2.700

Tabela 1 - Fluxo de saturação básico pelo método de Webster (Fonte: Apostila do Curso de Graduação em Engenharia Civil UFPR)

São determinados alguns fatores de ajustamento segundo as condições da via, apresentados abaixo.

- Presença de veículos estacionados (Fest):

Esse fator é utilizado porque o estacionamento de veículos provoca a perda da largura útil na linha de retenção.

$$F_{est} = \frac{L-p}{L} \quad (2)$$

Em que:

L = Largura da via na aproximação

p = perda da largura (m)

O cálculo de p é dado da seguinte forma:

$$p = 1,68 - 0,9 \left(\frac{Z-7,6}{k} \right) \quad (3)$$

Em que:

p = perda de largura (m)

Z = distância entre a linha de retenção e o primeiro veículo estacionamento (m)

k = tempo de verde dedicado à aproximação (s)

Condições:

$Z > 7,6$ m (valores menores adotam-se 7,6 m)

$p > 0$ (valores negativos a perda é igual a zero)

veículos pesados estacionados (aumentar 50%)

- Declividade (F_{dec})

É uma redução do fluxo de saturação em 3% para cada 1% de subida, no máximo de 10% e um aumento de 3% para cada 1% de descida, no máximo de 5%.

- Composição do tráfego (F_{eq})

É a relação entre o volume total de veículos e o volume de veículos equivalentes ou UVP (unidades de veículo padrão).

$$F_{eq} = \frac{V_t}{V_{eq}} \quad (4)$$

Em que:

V_t = volume total de veículos

V_{eq} = Volume equivalente de veículos, sendo igual ao volume de veículos de passeio + volume de caminhões médio ou pesado multiplicado pelo seu fator correspondente + volume de caminhões leves multiplicado pelo seu fator correspondente + volume de ônibus multiplicado pelo seu fator correspondente + volume de caminhões conjugados multiplicado pelo seu fator correspondente + volume de motocicletas multiplicado pelo seu fator correspondente + volume de bicicletas multiplicado pelo seu fator correspondente.

Adota-se:

Tipo de veículo	Fator de equivalência
Carro de passeio	1
Caminhão médio ou pesado	1,75
Caminhão leve	1
Ônibus	2,25
Caminhão conjugado (carreta)	2,5
Moto	0,33
Bicicleta	0,2

Tabela 2 - Fatores de equivalência por tipo de veículo (Fonte: Apostila do Curso de Engenharia de Tráfego da UFSC)

- Efeito de conversão à direita ou à esquerda (Fce)

O volume de conversão à esquerda deve ser corrigido aplicando-se o fator 1,75.

O volume de conversão à direita deve ser corrigido aplicando-se o fator 1,25, na parcela que exceder os 10% do volume da aproximação.

Os fatores de conversões serão os resultados das relações entre o volume total de veículos e o volume total corrigido.

$$F_{ce} = \frac{V_t}{C + V_{ce} \cdot 1,75} \quad (5)$$

Em que:

F_{ce} = Fator de correção de conversões à esquerda

V_t = Volume total de veículos

V = Volume que segue em frente

V_{ce} = Volume de conversões à esquerda

- Efeito de localização (Flocal)

São definidas três condições

- Boa: ausência de pedestres, estacionamentos de veículos, conversões à esquerda, interferência visuais e geometria inadequada – o fator aplicável é 1,20.
- Média – o fator aplicável é 1,0.
- Ruim: velocidade baixa, volume significativo de pedestres, estacionamento de veículos, conversões à esquerda e visibilidade ruim – o fator aplicável é 0,85.

O cálculo do Fluxo de Saturação (S) para qualquer aproximação é feito pela aplicação de todos os fatores acima, através da seguinte fórmula:

$$S = S_b \times F_{fest} \times F_{local} \times F_{decl} \times F_{eq} \times F_{ce} \times F_{cd} \quad (6)$$

3.1.2 Tempos da semaforização

Em seguida será feita a conceituação dos tipos de tempos de semaforização pertinentes à pesquisa.

3.1.2.1 Tempo perdido

O **tempo perdido** corresponde ao tempo de percepção e reação dos motoristas para iniciar o movimento. Usualmente considera-se, a partir de observações empíricas, esse tempo como 2 segundos (UFPR, s.d.).

3.1.2.2 Tempo de verde real e efetivo

Denomina-se tempo de verde real de um estágio a duração do período em que o respectivo semáforo permanece em verde, durante um ciclo.

Denomina-se **tempo de verde efetivo** de um estágio ao tempo de verde do estágio que seria efetivamente utilizado pelo fluxo do grupo de movimentos críticos, se este fosse descarregado com valor igual ao fluxo de saturação (CONTRAN, 2014). O tempo de verde efetivo pode ser calculado segundo fórmula (7) (UFPR, s.d.):

$$Gef = g + ta - I \quad (7)$$

Onde:

gef = tempo de verde efetivo (seg)

g = tempo de verde real (seg)

ta = tempo de amarelo (seg)

I = tempo perdido (seg)

3.1.2.3 Tempo de ciclo

Denomina-se **ciclo** a sequência completa das indicações de uma sinalização semafórica. O **tempo de ciclo** é o tempo necessário para que um ciclo inteiro seja cumprido em uma interseção, ou seção de via, e é determinado pela soma dos tempos de todos os estágios programados para o controle do tráfego no local (DER/MG, 2014).

3.1.3 Capacidade

Denomina-se **capacidade** de um grupo de movimentos o número máximo de veículos que pode passar em uma aproximação controlada por sinalização semafórica durante uma hora, considerando-se a sua operação normal (DER/MG, 2014). É determinada pela seguinte equação:

$$Cap = FS \cdot \frac{T_{v,efet}}{tc} \quad (8)$$

Em que:

Cap = capacidade, em veículos por hora ou veic/h;

FS = fluxo de saturação, em veículos por hora ou veic/h;

$T_{v,efet}$ = tempo de verde efetivo, em segundos;

tc = tempo de ciclo, em segundos.

Outra forma de escrever a mesma fórmula seria:

$$Cap = FS \cdot Tx_{v,efet} \quad (9)$$

Em que $Tx_{v,efet}$ é a taxa de verde efetivo, determinada por:

$$Tx_{v,efet} = \frac{T_{v,efet}}{tc} \quad (10)$$

3.1.4 Fluxo

O **fluxo** é a taxa de veículos que passam por uma seção da via por unidade de tempo. É comumente apresentado na unidade veic/h (EPUSP, s.d.).

3.1.5 Classificação das vias do OpenStreetMap

A base de dados do OpenStreetMap contém uma classificação de vias própria que será utilizada para o cálculo do fluxo e portanto será apresentada neste segmento.

3.1.5.1 Motorway

Autoestradas cujo limite de velocidade é superior a 80 km/h.

3.1.5.2 Trunk

Rodovias nacionais, vias expressas urbanas, cujo limite de velocidade se encontra entre 70 e 80 km/h.

3.1.5.3 Primary

Via arterial urbana, cujo limite de velocidade se encontra entre 50 km/h e 60 km/h.

3.1.5.4 Secondary

Uma rodovia que não faz parte de uma rota importante, no entanto forma um elo na rede de rotas nacionais. Nos países desenvolvidos, normalmente tem 2 pistas e o tráfego para ambas as direções é geralmente separado por uma linha central na estrada. Em áreas com pior infraestrutura, a qualidade da estrada pode ser muito pior. Velocidade limite não especificada.

3.1.5.5 Tertiary

Vias que ligam ruas residenciais ou vias que ligam centros locais. Em termos de rede de transporte, geralmente também ligam ruas menores a estradas mais importantes. Limite de velocidade em torno de 45 km/h.

3.1.5.6 Residential

Vias de acesso a residências.

3.1.5.7 Links

Vias com a terminação “link” (e.g. Motorway_link) são ligações de ou para o tipo de via indicado.

3.2 Fórmula do fluxo para movimento ininterrupto

O Highway Capacity Manual 2010 (HCM 2010), documento publicado pela *Transportation Research Board* da Academia Nacional de Ciências dos Estados Unidos da América, propõe duas formas de cálculo para fluxo de veículos em vias expressas em condições de fluxo ininterrupto por meio da análise de uma seção da via ou de um segmento viário. O cálculo por meio da seção trata de contabilizar o número de veículos em uma faixa que cruzam determinada seção em um certo período, normalmente de 15 minutos, para a extração para o período de uma hora, assim obtendo o número de veículos/hora/faixa. O método pelo segmento viário identifica a quantidade de veículos por faixa em determinado trecho da via, a velocidade média praticada por esses veículos e a extensão do trecho analisado, determinando o fluxo através da seguinte fórmula:

$$f = \frac{n * V_{média}}{l} \quad (11)$$

em que:

f = fluxo de veículos em v/h/fx

n = número de veículos no trecho

$V_{média}$ = velocidade média dos veículos do trecho em km/h

l = extensão do trecho analisado em km.

O método de cálculo do fluxo pela seção é abastecido por dados de contadores viários presentes em pontos estratégicos das vias ou de coletas manuais, assim que seu uso é mais comum na literatura. Para o fluxo através do segmento, o uso de tecnologias de rastreamento se adequam pela obtenção dos dados de entrada de maneira remota, fornecendo o número de veículos, o comprimento do trecho e a velocidade média.

A utilização dessa metodologia de cálculo se aplica somente para vias expressas e de fluxo contínuo, assim sendo possível sua utilização para regiões específicas do município de São Paulo.

3.3 Função BPR

Entre modelos de cálculo da capacidade, a função BPR proposta pela Secretaria de Transporte Público dos Estados Unidos é amplamente utilizada na literatura (BPR, 1964). A função propõe a associação do tempo de viagem com o fluxo veicular, assim que para dado tempo de viagem em fluxo livre, volume e capacidade da via obtém-se a relação de tempo de viagem por unidade de distância, ou o inverso da velocidade praticada na via. A fórmula é descrita da seguinte maneira:

$$T = T_0 * [1 + \alpha * (V/C)^\beta] \quad (12)$$

em que:

T = relação tempo de viagem por unidade de distância em h/km

T_0 = relação tempo de viagem na condição de fluxo livre em h/km

V = volume de veículos no período de uma hora em veic/h

C = capacidade da via em v/h

α = coeficiente alpha

β = coeficiente beta.

Os coeficientes foram determinados pelo BPR com valores originais de 0.25 e 4, para α e β respectivamente. Tais parâmetros são relativos às condições da via, em termos de desenho, tráfego, intersecções, comportamento do motorista entre outros fatores, de forma que existem divergências na literatura dos valores a serem empregados nesse cálculo.

Na literatura existem meios de estimar esses parâmetros, sendo um deles um caso de estudo na Flórida, Estados Unidos, em que através de uma amostra de contagem de veículos e informações da via, como tipo de via, velocidade máxima, número de faixas e capacidade, para o ajuste da função BPR, por meio de iterações sucessivas até a obtenção de valores aproximados de α e β (MTOI, 2014). Através dessa metodologia foram identificados os valores ideais para as variáveis para cada tipo de via analisado na amostra, apresentados a seguir, em que, 1 refere-se à vias urbanas, 2 à vias residenciais e 3 à vias rurais.

Function	Parameters	Facility and Area Type									
		Freeways/Expressways			Toll Roads			HOV/HOT Lanes		Signalized Arterials	
		1	2	3	1	2	3	1	2	1	2
Fitted BPR	α	0.263	0.286	0.15	0.162	0.25	0.32	0.32	0.33	0.24	0.26
	β	6.869	5.091	5.61	6.34	7.9	6.71	8.4	8.6	7.50	8.20

Tabela 3 - Parâmetros α e β da função BPR para diferentes tipos de via (Fonte: MTOI, 2014)

Outro estudo de caso na Dinamarca (MANZO, 2013), utilizou também um banco de dados das vias locais, arteriais e expressas para a validação dos parâmetros, porém com uma fórmula adaptada para contemplar vias de duplo sentido e que permitem conversões, sendo a fórmula descrita assim:

$$T = T_0 * (1 + \alpha \left[\frac{V + \gamma V'}{C} \right]^\beta) \quad (13)$$

em que:

T = relação tempo de viagem por unidade de distância em h/km

T_0 = relação tempo de viagem na condição de fluxo livre em h/km

V = volume de veículos no período de uma hora em v/h

V' = volume de veículos no sentido oposta da via no período de uma hora em v/h

C = capacidade da via em v/h

α = coeficiente alpha

β = coeficiente beta

γ = coeficiente gamma, relativo ao sentido oposto

Os resultados obtidos para os parâmetros do estudo dinamarquês foram apresentados por meio de uma tabela com o valor estimado, o desvio padrão e outras métricas estatísticas, por classificação da via.

	Parameter	Estimate	StdErr	tValue	pValue
Highway	alpha	0.067	0.001	91.206	0.000
	beta	0.019	0.005	3.502	0.000
Urban	alpha	0.003	0.013	0.230	0.818
	beta	0.285	0.005	55.490	0.000
	gamma	343,389	5,254,340	0.065	0.948
Local	alpha	0.238	0.014	17.260	0.000
	beta	1.262	0.032	38.978	0.000
	gamma	0.189	0.055	3.468	0.001

Tabela 4 - Valores estimados para α , β e γ para a fórmula do BPR (Fonte: MANZO, 2013)

Este trabalho utiliza dados de rastreamento para o cálculo de um indicador de fluxo de veículos com o propósito de analisar a distribuição espacial desses fluxos e, a partir disso, avaliar a correlação com incidências de internações por doenças respiratórias, como proxy da influência da poluição atmosférica veicular na saúde da população. Nesse sentido, após apresentar os conceitos relacionados ao cálculo do indicador de fluxo de veículos. A próxima seção apresenta os estudos que investigam a relação entre fluxo de veículos, poluição veicular e sua relação com doenças respiratórias, a partir da análise e sistematização de trabalhos técnicos correlatos.

4. POLUIÇÃO VEICULAR E SEU IMPACTO NA SAÚDE

A Organização Mundial da Saúde (OMS) publica periodicamente a Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados com a Saúde, também conhecida como CID, que fornece códigos para diferentes sintomas e queixas, facilitando a segmentação dos diagnósticos. A seleção de doenças respiratórias correlatas com emissões veiculares é extensamente abordada na literatura e o Health Effects Institute apresentou uma síntese das considerações encontradas na academia, identificando doenças circulatórias, alergias, efeitos adversos no nascimento e câncer relacionados com a poluição veicular (HEI, 2010).

Alguns estudos técnicos buscaram avaliar a relação da distância de vias com grandes fluxos e a prevalência de doenças respiratórias em áreas residenciais por meio de faixas de exposição ou focado em grupos críticos da população como crianças e idosos.

Uma análise realizada na região de Pisa, na Itália, buscou determinar a influência da distância das residências da rodovia na saúde dos habitantes. Com esse objetivo, a população foi submetida a um questionário sobre sintomas de problemas respiratórios e suas residências foram localizadas espacialmente com o Sistema de Informações Geográficas (SIG). De uma via com grande movimentação, foram estabelecidas faixas de exposição para determinar os níveis de influência da poluição gerada pela via na saúde da população. Essa análise mostrou que morar até 100 m da rodovia tem relação com doenças respiratórias crônicas, especificamente um chiado permanente, obstrução de vias respiratórias e doenças pulmonares crônicas em homens e asma, ataques de falta de ar com chiado, dispneia e irritações cutâneas em mulheres. (NUVOLONE, 2011).

Em uma cidade do Texas, nos Estados Unidos, novamente por meio de um questionário, um estudo levantou sintomas de doenças respiratórias para um grupo específico, de crianças. Associando o levantamento à modelos de exposição de poluentes, os autores puderam observar uma relação entre a poluição atmosférica e asma, bronquite e tosses nas crianças (SVENDSEN, 2012). Em relação aos idosos, um estudo no Quebec, Canadá, demonstrou um aumento das chances de hospitalização por doenças respiratórias em moradores de regiões de média e alta

intensidade de fluxo de veículos (SMARGIASSI, 2006).

Os métodos utilizados para a análise da correlação entre o tráfego e saúde pública variam entre cruzamento de dados, em que locais determinados como de alto risco, seja pela proximidade de rodovias ou pela alta concentração de poluentes, são associados diretamente com a residência de pessoas identificadas por doenças respiratórias, como os realizados por Nuvolone (2011), Svedsen (2012) e Smargiassi (2006), até o uso do índice de Moran, utilizado por Almeida (2013), e o LISA, que buscam a partir de princípios estatísticos, quantificar o grau de correlação existente.

O LISA é um indicador que calcula a correlação espacial entre cada unidade espacial estudada. (ANSELIN, 1995) "Local Indicators of Spatial Association" (LISA) significa Indicadores Locais de Associação Espacial, podendo ser univariável ou bivariável. O LISA Univariável, ou índice de Moran Local, busca a similaridade espacial com base em um atributo e o Bivariável utiliza dois atributos para essa associação.

Para o índice de Moran Local, temos a seguinte equação:

$$I_i = z_i \sum_j w_{ij} z_{ij} \quad (14)$$

em que:

I_i = índice de Moran

z = desvio da média

w_{ij} = peso do atributo, relacionado a proximidade espacial entre i e j , identificada a partir da matriz de vizinhanças.

A seguinte fórmula é utilizada no LISA Bivariável para determinar o grau de associação linear que duas variáveis possuem:

$$I_L = z_{xi} \sum_{j=1; j \neq i}^N w_{ij} z_{yj} \quad (15)$$

em que:

I_L = estatística do LISA

z_x = valor de uma das variáveis estudadas

z_y = valor da segunda variável em questão

w = matriz de vizinhanças.

Assim, o LISA gera um mapa de "clusters" que apresenta regiões com associação espacial positiva ("high-high" ou "low-low") ou associação espacial negativa ('low-high' e "high-low"). (ANSELIN, 1995).

Um exemplo de aplicação de LISA foi em um estudo da relação espacial entre populações de risco e exposição à fumaça de incêndio no sul dos Estados Unidos. Através de dados das moradias de grupos da população mais vulneráveis, no caso, crianças, idosos e pessoas de baixa renda, e do trajeto georreferenciado da dispersão da fumaça de incêndios via satélite, realizou-se a análise espacial através de LISA, obtendo-se diversos clusters pelas regiões com alta concentração de populações de risco e alta exposição de gases provenientes de incêndios, sendo que, no entanto, a ocorrência dos clusters que evidenciaram a relação não foi predominante em termos da abrangência das áreas testadas (GAITHER,2015).

5. MÉTODOS

Ao longo do Trabalho de Formatura I, para a análise inicial das informações ofertadas, utilizamos o programa ArcGIS e os dados de um único distrito, Cidade Tiradentes, localizado na região Leste do município e com um dos menores Índices de Desenvolvimento Humano do município de São Paulo. Com este grupo amostral reduzido seria mais simples de construir um método de análise confiável que pudesse ser expandido e disseminado para outros distritos de São Paulo.

A partir de uma base de rastreamento de veículos, que possui pontos que representam o registro de local data e hora de veículos monitorados, utilizou-se um Sistema de Informações Geográficas para associar os pontos rastreados às vias e, a partir disso, calcular atributos como a velocidade média associada a cada trecho de via.

Com o número de veículos, o comprimento do trecho analisado e a velocidade média na via foi possível calcular o fluxo de cada via do distrito de Cidade Tiradentes do município de São Paulo. Foi utilizado método de cálculo de fluxo do HCM para segmentos viários, como descrito na fórmula a seguir:

$$q = \frac{X_L * V}{L} \quad (16)$$

em que:

q = fluxo de veículos em veículos/hora

X_L = número de veículos no trecho na hora de pico

V = velocidade média na hora de pico em km/h

L = comprimento do trecho da via em km

Ainda na etapa I do Trabalho de Formatura, foi iniciada a análise dos dados de saúde pública referentes ao ano de 2007 do município de São Paulo disponível no Centro de Estudos da Metrópole (CEM). Foram filtrados dados com diagnósticos referentes a doenças respiratórias relacionadas à poluição atmosférica e também segmentado pelos distritos de cada residência, visando determinar regiões com maior concentração de pacientes com essas enfermidades.

Com uma análise mais aprofundada da fórmula de fluxo proposta

inicialmente, foram identificados alguns limitantes para sua aplicação para todo o município de São Paulo: trata-se de um cálculo utilizado para vias expressas e de trajetos ininterruptos, seja por interseções semaforizadas ou não, travessia de pedestres e outros; e a representatividade da amostra de veículos rastreados frente à realidade das vias da cidade é desconhecida. Conclui-se portanto, ainda na primeira etapa deste Trabalho de Formatura, que para o estudo de regiões urbanas de São Paulo, a fórmula precisaria ser revisada.

O Trabalho de Formatura II foi iniciado, portanto, com a missão de desenvolver um indicador de fluxo de veículos, a partir de dados de rastreamentos de veículos, que fosse mais consistente e pudesse ser usado para análises de tendências de distribuição espacial e comparado com a distribuição espacial de outras variáveis, em especial, às de saúde que constituem o cerne motivador deste trabalho. A Figura 1, apresenta os métodos e ilustra as etapas principais deste trabalho.

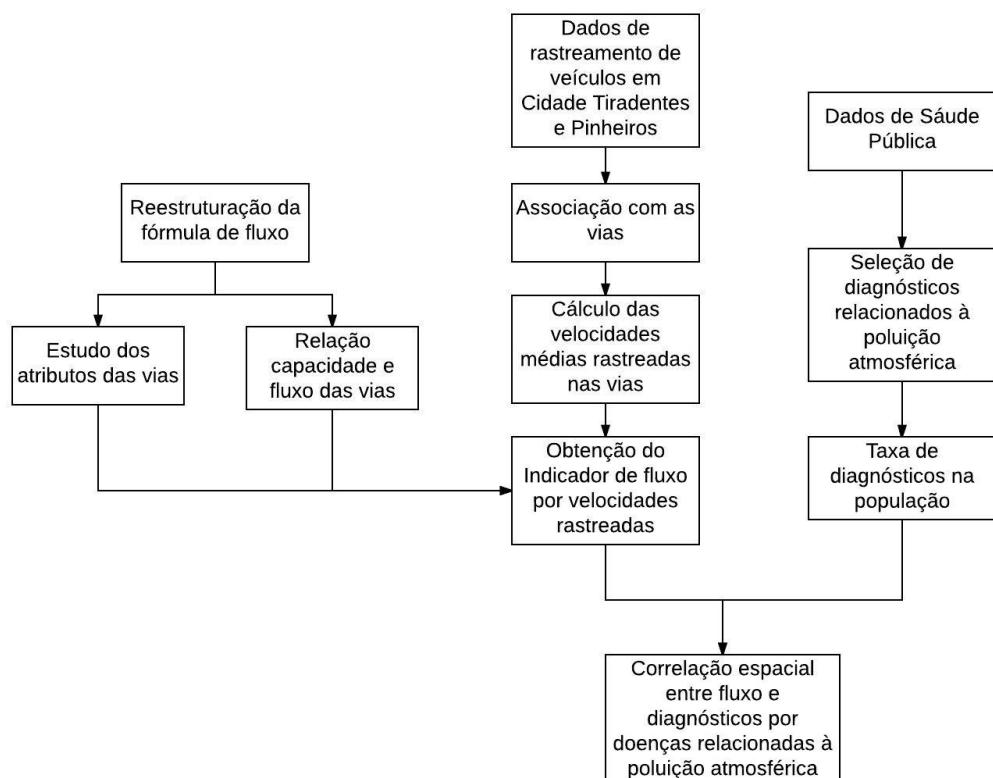


Figura 1 - Esquema dos métodos utilizados no Trabalho Final II
(Fonte: Elaborado pelas autoras.)

A reestruturação da fórmula do fluxo teve início com o estudo dos atributos disponíveis nos dados e a associação da capacidade da via com fluxo, permitindo a obtenção de uma nova função de indicador de fluxo.

Com os dados de rastreamento de veículos, foi feita a associação com as vias e então, calculadas as velocidades médias praticadas, utilizadas na fórmula de um indicador de fluxo.

Os dados de saúde pública foram selecionados para compreender somente o universo de diagnósticos relacionados à poluição veicular e foi realizado um cálculo da taxa de diagnósticos por setor censitário do distrito.

Com os indicadores de fluxo e a taxa de diagnósticos, foi realizada a análise espacial buscando identificar a correlação entre os dois parâmetros estudados.

5.1 Seleção dos dados

Após uma pesquisa bibliográfica, trazendo uma melhor compreensão do tema e das técnicas possíveis para análise, prosseguiu-se para a familiarização com os dados de base. Os dados disponíveis relativos ao sistema viário de São Paulo do OpenStreetMap, com os seguintes atributos: OSMid, um identificador único para cada segmento viário; classificação da via, segundo OpenStreetMap; número de faixas; velocidade máxima permitida. Os dados fornecidos pelo MapLink de uma amostra semanal de rastreamento, entre os dias 4 de Outubro de 2014 até 10 de Outubro de 2014, apresentava informações de veículos rastreados contendo um identificador único para cada veículo, chamado de FID, longitude e latitude, velocidade rastreada, data e hora de rastreamento. Em relação aos dados de saúde, as informações disponíveis são posicionamento geográfico das residências de pacientes do sistema público de saúde e um código referente ao diagnóstico principal registrado para o paciente.

Sistema Viário de São Paulo	
Fonte	OpenStreetMap
Dimensão	110 mil segmentos viários
Atributos	OSMid
	road_type
	lanes
	max_speed

Tabela 5 - Síntese dos dados do Sistema Viário de São Paulo (Fonte: Elaborado pelas autoras. Fonte dos dados: OpenStreetMap)

Rastreamento de veículos	
Fonte	MapLink
Período	Outubro de 2014
Dimensão	1.048.575 entradas de rastreamento de veículos leves e 580.122 entradas para veículos pesados
Atributos	FID
	lat
	lon
	date
	vel

Tabela 6 - Síntese dos dados de rastreamento de veículos (Fonte: Elaborado pelas autoras. Fonte dos dados: MapLink)

Saúde Pública	
Fonte	Centro de Estudos da Metrópole
Período	2007
Dimensão	516 mil diagnósticos
Atributos	id
	diags_principal
	lat
	lon

Tabela 7 - Síntese dos dados de Saúde Pública (Fonte: Elaborada pelas autoras. Fonte dos dados: Centro de Estudos da Metrópole)

Ao estudar as informações contidas nos dados dos veículos, notou-se valores inconsistentes de velocidades rastreadas, logo buscou-se uma maneira de calcular a velocidade real dos veículos. Como o rastreamento captava o veículo em diferentes posições em diferentes instantes, foi possível calcular a velocidade média que o veículo apresentou em sua trajetória inferida.

Os dados de veículos rastreados foram associados às vias da região pela ferramenta "Nearest Neighbor" do programa QGIS, em que para cada veículo é determinada a distância entre as ruas e avenidas próximas e em seguida, elegida a via com o menor valor de distância computado.

Com a associação do veículo ao sistema viário, para cada identificador único do OpenStreetMap foram agrupados os veículos e calculada a média das velocidades para cada dia e horário.

Para o cálculo do fluxo, a velocidade rastreada utilizada foi uma média entre as velocidades médias dos dias úteis da semana nos horários de pico, englobando veículos rastreados das 17:00 até as 20:00. A escolha dessas condições está relacionada ao: horário de maiores congestionamentos no município, levando aos veículos emitirem cerca de 50% mais poluentes atmosféricos (FREY, 2001); horários em que os relatórios da Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo (CET-SP) apresentam dados de contagem de veículos, permitindo a comparação para a validação da fórmula; programação dos semáforos fornecida pela CET-SP

associada a esses horários.

5.2 Escolha das áreas - critérios utilizados

O município de São Paulo consta com 31 distritos, aproximadamente 1.500 km² de área e uma população de 12 milhões (IBGE). Assim que, pela vastidão territorial e pela formação histórica da cidade, há grande diversidade entre os distritos em termos de densidade populacional, renda familiar, vegetação, entre outros aspectos.

A heterogeneidade é uma característica marcante de São Paulo. A Instituição Rede São Paulo elabora anualmente o relatório Mapa das Desigualdades, que expõe por meio de indicadores essa característica. Entre eles, foram escolhidos alguns para ilustrar essa condição.

Índice Paulista de Vulnerabilidade Social (IPVS)
Município de São Paulo – 2010

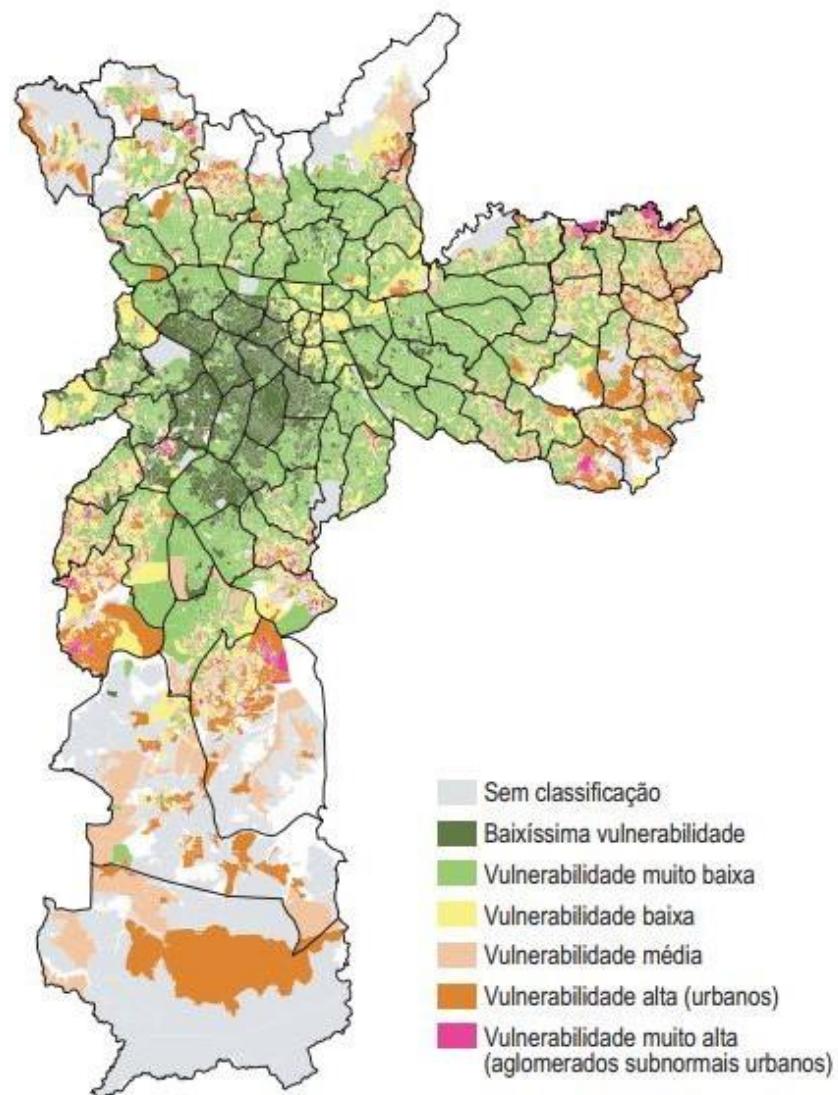


Figura 2 - Índice paulista de vulnerabilidade social (IPVS). (Fonte: Fundação Seade)

Sendo que entende-se a classificação de vulnerabilidade segundo a seguinte tabela:

Grupo 1: baixíssima vulnerabilidade
População: 2,5 milhões de pessoas
Rendimento médio dos domicílios: R\$ 8.459
Idade média dos responsáveis pelo domicílio: 48 anos
Responsáveis pelo domicílio com menos de 30 anos: 12,6%
Mulheres jovens responsáveis pelo domicílio: 14,0%
Crianças de 0 a 5 anos no total da população: 5,9%
Grupo 2: vulnerabilidade muito baixa
População: 16,3 milhões de pessoas
Rendimento médio dos domicílios: R\$ 2.964
Idade média dos responsáveis pelo domicílio: 50 anos
Responsáveis pelo domicílio com menos de 30 anos: 9,6%
Mulheres jovens responsáveis pelo domicílio: 8,8%
Crianças de 0 a 5 anos no total da população: 6,3%
Grupo 3: vulnerabilidade baixa
População: 7,3 milhões de pessoas
Rendimento médio dos domicílios: R\$ 2.133
Idade média dos responsáveis pelo domicílio: 42 anos
Responsáveis pelo domicílio com menos de 30 anos: 21,0%
Mulheres jovens responsáveis pelo domicílio: 22,4%
Crianças de 0 a 5 anos no total da população: 9,0%
Grupo 4: vulnerabilidade média
População: 7,8 milhões de pessoas
Rendimento médio dos domicílios: R\$ 1.627
Idade média dos responsáveis pelo domicílio: 47 anos
Responsáveis pelo domicílio com menos de 30 anos: 12,1%
Mulheres jovens responsáveis pelo domicílio: 9,7%
Crianças de 0 a 5 anos no total da população: 8,4%
Grupo 5: vulnerabilidade alta (setores censitários urbanos)
População: 4,5 milhões de pessoas
Rendimento médio dos domicílios: R\$ 1.401
Idade média dos responsáveis pelo domicílio: 42 anos
Responsáveis pelo domicílio com menos de 30 anos: 20,3%
Mulheres jovens responsáveis pelo domicílio: 20,6%
Crianças de 0 a 5 anos no total da população: 10,5%
Grupo 6: vulnerabilidade muito alta (aglomerados subnormais urbanos)
População: 1,8 milhão de pessoas
Rendimento médio dos domicílios: R\$ 1.201
Idade média dos responsáveis pelo domicílio: 40 anos
Responsáveis pelo domicílio com menos de 30 anos: 22,6%
Mulheres jovens responsáveis pelo domicílio: 22,7%
Crianças de 0 a 5 anos no total da população: 11,3%
Grupo 7: vulnerabilidade alta (rurais)
População: 400 mil pessoas
Rendimento médio dos domicílios: R\$ 1.054
Idade média dos responsáveis pelo domicílio: 48 anos
Responsáveis pelo domicílio jovens (menos de 30 anos): 13,1%
Mulheres jovens responsáveis pelo domicílio: 13,7%
Crianças de 0 a 5 anos no total da população: 9,2%

Tabela 8 - Grupos de vulnerabilidade social (Fonte: Fundação Seade)

Percebe-se por meio desse relatório uma tendência à periferização dos grupos mais vulneráveis socialmente, e uma diferença de 30% ou mais de

população em situação de alta vulnerabilidade social entre as áreas mais vulneráveis e as menos vulneráveis.

Outro mapa do relatório Mapa das Desigualdades é o de Tempo de Deslocamento por Região, representado na Figura 3. Percebe-se uma diferença nos tempos de deslocamento entre as regiões mais centrais e mais periféricas.

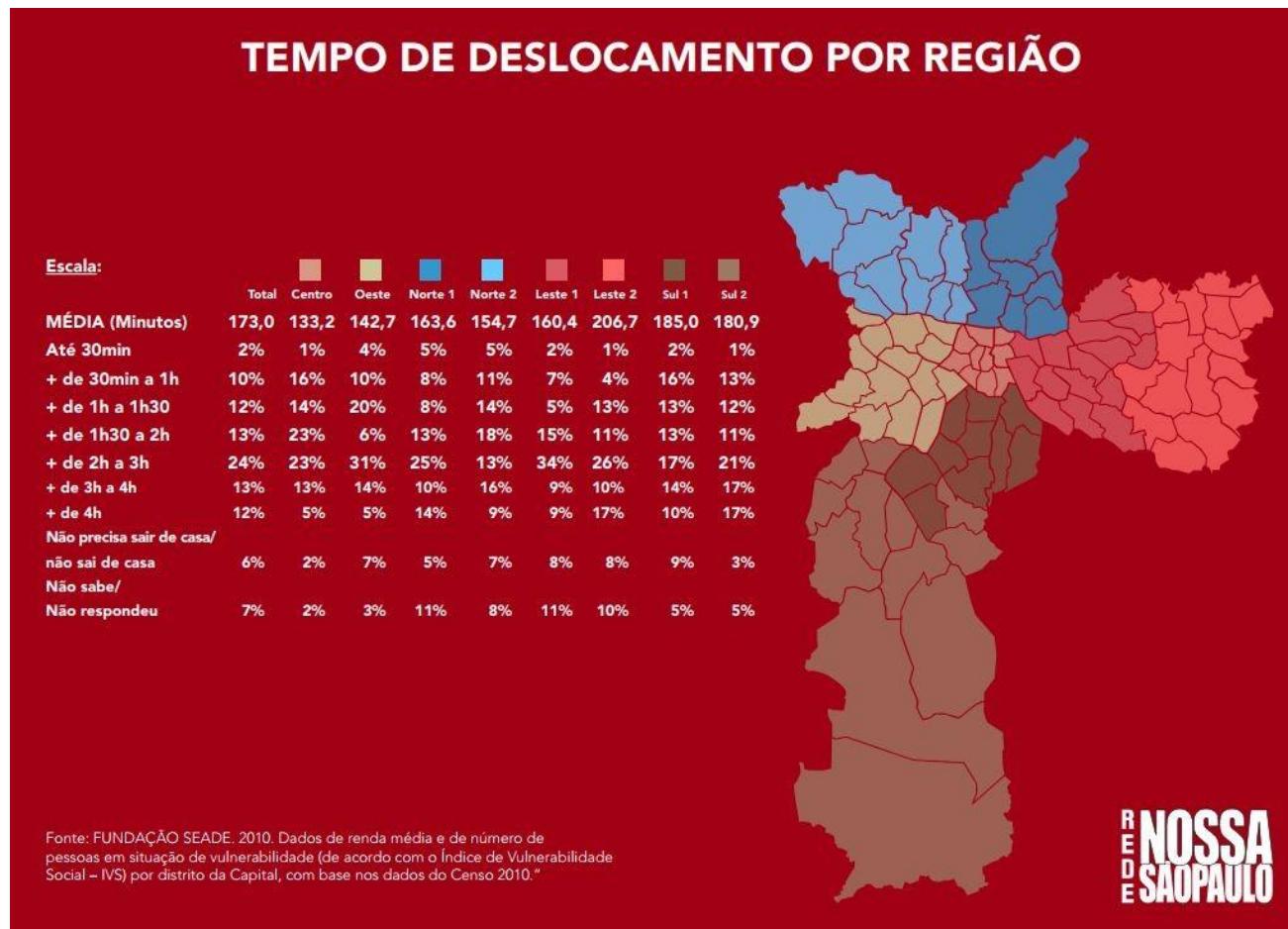


Figura 3 - Mapa de tempo de deslocamento por região (Fonte: Rede Nossa São Paulo, 2017)

Em média, gasta-se mais tempo nas regiões da Leste 2, Sul 1, Sul 2 e menos tempo nas regiões Centro, Oeste e Norte 2. Outra informações que chama a atenção é que apesar de ter um tempo médio mais baixo, a região Oeste é a com maior taxa de pessoas que relatam gastarem de 2h a 3h de deslocamento.

Com base nessas informações e outras que serão apresentadas a seguir, foram escolhidas duas regiões com características distintas para aplicação do

Indicador de Fluxo e estudo do impacto das emissões veiculares na saúde pública, Pinheiros e Cidade Tiradentes (Figura 4). O Distrito de Cidade Tiradentes havia sido escolhido previamente na primeira etapa do trabalho, e o Distrito de Pinheiros foi escolhido na segunda etapa pois possui características diferentes, de média e alta renda, em comparação com a primeira área analisada.

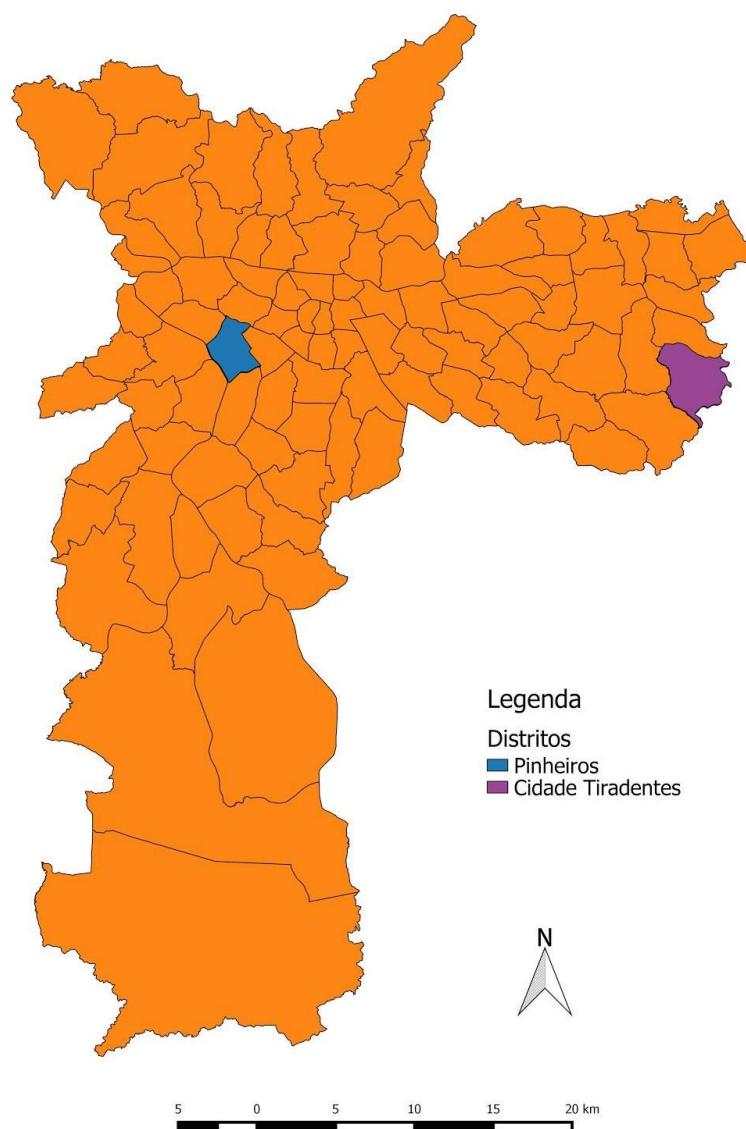


Figura 4 - Mapa dos distritos de São Paulo com destaque em Pinheiros e Cidade Tiradentes
(Fonte: Mapa elaborado pelas autoras. Fonte dos dados: OpenStreetMap)

Observando a densidade populacional de cada um dos distritos (Figura 5),

Pinheiros possui uma densidade média de 68 hab/ha e Cidade Tiradentes possui uma densidade média de 109 hab/ha. Classificando os dados em 10 percentis observa-se que as densidades máximas de Cidade Tiradentes chegam a valores mais que duas vezes superiores às densidades máximas de Pinheiros.

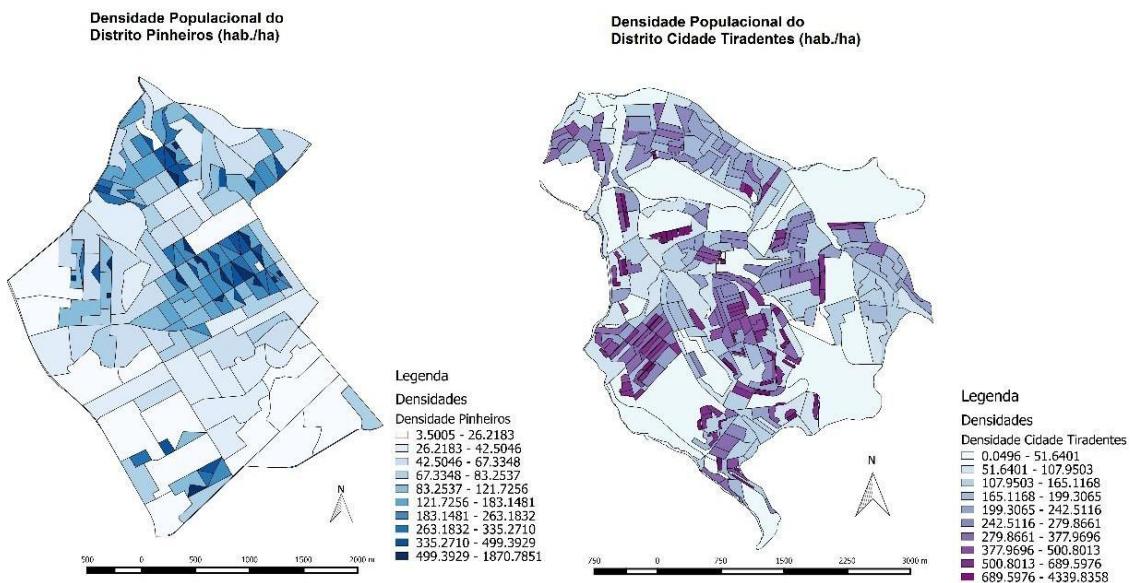


Figura 5 - Mapa das densidades populacionais dos distritos de Pinheiros e Cidade Tiradentes (Fonte: Elaborado pelas autoras. Fonte dos dados: GeoSampa)

Com relação à cobertura vegetal, o Distrito de Pinheiros possui maior densidade de árvores que o Distrito de Cidade Tiradentes, que por sua vez, possui mais regiões amplas dedicadas a reservas ambientais (Figura 6).

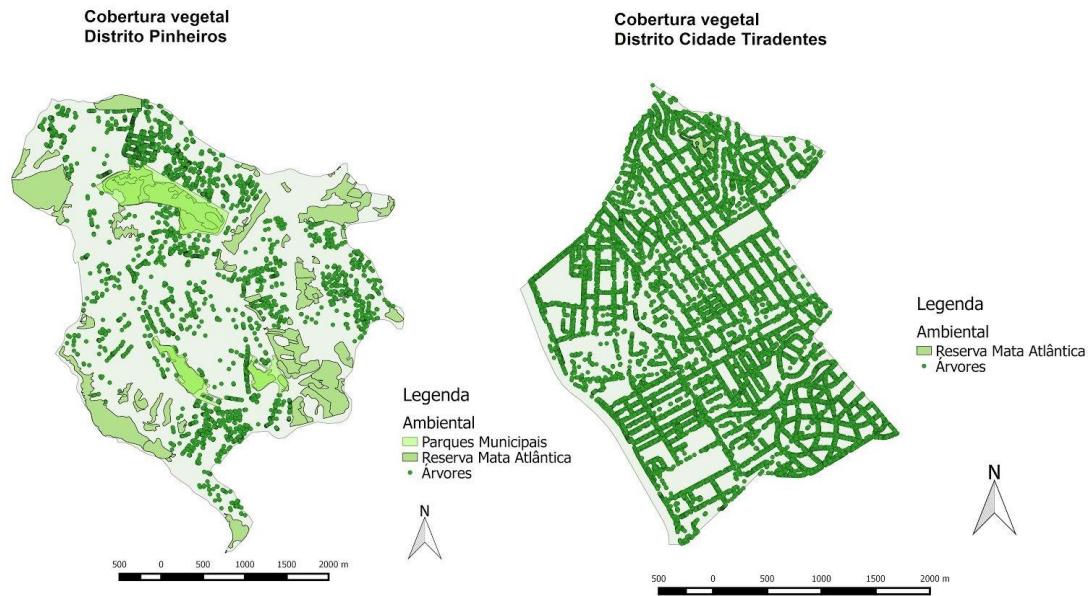


Figura 6 - Mapa de cobertura vegetal de Pinheiros e Cidade Tiradentes (Fonte: Mapa elaborado pelas autoras. Fonte dos dados: GeoSampa)

Ainda, ao analisar os mapas com as vias dos distritos de Cidade Tiradentes e Pinheiros (Figura 7), nota-se a diferença da organização espacial do sistema viários entre os dois distritos. O distrito de Pinheiros é composto predominantemente por vias perpendiculares entre si, mantendo uma distribuição geométrica e equilibrada sobre o território. Em Cidade Tiradentes temos uma composição mais orgânica do sistema viário, em que existem vias principais, das quais surgem pólos de vias secundárias, evidenciando um déficit no planejamento urbana do distrito e uma ocupação menos organizada.

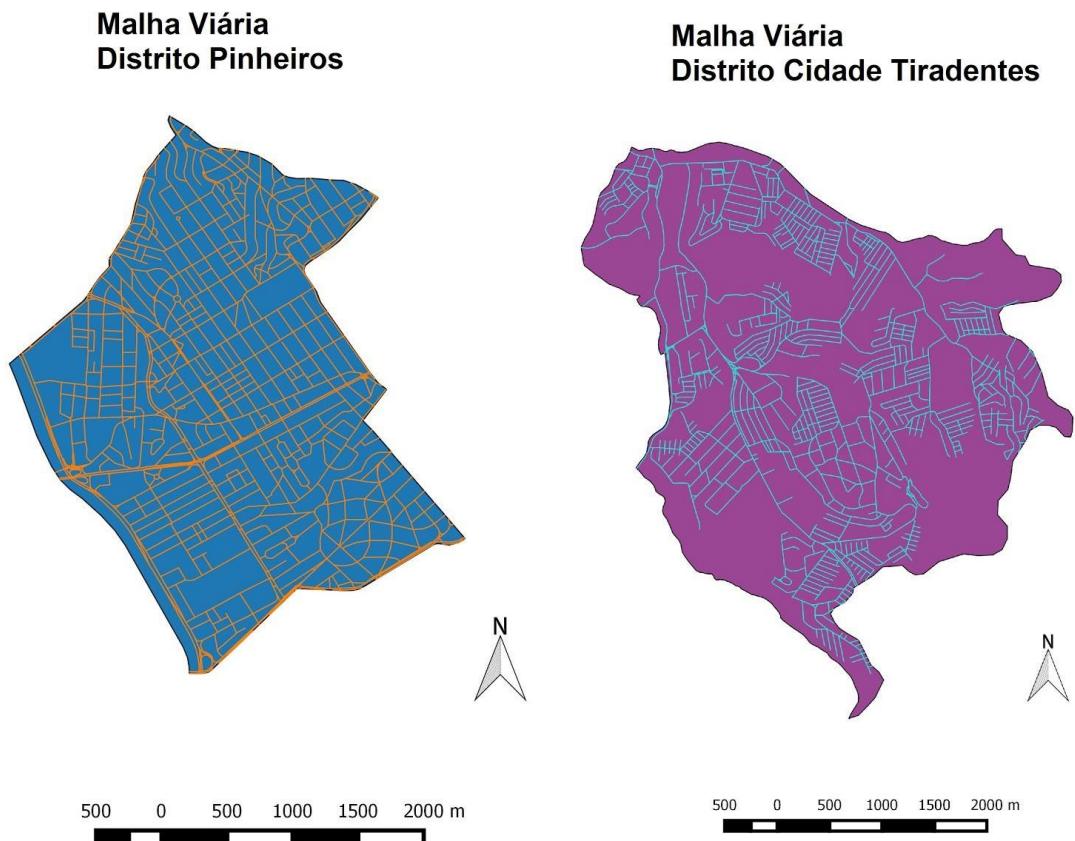


Figura 7 - Malha Viária Pinheiros e Cidade Tiradentes (Fonte: Elaborado pelas autoras. Fonte dos dados: OpenStreetMap)

5.3 Determinação da fórmula do indicador de fluxo

A partir das limitações da fórmula do fluxo, buscou-se uma novo parâmetro para comparação do fluxo entre as vias e correlação com os dados de saúde. O parâmetro disponível que apresentava independência com a representatividade da amostra era o de velocidade. Definiu-se então um indicador de fluxo.

O indicador de fluxo, apesar de ter a mesma unidade, não pretende determinar o fluxo real, mas sim estabelecer um parâmetro de comparação entre as vias. Ele é inversamente proporcional à velocidade dos veículos rastreados, uma vez que se assume que quanto menor a velocidade dos veículos, mais congestionamento, o que estaria ligado a um maior fluxo de veículos, e consequentemente maior poluição. Sua fórmula está indicada abaixo:

$$Qi = (1 - \frac{V}{V_{lim}}) \cdot Cap \quad (17)$$

Em que:

Qi = indicador de fluxo

V = velocidade média na hora-pico, em km/h

V_{lim} = Velocidade limite da via, em km/h

Cap = Capacidade da via em veic/h

5.4 Determinação das constantes da fórmula da BPR

Com o intuito de avaliar a fórmula obtida, buscou-se realizar a comparação entre resultados obtidos pela metodologia proposta com os resultados da mesma amostra para a função BPR, reconhecida na literatura.

A função BPR proposta pela Secretaria de Transporte Público dos Estados Unidos data de 1968, busca a associação entre tempo de viagem e fluxo de veículos de uma via. Os parâmetros da função α e β foram ajustados para a amostra analisada na época, assim para resultados de maior precisão, esses parâmetros devem ser ajustados às características da via estudada e amostra disponível. A equação da função BPR está descrita a seguir:

$$T = T_0 * [1 + \alpha * (V/Cap)^\beta] \quad (18)$$

Em que:

T = relação tempo de viagem por unidade de distância em h/km

T_0 = relação tempo de viagem na condição de fluxo livre em h/km

V = volume de veículos no período de uma hora em v/h

Cap = capacidade da via em v/h

α = coeficiente alpha

β = coeficiente beta.

Para a comparação dos resultados de fluxo obtidos pela função BPR com os resultados pela fórmula proposta neste trabalho, foram adotados os valores dos parâmetros α e β para vias sinalizadas urbanas, 0.24 e 7.50, respectivamente

(MTOI, 2014), devido à grande parte da amostra de vias terem suas características similares à amostragem do estudo.

5.5 Cálculo da capacidade

Para determinação da capacidade das vias, fez-se uso da fórmula apresentada anteriormente:

$$Cap = FS \cdot \frac{T_{v,efet}}{tc} = FS \cdot Tx_{v,efet} \quad (9)$$

Em que:

Cap = capacidade, em veículos por hora ou veic/h;

FS = fluxo de saturação, em veículos por hora ou veic/h;

$t_{v,efet}$ = tempo de verde efetivo, em segundos;

tc = tempo de ciclo, em segundos.

$Tx_{v,efet}$ = taxa de verde efetivo

Nessa seção, será apresentado como foram obtidas e estimadas as variáveis da fórmula acima.

5.4.1 Fluxo de Saturação

Para estimar o fluxo de saturação, em função da disponibilidade de dados durante a elaboração desta pesquisa, foram necessárias aproximações segundo a velocidade limite de cada via. Para essas aproximações, fez-se uso da tabela do Highway Capacity Manual 2000 (HCM 2000, 2000), apresentada abaixo.

EXHIBIT 10-7. EXAMPLE SERVICE VOLUMES FOR URBAN STREETS
(SEE FOOTNOTES FOR ASSUMED VALUES)

Lanes	Service Volumes (veh/h)				
	A	B	C	D	E
Class I					
1	N/A	740	920	1010	1110
2	N/A	1490	1780	1940	2120
3	N/A	2210	2580	2790	3040
4	N/A	2970	3440	3750	4060
Class II					
1	N/A	N/A	620	820	860
2	N/A	N/A	1290	1590	1650
3	N/A	N/A	1920	2280	2370
4	N/A	N/A	2620	3070	3190
Class III					
1	N/A	N/A	600	790	840
2	N/A	N/A	1250	1530	1610
3	N/A	N/A	1870	2220	2310
4	N/A	N/A	2580	2960	3080
Class IV					
1	N/A	N/A	270	690	790
2	N/A	N/A	650	1440	1520
3	N/A	N/A	1070	2110	2180
4	N/A	N/A	1510	2820	2900

Tabela 9 - Volumes de serviço para vias urbanas por nível de serviço, classe e número de faixas (Fonte:HCM 2000, 2000.)

Os valores assumidos para a elaboração dessa tabela estão representados em outra tabela do mesmo documento:

	Class			
	I	II	III	IV
Signal density (sig/km)	0.5	2	3	6
Free-flow speed (km/h)	80	65	55	45
Cycle length (s)	110	90	80	70
Effective green ratio	0.45	0.45	0.45	0.45
Adj. sat. flow rate	1850	1800	1750	1700
Arrival type	3	4	4	5
Unit extension (s)	3	3	3	3
Initial queue	0	0	0	0
Other delay	0	0	0	0
Peak-hour factor	0.92	0.92	0.92	0.92
% lefts, % rights	10	10	10	10
Left-turn bay	Yes	Yes	Yes	Yes
Lane utilization factor	According to Exhibit 10-23, Default Lane Utilization Factors			

Tabela 10 - Características das classes (Fonte:HCM 2000, 2000.)

Observa-se que a tabela 9 apresenta Capacidades diferentes para diferentes níveis de serviço, 'A' indicando o melhor nível de serviço de uma via, e 'E' o pior, ou seja, com maior volume de veículos.

Como o presente trabalho lida com condições de congestionamento em horário pico, optou-se por utilizar o nível de serviço 'E' para determinação do fluxo de saturação.

Para este mesmo fim, foi necessária uma adaptação das velocidades admitidas para cada classe de via. Relacionou-se as velocidades de fluxo livre com as velocidades limites da via da seguinte maneira:

Free-flow speed (Velocidade de fluxo livre)	Velocidade limite da via
45	40
55	50
65	60
80	70-80

Tabela 11 - Associação velocidade de fluxo livre com velocidade limite da via (Fonte: Elaborado pelas autoras.)

Finalmente, utilizou-se a fórmula da capacidade mencionada no início do capítulo 6.2 de forma invertida:

$$FS = \frac{Cap}{Tx_{v,efet}} \quad (19)$$

Como a taxa de verde adotada na tabela do HCM 2000 é de 0,45 (ou 45%), resultou-se em:

$$FS = \frac{Cap}{0,45} \quad (20)$$

O resultado obtido está ilustrado na tabela a seguir:

Velocidade limite da via	Quantidade de faixas	Fluxo de saturação
40	1	1755
	2	3378
	3	4844
	4	6444
50	1	1867
	2	3578
	3	5133
	4	6844
60	1	1911
	2	3667
	3	5267
	4	7089
70-80	1	2467
	2	4711
	3	6756
	4	9022

Tabela 12 - Fluxo de saturação por velocidade e número de faixas (Fonte: Elaborado pelas autoras.)

Tendo a velocidade limite a quantidade de faixas de cada via, foi associado um fluxo de saturação a cada segmento de via.

5.4.1 Taxa de verde efetivo

Por meio de parceria com a CET-SP, foi possível obter dados sobre o tempo de verde e tempo de ciclo de parte dos semáforos de Cidade Tiradentes. Os semáforos de Cidade Tiradentes estão representados na Figura 8 abaixo, em que os semáforos sinalizados em amarelo representam os semáforos cujas informações foram fornecidas pela CET-SP.



Figura 8 - Semáforos dos Distrito Cidade Tiradentes (Fonte: Elabora pelas autoras. Fonte dos dados: CET-SP)

As informações fornecidas dos semáforos destacados estão representadas na tabela 13 abaixo, em que se obtém as respectivas taxas de verde efetivo.

Cruzamento	Tipo de via (primeira via)	Tempo de verde (primeira via) (s)	Tempo perdido (s)	Tempo de verde efetivo = Tempo de verde (s) - tempo perdido (s)	Tempo de ciclo (s)	Taxa de verde efetivo = Tempo de verde efetivo / Tempo de ciclo
Es. Iguatemi x Rua Marcio Beck Machado x Av. Ragueb Chihfi	secondary	37	2	35	95	37%
Av. dos Metalúrgicos x R. dos Texteis	secondary	30	2	28	75	37%
Rua Mario Beck Machado nº 113	secondary	78	2	76	100	76%
Av. dos Metalúrgicos nº 1155	secondary	65	2	63	90	70%
Es. Iguatemi nº 2544	secondary	37	2	35	80	44%
Es. Iguatemi x Rua Luis Mateus x Av. Monte Alegre de Minas	secondary	36	2	34	130	26%
Av. Ragueb Chohfi x Rua Inácio Monteiro x Es. Iguatemi	tertiary	36	2	34	130	26%
Av. Ragueb Chohfi nº 7900	tertiary	37	2	35	80	44%
Av. Souza Ramos x Av. Naylor de Oliveira x Av. dos Metalúrgicos	tertiary	36	2	34	80	43%
Av. Ragueb Chohfi x Rua Nascer do Sol x Es. Iguatemi	tertiary	70	2	68	120	57%
Av. Souza Ramos nº 100	tertiary	71	2	69	95	73%

Tabela 13 - Informações de semáforos de Cidade Tiradentes (Fonte: Elaboradas pelas autoras. Fonte: CET - SP)

Os dados fornecidos pela CET não contemplam a totalidade dos semáforos da região, logo as taxas de alguns semáforos foram expandidas para a totalidade da via onde estavam inseridos. No caso em que uma via tinha dados de mais de um semáforo adotou-se a média das taxas de verde entre semáforos para cada trecho de via. É importante observar que a maior parte das vias de Cidade Tiradentes são do tipo *residential* e não possuem semaforização. Para essas vias, a taxa de verde adotada foi de 100%.

Com o intuito de averiguar as taxas de verde dos semáforos do distrito de Pinheiros, foi realizada uma pesquisa de campo na quarta-feira 22/11/2017 no intervalo de 17h - 21h, por representar o horário de pico, sendo medido o tempo de ciclo e o tempo de verde dos cruzamentos destacadas na Figura 9:

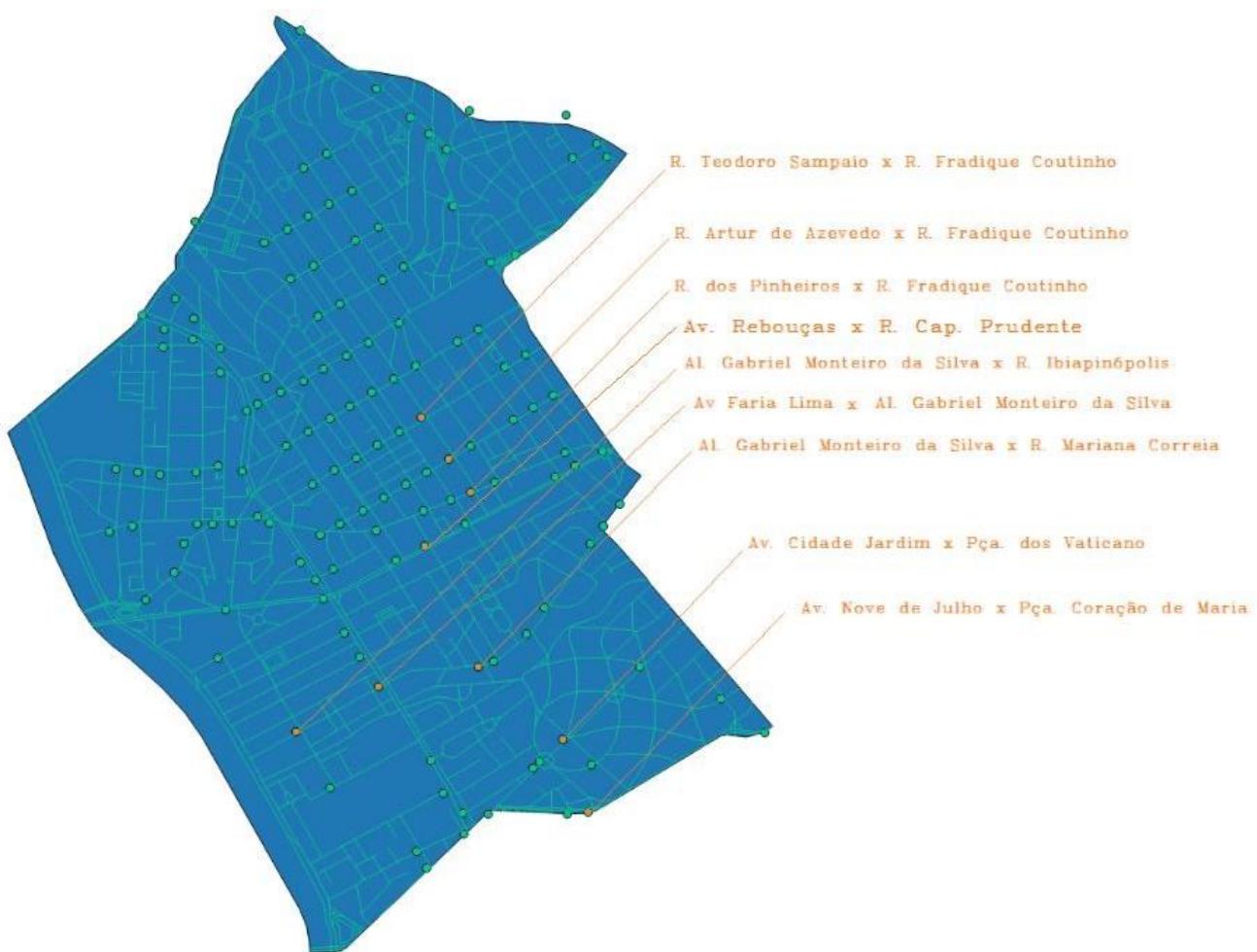


Figura 9 - Semáforos do distrito de Pinheiros (Fonte: Elabora pelas autoras. Fonte: CET-SP)

Os resultados da coleta estão apresentados na tabela 14 abaixo:

Cruzamento	Tipo de via (primeira via)	Tempo de verde (primeira via) (s)	Tempo perdido (s)	Tempo de verde efetivo = Tempo de verde (s) - tempo perdido (s)	Tempo de ciclo (s)	Taxa de verde efetivo = Tempo de verde efetivo / Tempo de ciclo
Av. Rebouças x Rua Capitão Prudente	Primary	46	2	44	75	59%
Rua dos Pinheiros x Rua Fradique Coutinho	Secondary	78	2	76	120	63%
Rua Teodoro Sampaio x Rua Fradique Coutinho	Secondary	60	2	58	105	55%
Av. Europa x Praça do Vaticano	Secondary	78	2	76	120	63%
Rua Artur de Azevedo x Rua Fradique Coutinho	Tertiary	61	2	59	117	50%
Alameda Gabriel Monteiro da Silva x Rua Ibiapinópolis	Tertiary	25	2	23	60	38%
Alameda Gabriel Monteiro da Silva x Rua Mariana Correia	Tertiary	70	2	68	116	59%
Av. Faria Lima x Alameda Gabriel Monteiro da Silva	Trunk	57	2	55	90	61%
Av. Nove de Julho x Praça Coração de Maria	Trunk	63	2	61	113	54%

Tabela 14 - Dados dos semáforos coletados em campo (Fonte: Mapa Elaborado pelas autoras. Fonte dos dados:)

Como forma de adaptar esses dados às demais vias da mesma região, definiu-se que as vias de mesmo tipo teriam a mesma taxa de verde, e que essa taxa seria determinada pela média das taxas de cada tipo coletadas, conforme tabela 15 abaixo:

Primary	59%
Secondary	61%
Tertiary	49%
Trunk	58%

Tabela 15 - Taxa de verde média por tipo de via dos dados coletados (Fonte: Elaborado pelas autoras. Fonte dos dados:)

Observou-se, por meio da base de malha viária do OpenStreetMap, que quase a totalidade das vias do tipo “*residential*” eram vias não-semaforizadas, ou seja, que a taxa de verde efetivo seria equivalente a 100%. As do tipo *residential* que eram semaforizada tiveram, para fins de operacionalizar o cruzamento de dados, o tipo alterado para “*tertiary*”, por se tratarem de vias menores.

Uma vez estimados os dados de taxa de verde efetivo e fluxo de saturação de todas as vias estudadas, foi calculada a capacidade de cada via.

5.6 Associação com dados de saúde pública

Os dados referente aos diagnósticos foram obtidos pelo Sistema Único de Saúde do município de São Paulo, disponibilizado pelo Centro de Estudos da Metrópole. A base de dados é referente aos diagnósticos realizados pela rede pública de saúde da cidade durante o ano de 2007, georreferenciada através do CEP da residência informado pelo paciente no momento da consulta.

A seleção dos diagnósticos relacionados à poluição atmosférica foi através da Classificação Internacional de Doenças delimitadas na literatura (HEI, 2010). Os diagnósticos escolhidos englobaram doenças do aparelho respiratório (J00-J32; J40-J47; J80-J99) e circulatório (I00-I99), sendo filtrados por meio do campo "diags_principal" no QGis.

Segundo o banco de dados do SUS, foram realizados 516 mil diagnósticos, sendo 14 mil referentes à doenças relacionadas à poluição atmosférica.

Os pacientes foram associados aos distritos por meio da geolocalização, em que a camada com os pontos relacionados à residência do paciente foram sobreposta sobre a camada com os distritos do município São Paulo e então pelo comando "Recortar", somente os diagnósticos dos distritos de Cidade Tiradentes e Pinheiros foram selecionados, havendo 433 e 52 pacientes, respectivamente.

Pelo setores censitários (IBGE, 2010) obtidos pelo Centro de Estudo da Metrópole, foi possível segmentar internamente cada distrito em áreas menores com o intuito de identificar regiões mais críticas em relação às enfermidades.

Por meio de um campo calculado no QGis, calculou-se a taxa de diagnósticos relacionados à poluição atmosférica através da seguinte fórmula:

$$tx_{diags} = diags / pop. residente \quad (21)$$

Em que:

tx_{diags} = taxa de diagnósticos em %

$diags$ = número de pacientes diagnosticados com doenças relacionadas à poluição atmosférica no setor censitário

$pop. residente$ = população residente no setor

5.7 Análises espaciais

Para a determinação do indicador de fluxo dos distritos de Cidade Tiradentes e Pinheiros, utilizou-se a base de dados do sistema viário da cidade de São Paulo do OpenStreetMap como camada base.

Dentro dos dados fornecidos com as vias, temos identificadores únicos para cada via, a denominação da via e sua classificação no sistema viário. Foram identificadas as principais vias, através do atributo de classificação, permitindo que a análise atingisse um bom espectro do sistema viário, desde vias locais até vias expressas, assim atingindo também as residências dos habitantes do distrito. (Figuras 10 e 11)

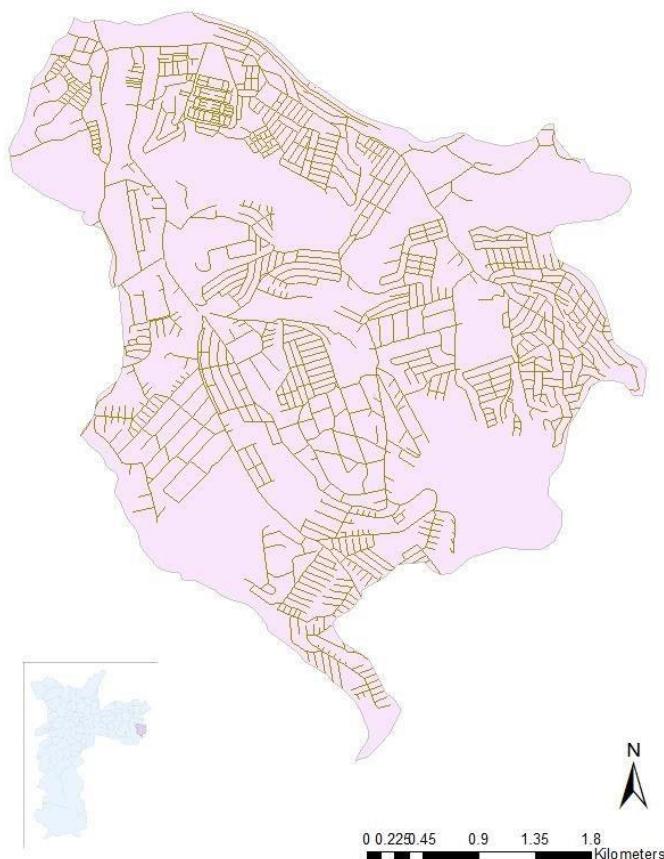


Figura 10 - Vias no distrito de Cidade Tiradentes (Fonte: Mapa elaborado pelas autoras. Fonte dos dados: OpenStreetMap.)

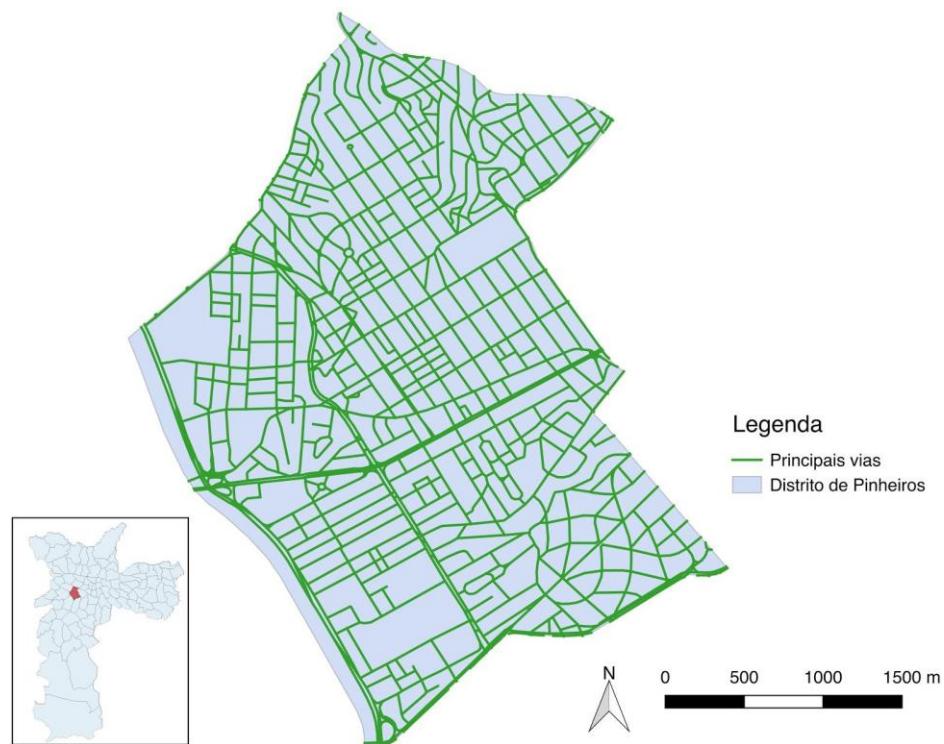


Figura 11 - Vias do distrito de Pinheiros (Fonte: Mapa elaborado pelas autoras. Fonte dos dados: OpenStreetMap)

Os veículos rastreados foram a segunda camada da análise, sobrepondo o sistema viário dos distritos. Com os mapas gerados é possível notar a concentração de veículos sobre as principais vias de Cidade Tiradentes, como por exemplo a Avenida dos Metalúrgicos e em Pinheiros, na Marginal Pinheiros e na Avenida Rebouças. (Figuras 12 e 13)

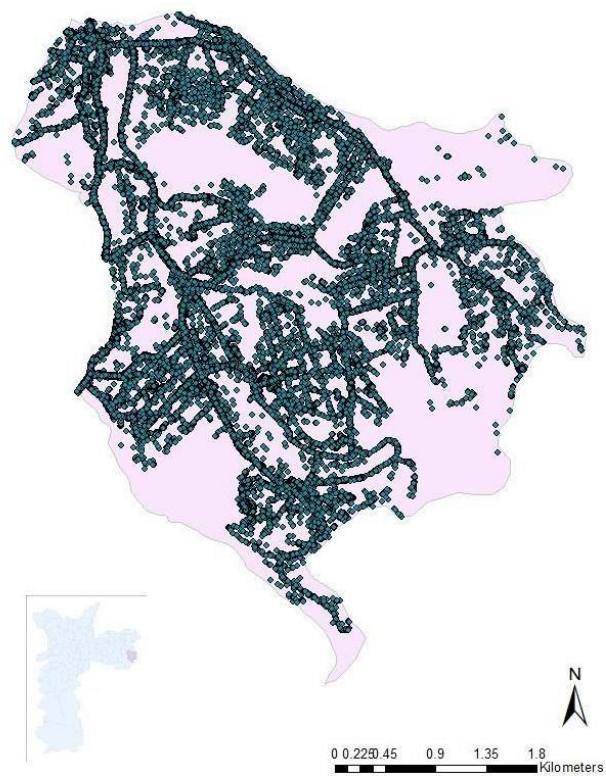


Figura 12 - Veículos rastreados no distrito de Cidade Tiradentes (Fonte: Mapa elaborado pelas autoras. Fonte dos dados: MapLink e OpenStreetMap)



Figura 13 - Veículos rastreados no distrito de Pinheiros (Fonte: Mapa elaborado pelas autoras. Fonte dos dados: MapLink e OpenStreetMap)

Com a associação dos veículos às vias dos distritos, para cada via havia um grupo de veículos com diferentes velocidades no período das 17:00 às 20:00, para as análises subsequentes foi adotada a média dessas velocidades para cada via.

Por meio da fórmula de indicador de fluxo (Fórmula 17) proposta foram obtidos os resultados para as vias de Cidade Tiradentes e Pinheiros, apresentados no capítulo de resultados.

5.8 Análise de associação espacial

Com os indicadores de fluxo calculados para as vias de Cidade Tiradentes e Pinheiros e as taxas de diagnósticos relacionados à poluição veicular para os setores censitários dos distritos, foi realizada uma análise espacial através do software GeoDa, calculando o LISA Univariável para o indicador de fluxo e a taxa de diagnóstico separadamente e o LISA Bivariável para a compreensão da correlação espacial entre os dois atributos.

A análise espacial realizada pelo GeoDa inclui a significância estatística do

parâmetro ou parâmetros estudados, a dispersão dos valores e a identificação de "clusters" ou aglomerados espaciais positivos ou negativos (GETIS, 1992).

Para a obtenção dos indicadores LISA, uma camada com os setores de cada distrito contendo a taxa de diagnóstico e o fluxo das principais vias da região é adicionado no software e então é criado o *weight*, identificação do atributo que contém o identificador único de cada setor. Em seguida, utiliza-se o comando Univariate Local Moran's I, na aba Space, para a análise do indicador de fluxo e da taxa de diagnóstico e para a correlação dos dois parâmetros, o Bivariate Local Moran's I.

A análise espacial faz uso do Teste de Fisher, um teste de significância estatística utilizado para análise de correlação de dados, que consiste em calcular o p-valor e utilizá-lo como um grau de discordância entre a hipótese nula (de que não existe correlação) postulada H_0 e os dados observados (SANTOS, 2016). O p-valor é uma estatística positiva, tal que quanto maior for o seu valor, maior deve ser a discordância entre H_0 e os dados observados. Os níveis de significância usualmente adotados são 5%, 1% e 0,1% (PAES, 1998).

6. RESULTADOS

Uma vez coletados e estimados todos os dados necessários para o cálculo do indicador de fluxo de todas as vias de Pinheiros e Cidade Tiradentes, e filtrados os dados de doenças respiratórias provocadas por poluição dessas regiões, pôde-se comparar a fórmula do indicador de fluxo (fórmula (17)) em relação a fórmula da BPR (fórmula (12)) e gerar resultados gráficos apresentados na forma de mapas das duas regiões. Neste capítulo serão apresentados esses resultados numa sequência lógica em que se mostra, para cada tema, um resultado de cada distrito. Entre os resultados gráficos, serão apresentados primeiramente os resultados individuais, e em seguida a relação entre eles.

6.1 Comparação com a fórmula BPR

Como forma de verificar a validade de nosso indicador de fluxo, comparou-se os resultados provenientes da fórmula (17) e a fórmula BPR (fórmula (12)) adaptada para cálculo do fluxo:

$$Q_{BPR} = \left(\frac{V_{lim} - 1}{V} \right)^{\frac{1}{\beta}} \cdot Cap \quad (22)$$

Em que:

Q_{BPR} = fluxo, em veic/h, por meio da fórmula da BPR

V = velocidade média na hora-pico, em km/h

V_{lim} = velocidade limite da via, em km/h

Cap = Capacidade da via, em veic/h

α = coeficiente alpha, adotado como 0,24

β = coeficiente beta, adotado como 7,5

A partir desse resultado, calculou-se, para cada distrito, a seguinte razão: $\frac{Indicador\ de\ f\ luxo}{Fluxo\ BPR}$ na forma de porcentagem. Em seguida, foi realizado uma distribuição de frequência dessa razão em intervalos de decis, de 10% em 10%, e percebeu-se que:

- Existe uma frequência crescente da razão à medida em que se aproxima do

- intervalo 50%-60%;
- b) O intervalo 50%-60% concentra a maioria dos resultados.

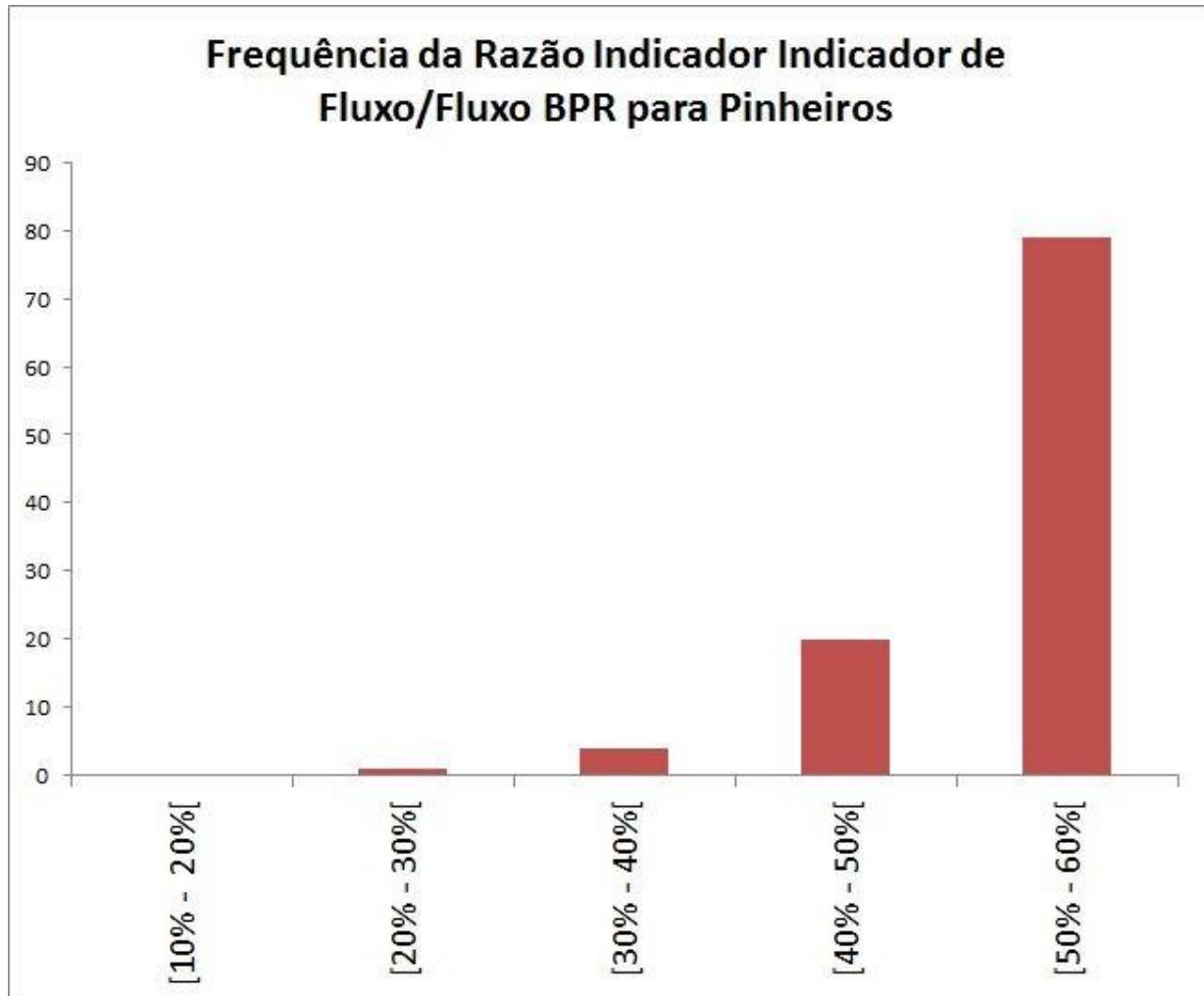


Figura 14 - Gráfico de frequência da razão Indicador de Fluxo/Fluxo BPR para Pinheiros
(Fonte: Mapa elaborado pelas autoras. Fonte dos dados: MapLink e OpenStreetMap)

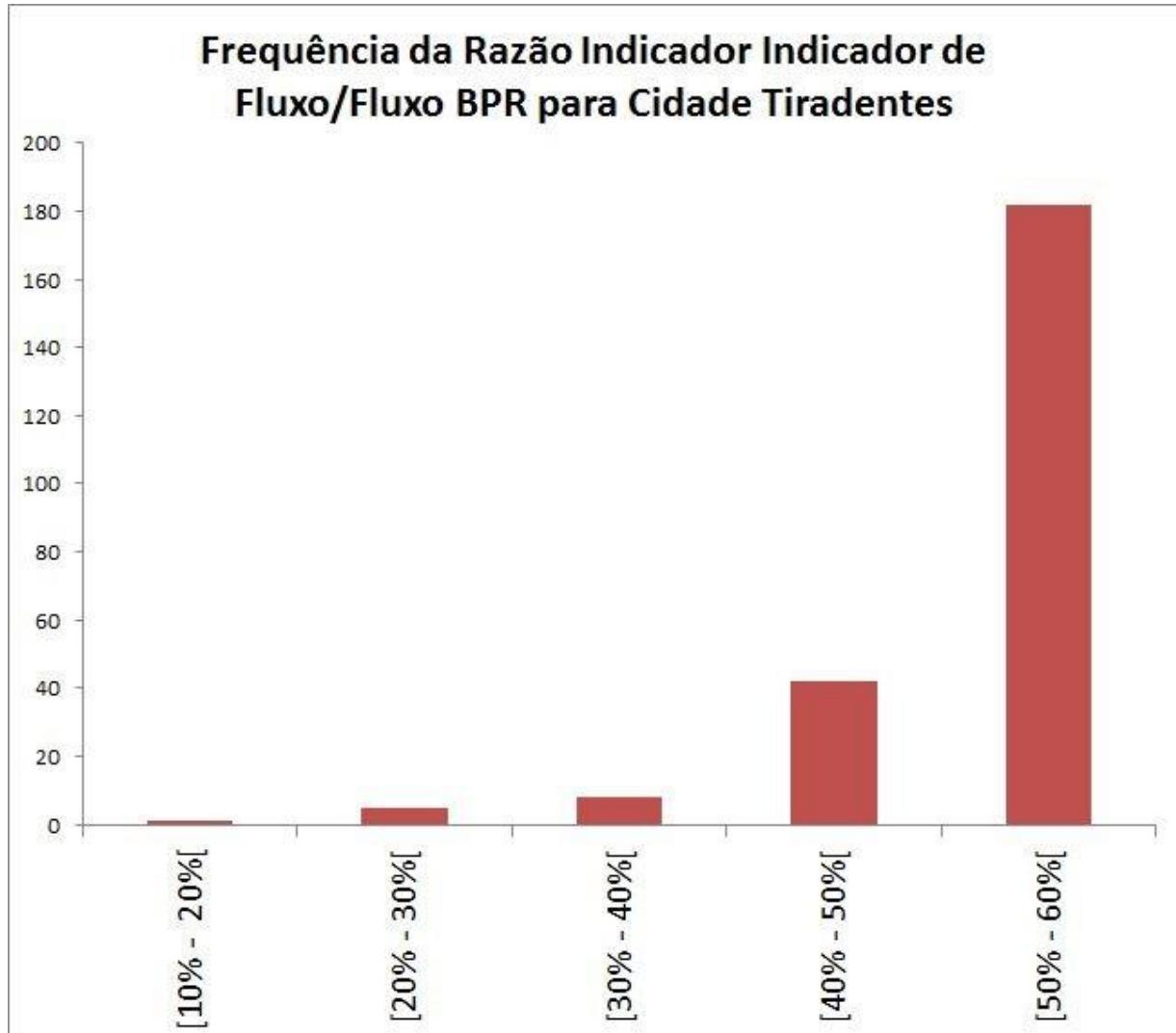


Figura 15 - Gráfico de frequência da razão Indicador de Fluxo/Fluxo BPR para Cidade Tiradentes (Fonte: Mapa elaborado pelas autoras. Fonte dos dados: MapLink e OpenStreetMap)

A partir dessa análise, nota-se que há relativa proporcionalidade entre o indicador de fluxo e o fluxo segundo a fórmula da BPR em torno de 50% a 60%, o que sugere que o indicador de fluxo é um valor adequado para a análise agregada e relativa da distribuição espacial dos fluxos.

Como forma gráfica de se verificar a proporcionalidade entre os parâmetros, foram elaborados dois mapas de cada região (Figuras 15 e 16), sendo os mapas da esquerda referentes ao Indicador de Fluxo e os mapas da direita referentes à Fórmula da BPR. As cores mais intensas representam fluxos mais intensos.

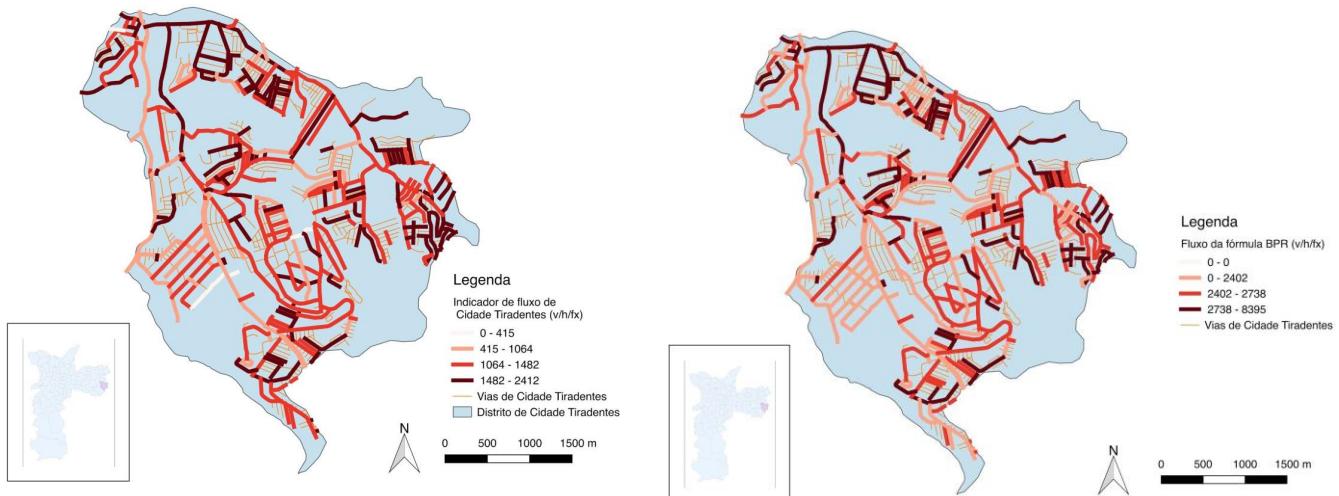


Figura 16 - Indicador de Fluxo e Fluxo segundo a fórmula da BPR nas vias de Cidade Tiradentes (Fonte: Elaborada pelas autoras. Fonte dos dados: MapLink e OpenStreetMap)

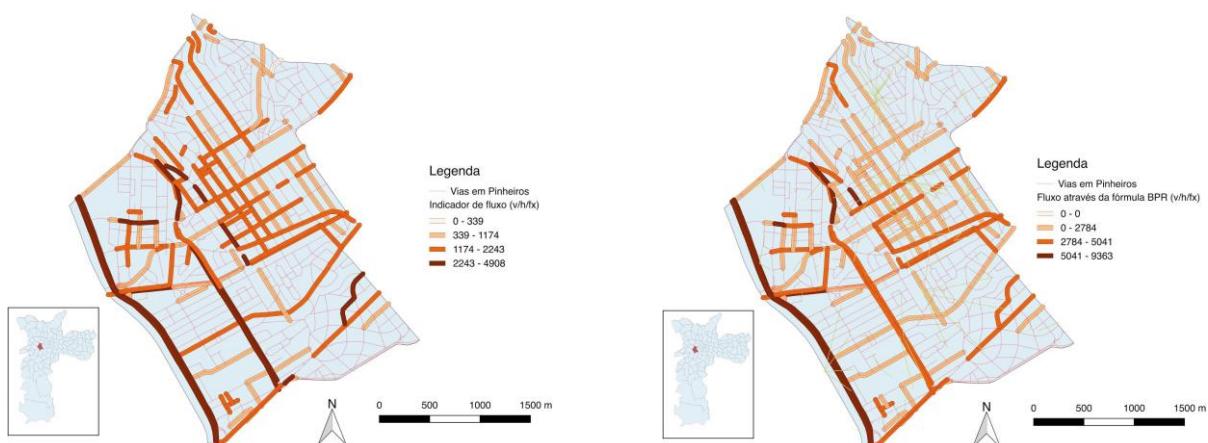


Figura 17 - Indicador de Fluxo e Fluxo segundo a fórmula da BPR nas vias de Pinheiros (Fonte: Elaboradas pelas autoras. Fonte dos dados: MapLink e OpenStreetMap)

Observa-se nítida semelhança dos mapas em ambos distritos, sendo mais evidente em Cidade Tiradentes. A proporcionalidade é evidenciada não necessariamente pelos mapas apresentarem a mesma cor nas vias da mesma região, mas por haver correspondência entre os locais de maior e menor fluxo segundo a fórmula aplicada.

6.2 Resultados individuais

A partir da aplicação da fórmula do indicador de fluxo para as regiões de Cidade Tiradentes e Pinheiros (Figuras 17 e 18), obteve-se os seguintes resultados:

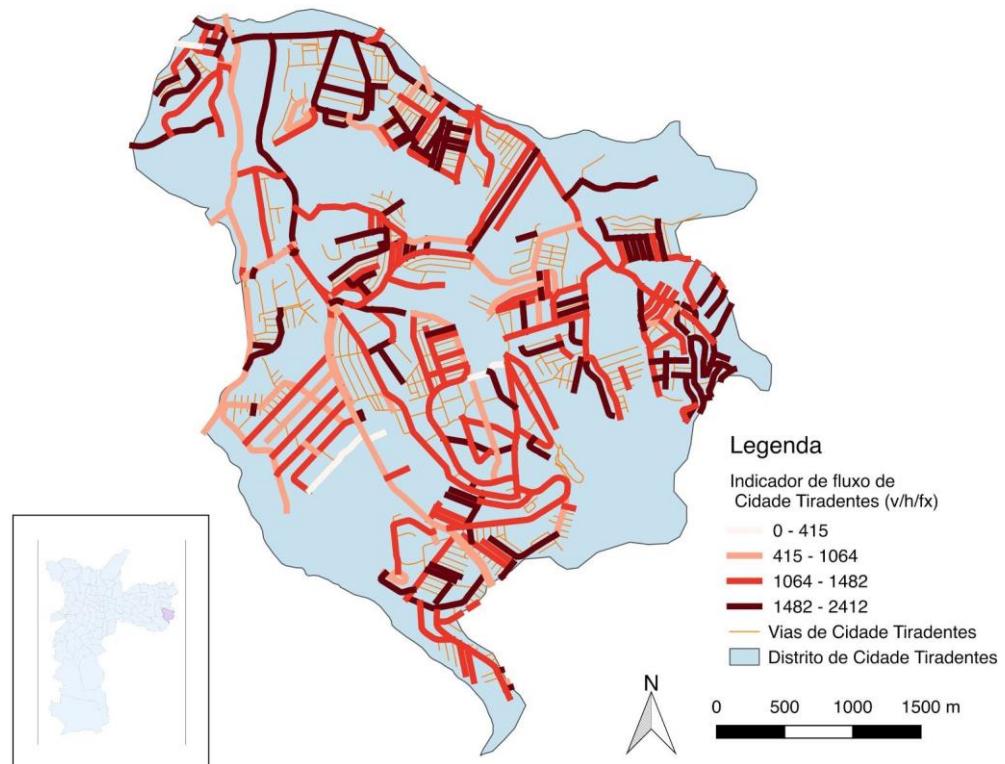


Figura 18 - Mapa com indicadores de fluxo de Cidade Tiradentes (Fonte: Mapa elaborado pelas autoras. Fonte dos dados: MapLink e OpenStreetMap)

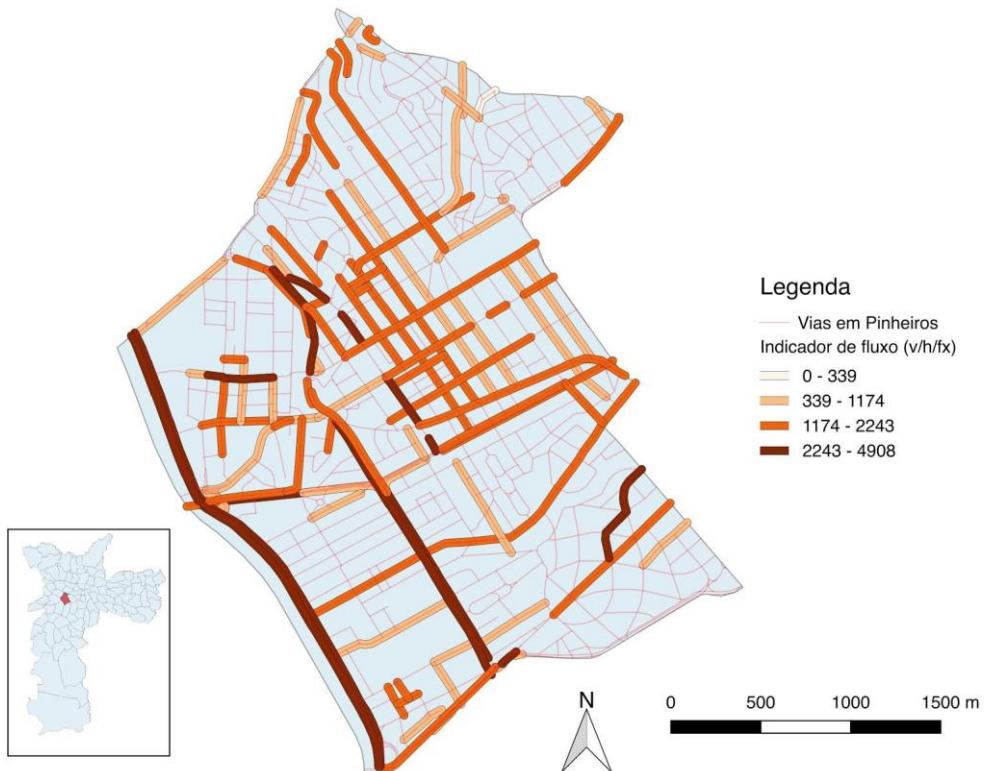


Figura 19 - Mapa com indicadores de fluxo de Pinheiros (Fonte: Mapa elaborado pelas autoras. Fonte dos dados: MapLink e OpenStreetMap)

Percebe-se que, para Cidade Tiradentes, o fluxo se concentra nas principais vias, mas também em vias adjacentes, que têm interseção com as vias principais. As vias do tipo *residential* que não têm interseção com as vias principais, não sofrem a mesma interferência, e portanto apresentam fluxo reduzido.

Com relação a Pinheiros, o fluxo está concentrado nas vias principais, dos tipos *trunk* e *primary*, como a Av. Faria Lima e a Av. Rebouças, e em algumas vias do tipo *secondary* e *tertiary*, principalmente na metade norte do distrito. As vias do tipo *residential* apresentaram tráfego reduzido.

Nota-se diversas vias sem a informação do fluxo, o que está relacionado com a falta de dados de rastreamento de veículos no horário especificado ou com a falta de alguma informação do sistema viário do OpenStreetMap que impedia o cálculo da capacidade da via, como por exemplo a velocidade limite da via.

Para realização de uma análise estatística, foi utilizado o software GeoDa, e calculado o nível de significância (p-valores) dos indicadores de fluxo nos setores

censitários de Cidade Tiradentes e Pinheiros (Figuras 19 e 20).

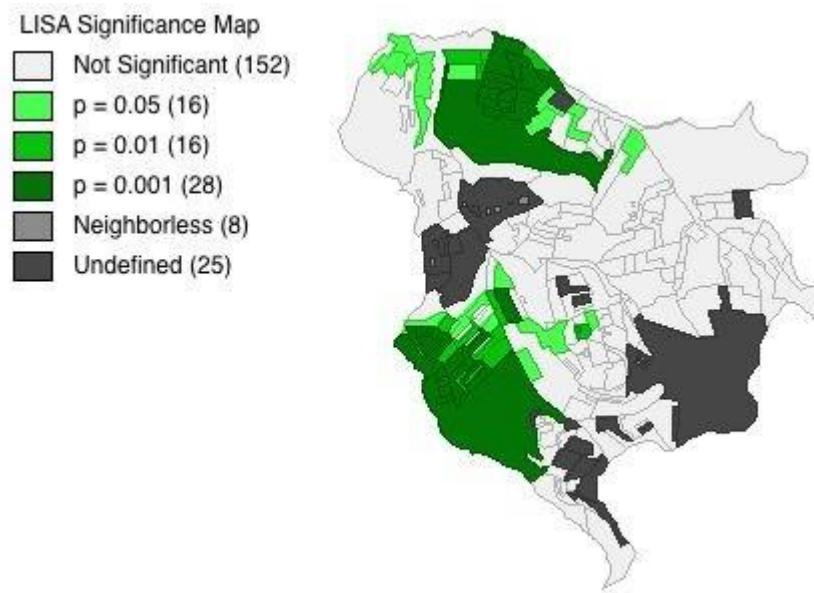


Figura 20 - Mapa de significância LISA de indicadores de fluxo do distrito de Cidade Tiradentes (Fonte: Mapa elaborado pelas autoras. Fonte dos dados: MapLink e OpenStreetMap)

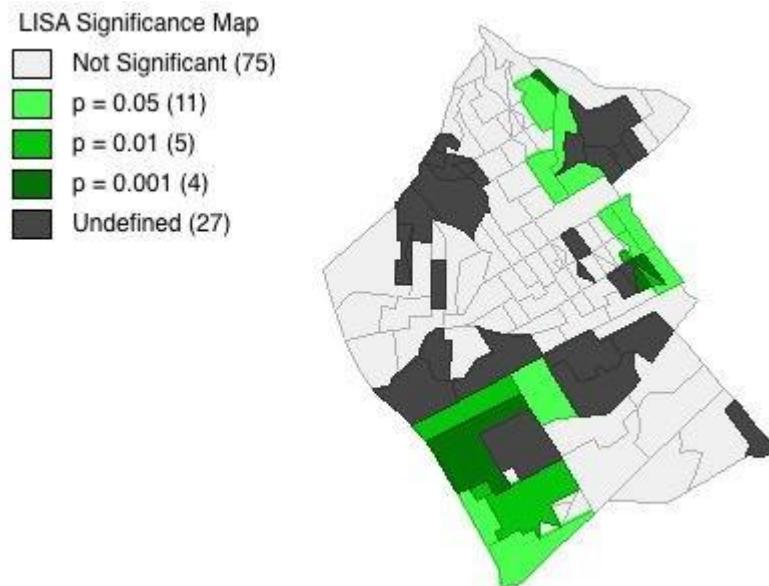


Figura 21 - Mapa de significância LISA de indicadores de fluxo de Pinheiros (Fonte: Mapa elaborado pelas autoras. Fonte dos dados: MapLink e OpenStreetMap)

Os níveis de significâncias LISA dos indicadores de fluxo apresentados indicam em que regiões os valores do indicador são mais significativos em relação aos vizinhos. Quanto menor o valor p apresentado, maior a significância do indicador, representado por um verde mais escuro.

Em relação aos indicadores de fluxo, nota-se uma quantidade expressiva de setores censitários sem significância estatística, aproximadamente 60%, ou seja, em que há a possibilidade do indicador de fluxo não ter relação espacial em ambos os distritos. Para 10% dos setores de Cidade Tiradente não foi definido valor de indicador de fluxo e para Pinheiros, 22% dos setores. Assim, foi possível identificar uma concentração de regiões com indicadores de fluxo semelhantes para 18% dos setores de Pinheiros e 30% em Cidade Tiradentes.

Novamente com o auxílio do GeoDa foram gerados gráficos de dispersão para os valores dos indicadores de fluxo dos setores dos distritos de Cidade Tiradentes e Pinheiros, para avaliar a autocorrelação espacial desse atributo entre os setores. O gráfico representa quatro quadrantes, sendo que os da direita superior e esquerda inferior representam correlação espacial positiva, enquanto os da esquerda superior e direita inferior revelam uma correlação negativa (Figuras 22 e 23).

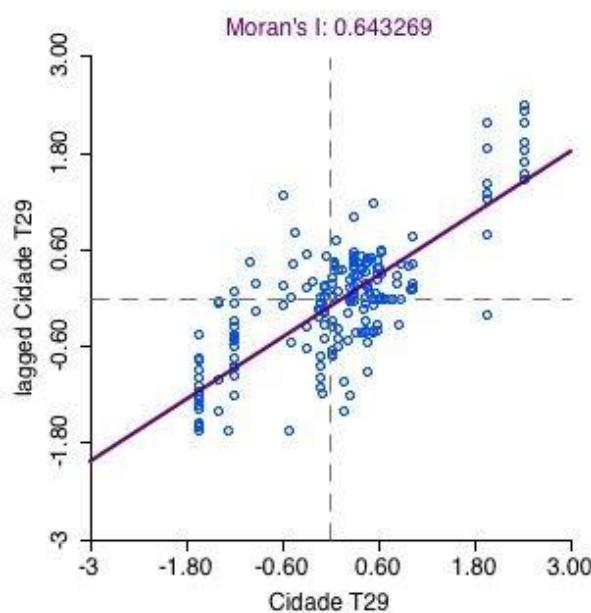


Figura 22 - Dispersão Moran's I de indicadores de fluxo no distrito de Cidade Tiradentes

(Fonte: Mapa elaborado pelas autoras. Fonte dos dados: MapLink e OpenStreetMap)

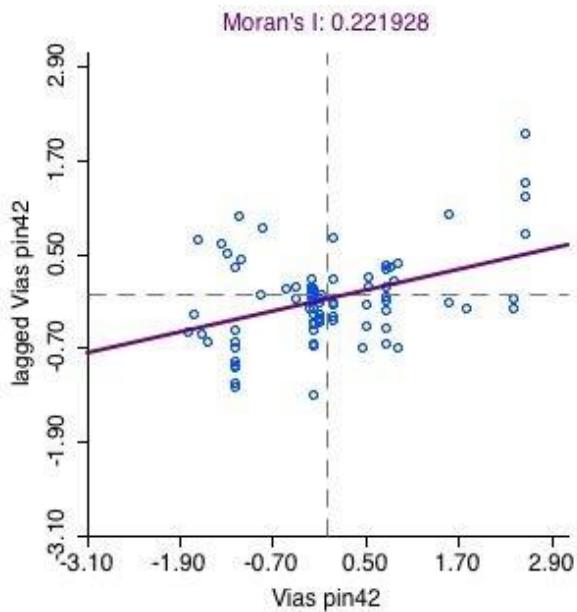


Figura 23 - Dispersão Moran's I de indicadores de fluxo de Pinheiros (Fonte: Mapa elaborado pelas autoras. Fonte dos dados: MapLink e OpenStreetMap)

O gráfico de dispersão de Cidade Tiradentes revelou uma tendência de correlação espacial para os indicadores de fluxo entre seus setores, como ilustrado na linha projetada, com inclinação aproximada de 45°. Por outro lado, o distrito de Pinheiros apresenta uma concentração de pontos na divisão vertical dos quadrantes, apresentando uma linha projeta com menor inclinação, evidenciando uma menor correlação espacial.

Para a identificação dos clusters, ou seja, regiões de aglomeração de valores de indicador de fluxo, foi gerado o mapa de LISA Cluster pelo GeoDa para os dois distritos (Figuras 24 e 25). O LISA Cluster apresenta regiões em que os setores vizinhos possuem valores do atributo estudado semelhantes como *High-High* ou *Low-Low*, para quando os valores são altos ou baixos, respectivamente entre os vizinhos. Para regiões *High-Low* ou *Low-High*, temos a não correlação do atributo em termos espaciais, ou seja, regiões com atributo de valores altos e vizinhos com valores baixos.

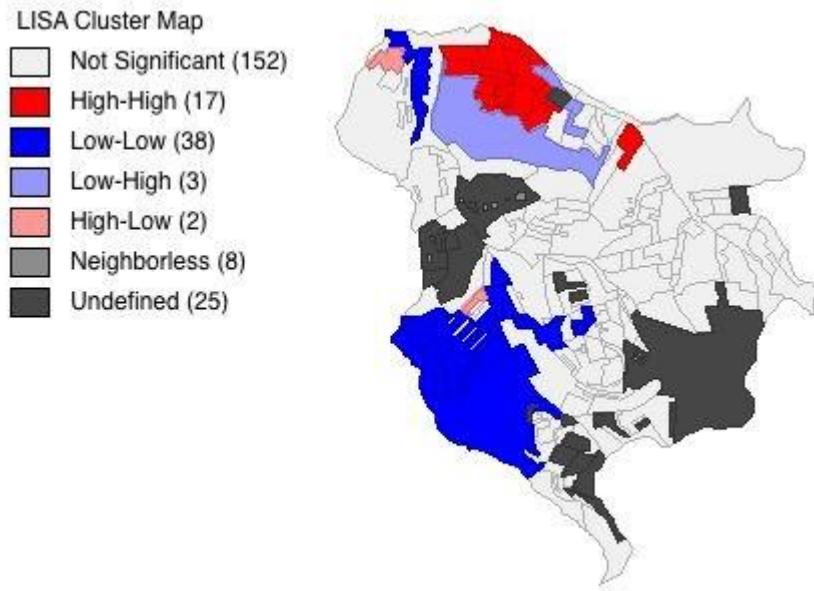


Figura 24 - Mapa de clusters LISA de indicadores de fluxo do distrito de Cidade Tiradentes
(Fonte: Mapa elaborado pelas autoras. Fonte dos dados: MapLink e OpenStreetMap)

Para Cidade Tiradentes notamos que entre as áreas com valores de indicador de fluxo significante, temos mais regiões com correlação espacial, 91% dos setores, do que sem correlação (Figura 24). Dos setores com correlação, 30% apresentaram correlação espacial positiva e de valores altos, que geograficamente está localizado no extremo norte do distrito.

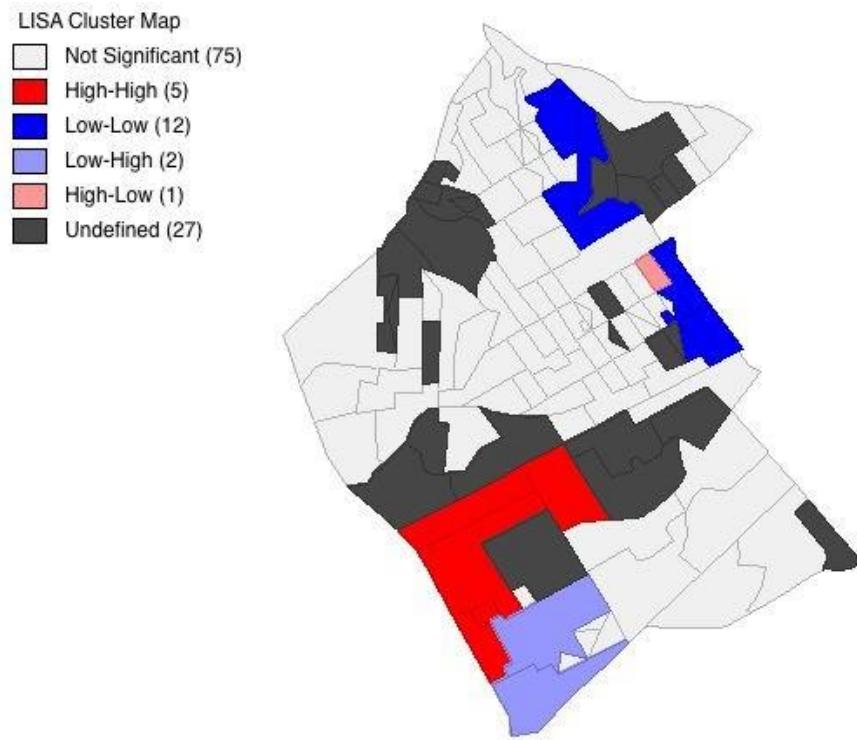


Figura 25 - Mapa de clusters LISA de indicadores de fluxo de Pinheiros (Fonte: Mapa elaborado pelas autoras. Fonte dos dados: MapLink e OpenStreetMap)

Em Pinheiros, há uma quantidade menor de setores com significância para o indicador de fluxo, porém com maior representatividade em correlação espacial positiva, 85% dos setores censitário. Dos setores com correlação espacial positiva, 33% apresentaram valores altos, localizados na região sudoeste do distrito (Figura 24).

Para a análise dos dados de saúde pública, foram associados aos setores censitários os diagnósticos relacionados à poluição veicular, permitindo o cálculo da taxa de diagnósticos por setor (Figuras 26 e 27).

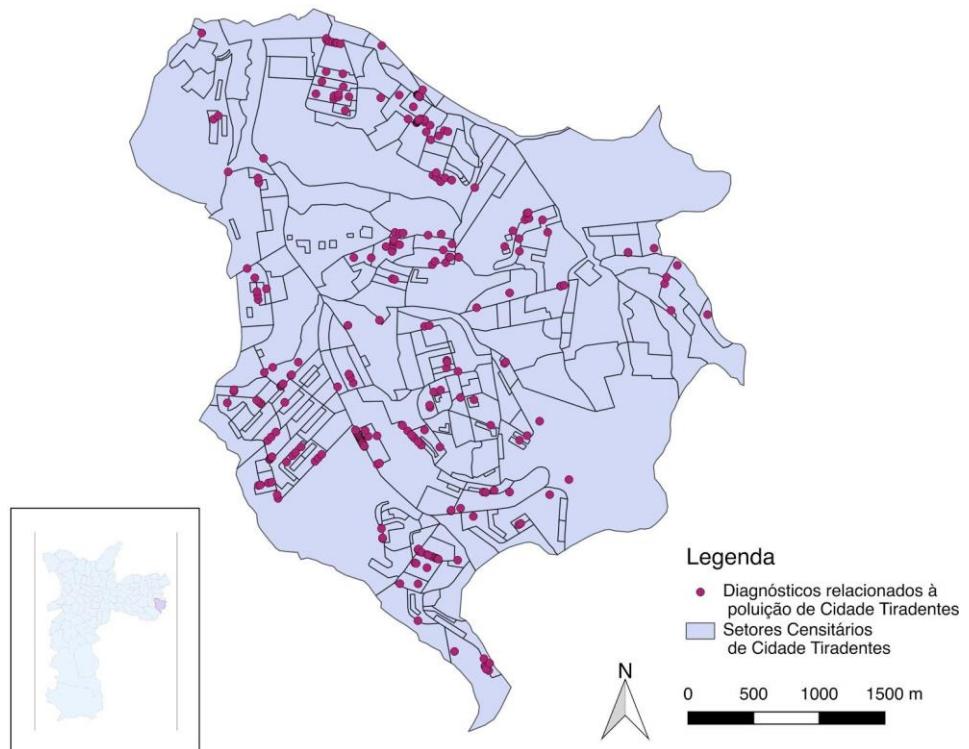


Figura 26 - Diagnósticos relacionados à poluição atmosférica no distrito de Cidade Tiradentes (Fonte: Mapa elaborado pelas autoras. Fonte dos dados: SUS e OpenStreetMap)

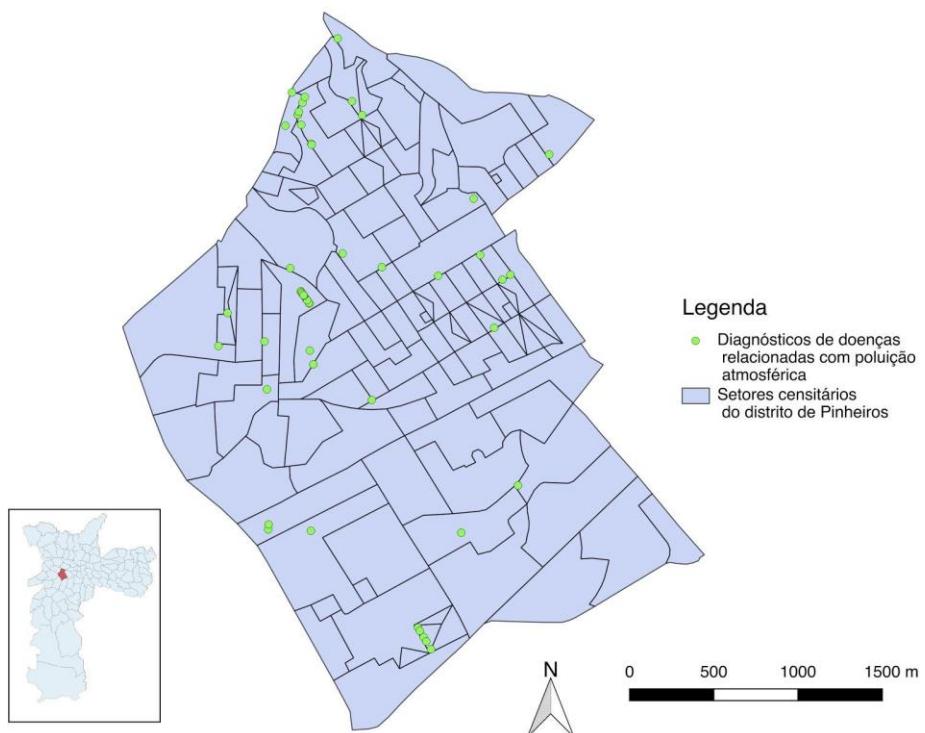


Figura 27 - Diagnósticos de doenças relacionadas à poluição atmosférica no distrito de Pinheiros (Fonte: Mapa elaborado pelas autoras. Fonte dos dados: SUS e OpenStreetMap)

Por meio dos mapas de diagnósticos relacionados à poluição atmosférica por setor censitário, nota-se a discrepância de quantidade de dados entre os dois distritos estudados, com 433 diagnósticos em Cidade Tiradentes e 52 em Pinheiros. Essa diferença se dá pela base de dados ser do sistema público de saúde do município de São Paulo, assim que para um distrito de alta renda familiar, como é o caso de Pinheiros, os moradores são mais propícios à utilizarem o sistema privado de saúde.

Com a contagem de diagnósticos e a população residente de cada setor censitário, foi calculada a taxa de diagnósticos, ilustrada nos mapas nas Figuras 28 e 29 a seguir.

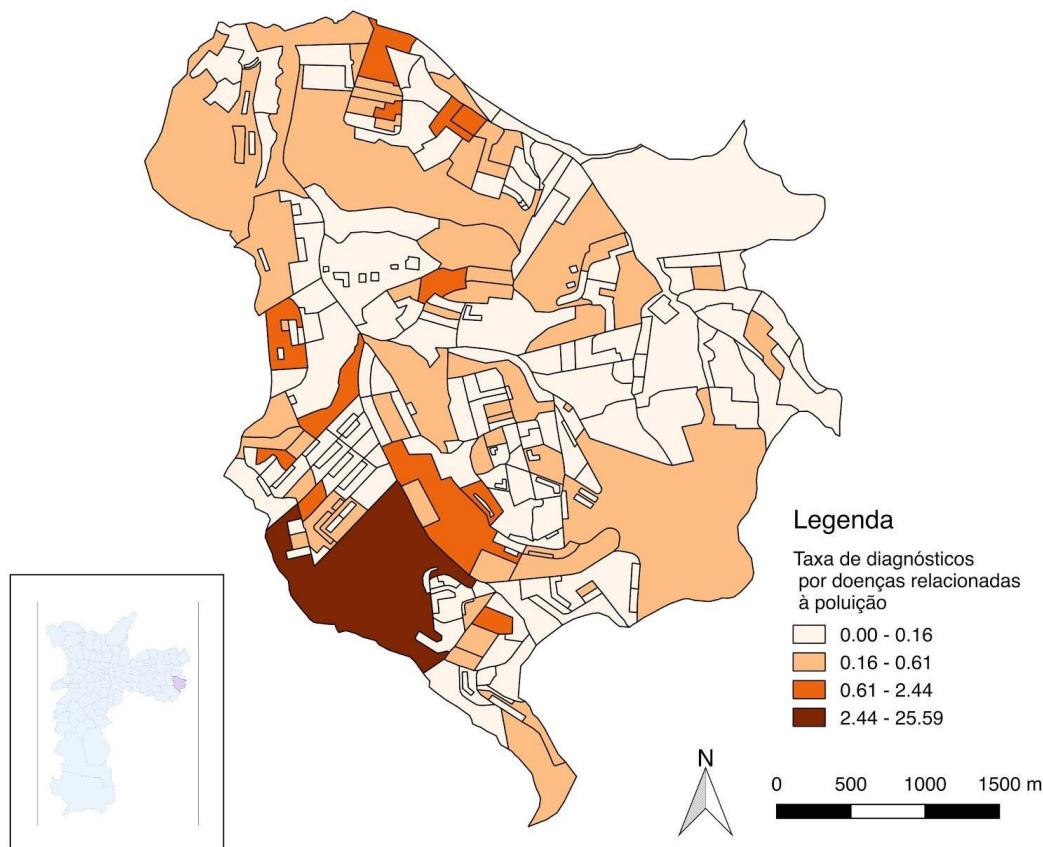


Figura 28 - Taxa de diagnósticos por doenças relacionadas à poluição atmosférica no distrito de Cidade Tiradentes (Fonte: Mapa elaborado pelas autoras. Fonte dos dados: SUS e OpenStreetMap)

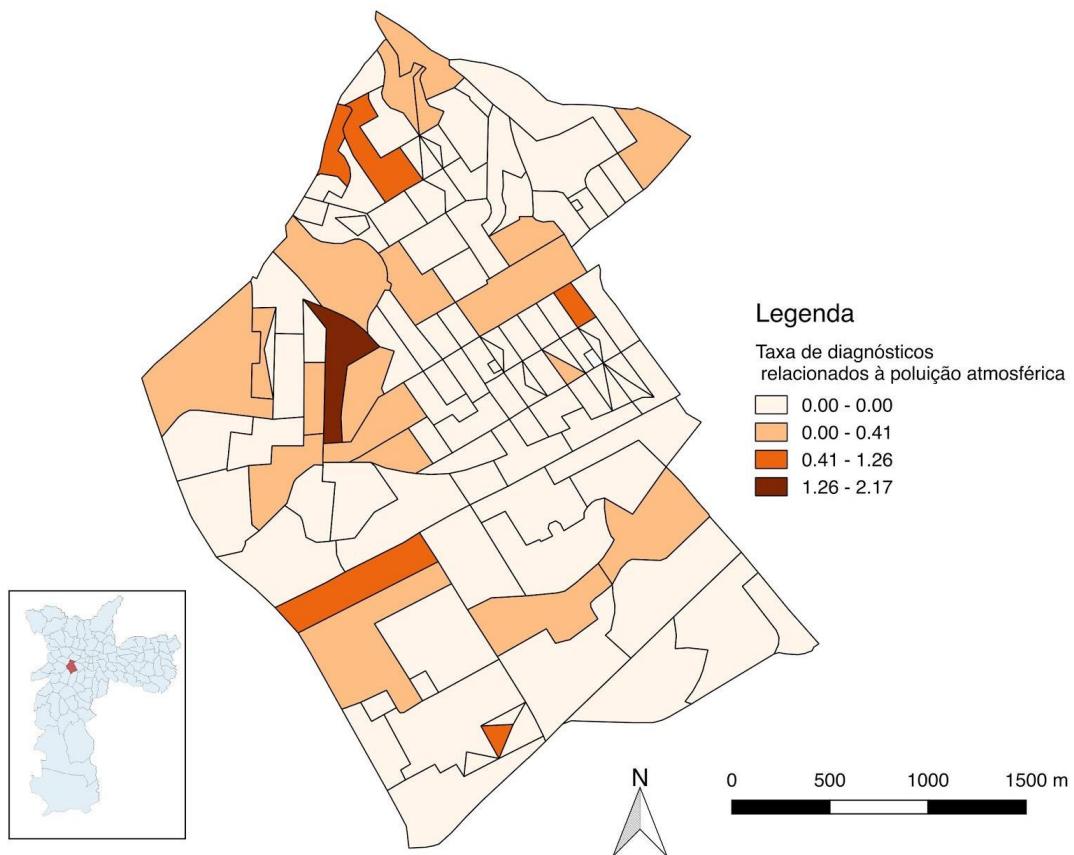


Figura 29 - Taxa de diagnósticos relacionados à poluição atmosférica no distrito de Pinheiros
(Fonte: Mapa elaborado pelas autoras. Fonte dos dados: SUS e OpenStreetMap)

As taxas de diagnósticos relacionados à poluição atmosférica tiveram uma variação maior entre os setores de Cidade Tiradentes, enquanto que para Pinheiros, as taxas apresentaram valores menores e uma uniformidade pelo distrito.

As mesmas análises de correlação espacial aplicadas para os indicadores de fluxo foram realizadas para a taxa de diagnósticos, gerando os mapas de significância e cluster LISA para Cidade Tiradentes (Figura 30 e 32) e para Pinheiros (Figuras 31 e 33).

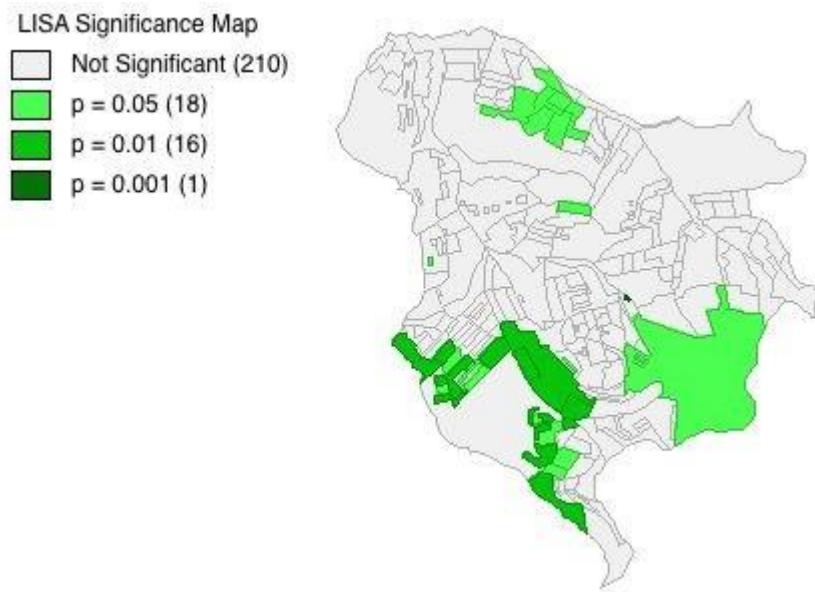


Figura 30 - Mapa de significância LISA de taxa de diagnósticos de Cidade Tiradentes (Fonte: Mapa elaborado pelas autoras. Fonte dos dados: SUS e OpenStreetMap)

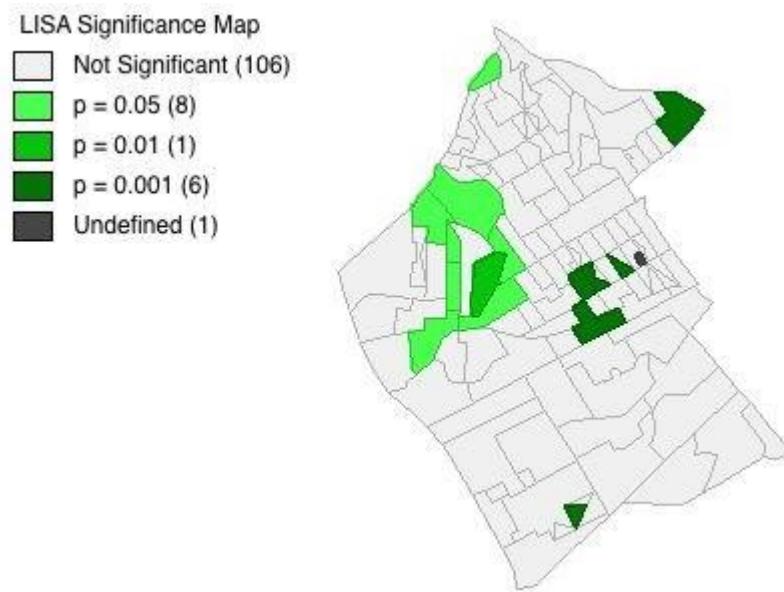


Figura 31 - Mapa de significância LISA de taxa de diagnósticos do distrito de Pinheiros (Fonte: Mapa elaborado pelas autoras. Fonte dos dados: SUS e OpenStreetMap)

Em Cidade Tiradentes, houveram 15% dos setores com valores significantes de taxa de diagnósticos, concentrados na região sul do distrito. Para Pinheiros, os

setores com valores significantes foi ainda menor, contando com 12% dos setores.

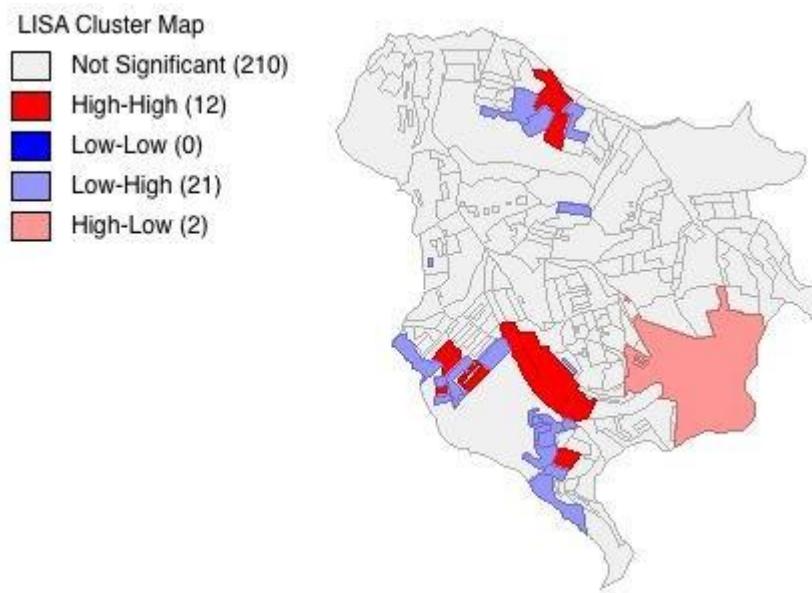


Figura 32 - Mapa de clusters LISA de taxa de diagnósticos do distrito de Cidade Tiradentes

(Fonte: Mapa elaborado pelas autoras. Fonte dos dados: SUS e OpenStreetMap)

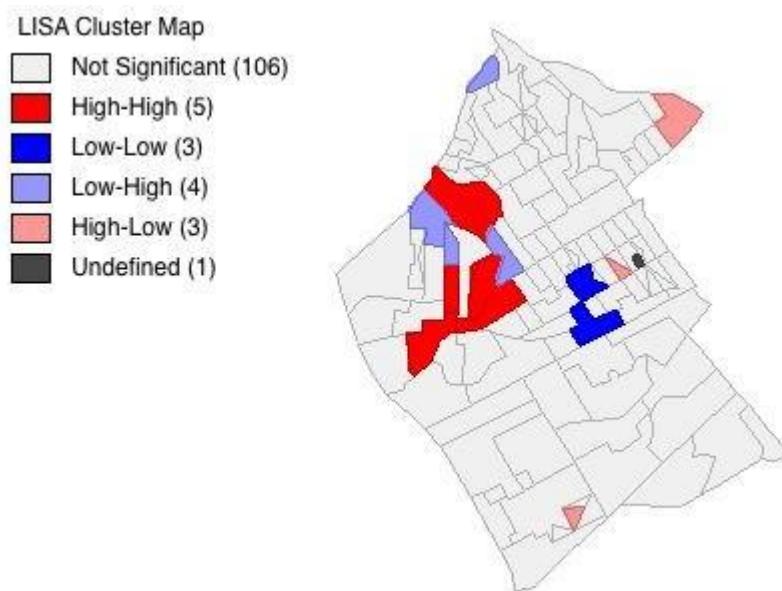


Figura 33 - Mapa de clusters LISA de taxa de diagnósticos de Pinheiros (Fonte: Mapa

elaborado pelas autoras. Fonte dos dados: SUS e OpenStreetMap)

Os mapas de LISA Clusters de taxa diagnósticos apresentaram menor

correlação espacial do que os valores de indicadores de fluxo, apresentando mais setores com correlação espacial negativa do que positiva para ambos os distritos. Para Cidade Tiradentes, há somente correlação espacial positiva *High-High*, localizada ao norte e à sudoeste do distrito. Em Pinheiros, a mesma situação foi encontrada na região noroeste do distrito.

6.3 Resultados comparativos

Neste segmento serão apresentados os resultados de forma que possam ser realizadas comparações entre eles.

Os mapas das figuras 34 e 35 a seguir apresentam tanto os indicadores de fluxo quanto as taxas de diagnóstico por doenças respiratórias provocadas por poluição veicular dos distritos Cidade Tiradentes e Pinheiros.

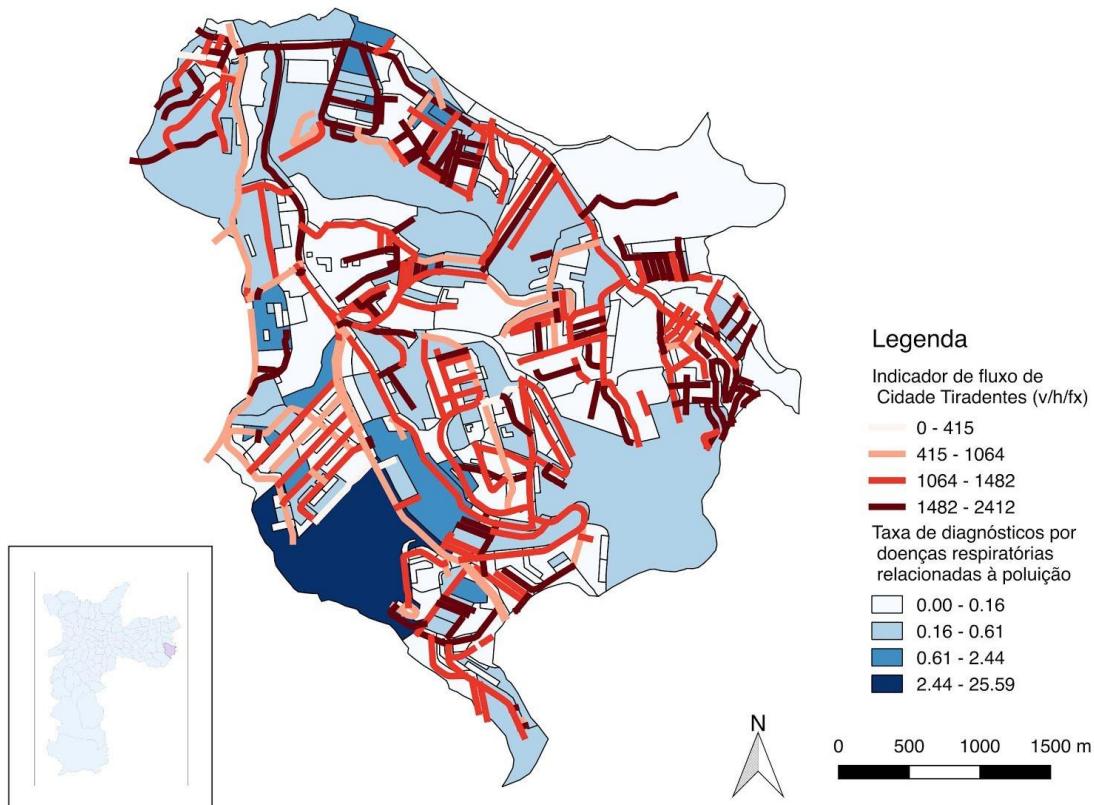


Figura 34 - Mapa de indicadores de fluxo e taxa de diagnósticos em Cidade Tiradentes
(Fonte: Mapa elaborado pelas autoras. Fonte dos dados: SUS, MapLink e OpenStreetMap)

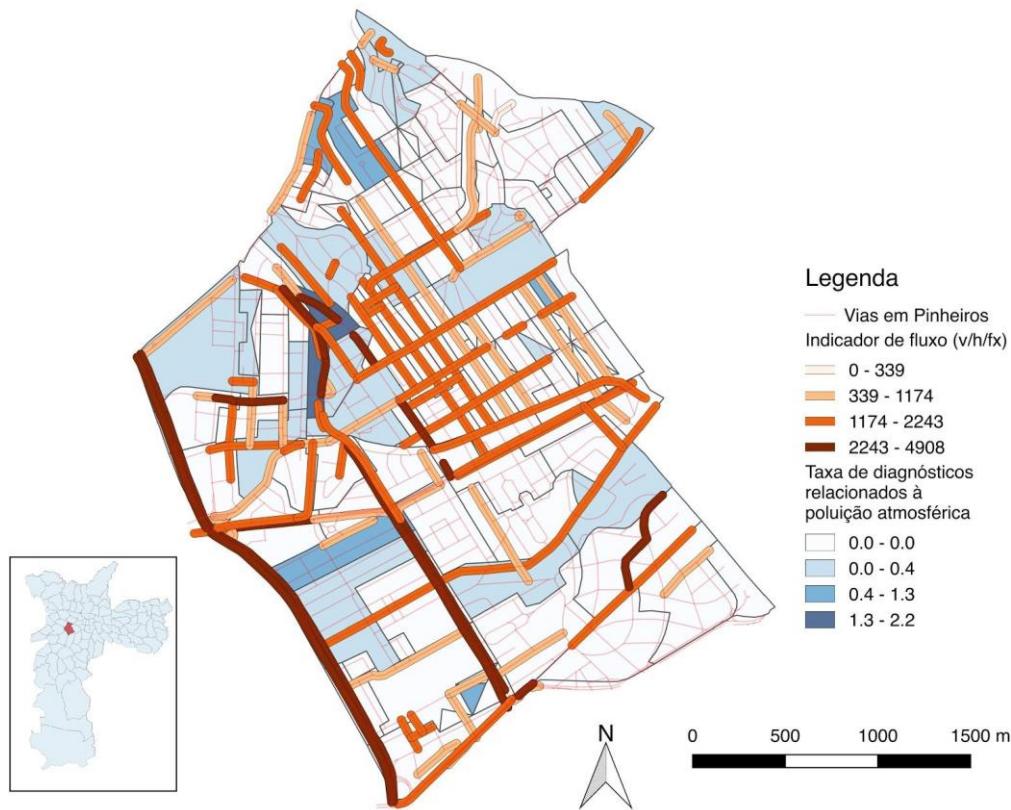


Figura 35 - Mapa de indicadores de fluxo e taxa de diagnósticos no distrito de Pinheiros
(Fonte: Mapa elaborado pelas autoras. Fonte dos dados: SUS, MapLink e OpenStreetMap)

Por meio da simples observação visual dos mapas das Figuras 34 e 35, não é possível identificar as correlações entre o indicador de fluxo e as taxas de saúde. Para esse fim, foi utilizado o software GeoDa, que promove a análise da correlação espacial entre os dois atributos.

O mapa gerado pelo BiLISA Significance, ou seja, cálculo dos p-valores dos atributos através do método LISA Bivariável promove a visualização das regiões em que o indicador de fluxo e a taxa de diagnósticos apresenta relevância estatística espacial (Figuras 36 e 37).

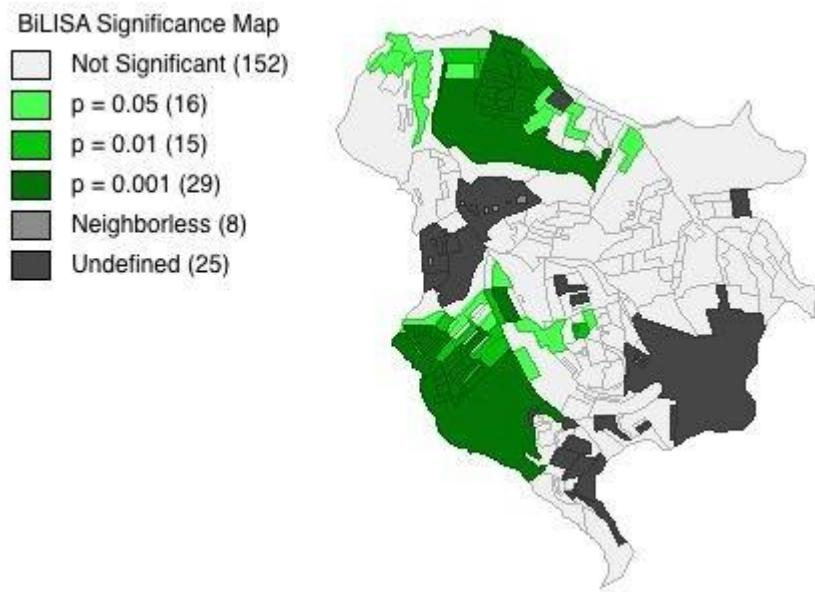


Figura 36 - Mapa de significância LISA Bivariate de indicadores de fluxo e de taxa de diagnósticos de Cidade Tiradentes (Fonte: Mapa elaborado pelas autoras. Fonte dos dados: SUS, MapLink e OpenStreetMap)

No distrito de Cidade Tiradentes, foi obtida significância em 25% dos setores censitários, dos quais aproximadamente 50% apresentaram p -valor de 0.001, indicando alta correlação espacial dos atributos. As regiões que possuem relevância estatística estão localizados na região norte e noroeste do distrito.

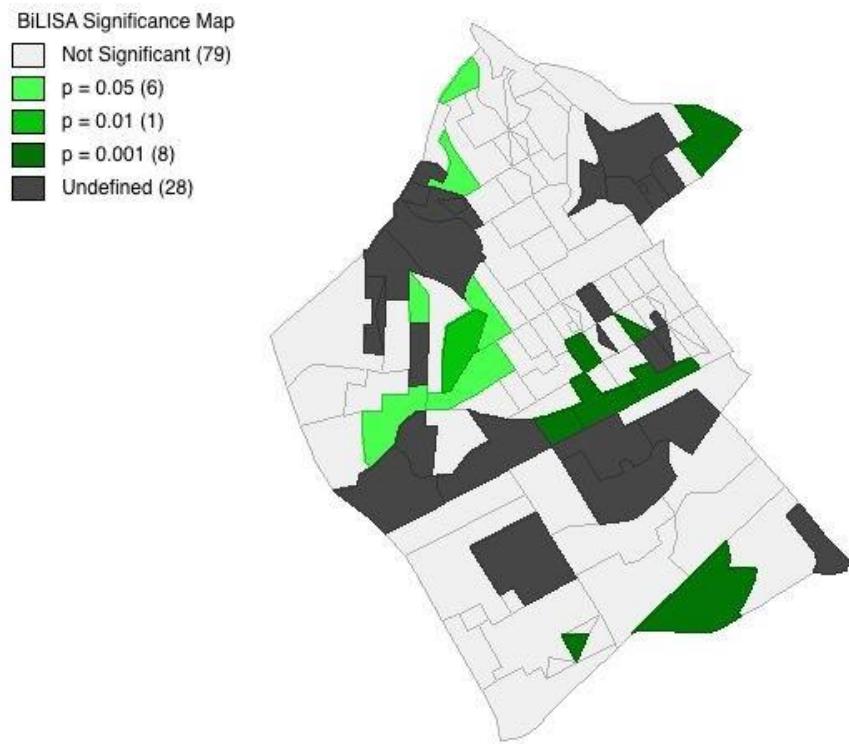


Figura 37 - Mapa de significância LISA Bivariate de taxas de diagnósticos e de indicadores de fluxo de Pinheiros (Fonte: Mapa elaborado pelas autoras. Fonte dos dados: SUS, MapLink e OpenStreetMap)

Para o distrito de Pinheiros, foi encontrada uma proporção menor de setores com significância, com apenas 7% dos distritos apresentando p-valor. Esses setores estão dispersos pelo distrito, com uma pequena concentração próxima da Avenida Rebouças e na região do Largo da Batata.

Os mapas a seguir (Figuras 38 e 39) indicam em que regiões as incidências dos valores foram correlatas. A classificação *High-High* indicam que tanto o indicador de fluxo, quanto a taxas de diagnóstico tiveram valores elevados e, analogamente, a classificação *Low-Low* indica que ambos valores foram baixos. Ambas classificações corroboram com a presença de correlação proporcional entre os dados apresentados, e consequentemente, com a hipótese levantada. Contrariamente, as classificações *low-high* e *high-low* indicam correlação inversamente proporcional dos dados analisados.

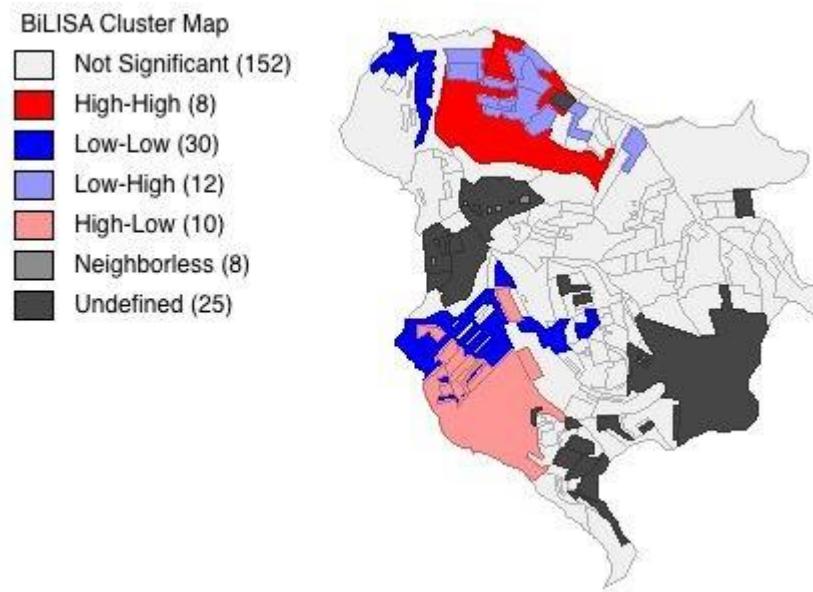


Figura 38 - Mapa de clusters LISA Bivariate de indicador de fluxo e taxa de internação em Cidade Tiradentes (Fonte: Mapa elaborado pelas autoras. Fonte dos dados: SUS, MapLink e OpenStreetMap)

Em Cidade Tiradentes, tivemos 25% dos setores com correlação espacial em cluster, dos quais 63% apresentaram correlação positiva, como destacado em vermelho forte para a região norte e em azul forte na região oeste.

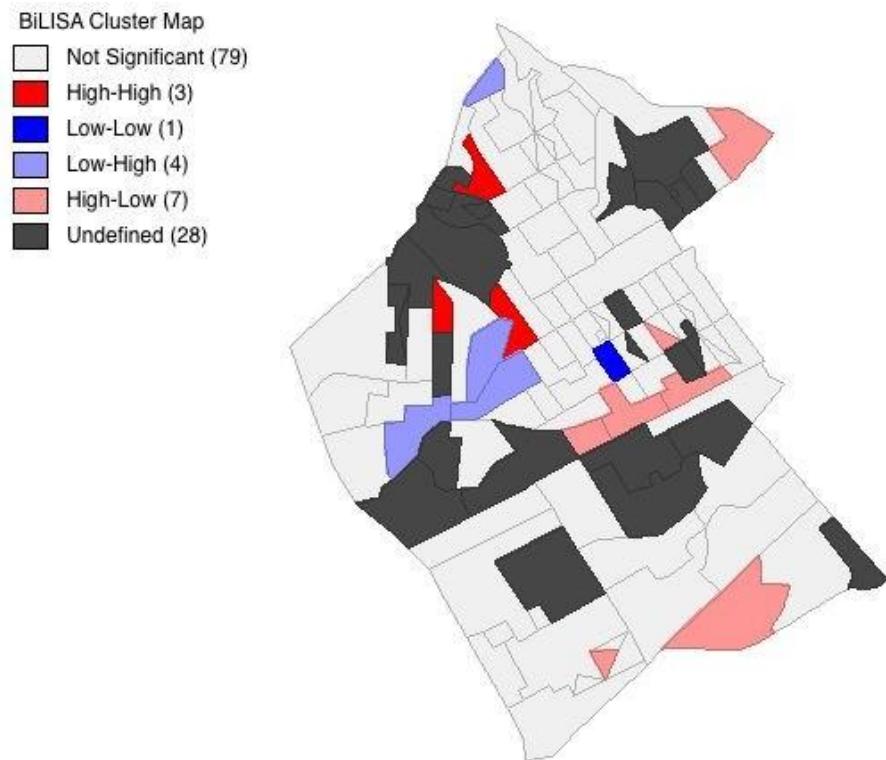


Figura 39 - Mapa de clusters LISA Bivariate de taxa de internação e indicador de fluxo em Pinheiros (Fonte: Mapa elaborado pelas autoras. Fonte dos dados: SUS, MapLink e OpenStreetMap)

O distrito de Pinheiros, com uma quantidade menor de setores com correlação espacial, apresentou 3 regiões com correlação *High-High*, aproximadamente na região do bairro Vila Madalena.

Como se pode observar, em ambas regiões há alguns resultados de correlação proporcional dos parâmetros observados, assim como de correlação inversamente proporcional, e predominância de áreas com a classificação “não significante”.

7. CONCLUSÕES

Este trabalho propôs um método para a identificação de áreas de risco à saúde devido à poluição atmosférica decorrente de emissões veiculares, a partir de inferência de um indicador de fluxo calculado com base em grandes volumes de dados de rastreamento de veículos e características físicas das vias. No entanto, algumas observações importantes são necessárias quanto ao método proposto.

7.1 O indicador de fluxo e a relação com doenças relacionadas à poluição veicular

Atualmente, cada vez mais há a busca por uso de grandes quantidades de dados para realizar análises e previsões. Os dados de rastreamento de veículos apresentam grande potencial para o uso em gerenciamento de tráfego, planejamento urbano e associações com poluição veicular. O uso de dados de rastreamento possibilita a escalabilidade do processo, já que dispensa o uso de meios físicos, como contadores eletrônicos, que limitam o mapeamento de grandes regiões, como todo o município de São Paulo, ou de vias locais.

Com o intuito de encontrar uma correlação entre diagnósticos relacionados à poluição veicular e o tráfego na cidade de São Paulo foi elaborado o indicador de fluxo, por meio de características do sistema viário e dados de rastreamento. A utilização de parâmetros característicos da via como número de faixa e classificação da via possibilita a aplicação do método independente da localização da região e com a atualização periódica das informações do sistema viário de diversas fontes, é possível manter o acompanhamento contínuo do indicador. O uso da taxa de verde e da velocidade rastreada permite a avaliação da variação nos diferentes períodos do dia do indicador de fluxo, como por exemplo os horários de pico, como utilizado no projeto.

A comparação do Indicador de Fluxo (fórmula (12)) com a Fórmula do Fluxo BPR (fórmula (22)) apresenta proporcionalidade nos valores resultantes, evidenciados tanto por meio da distribuição de frequência da razão $\frac{\text{Indicador de fluxo}}{F_{luxo BPR}}$,

quanto por meio da comparação gráfica dos resultados. A proporcionalidade indica maior validade do Indicador de Fluxo como parâmetro de comparação do fluxo veicular com outros dados, o que corrobora com o desenvolvimento de um método de identificação de áreas de risco decorrente de emissões veiculares, objetivo do presente projeto.

Em termos dos diagnósticos utilizados na análise, todos os dados são provenientes do Sistema Único de São Paulo (SUS), o que exclui os pacientes tratados no sistema privado que poderiam ser contabilizados no projeto. A taxa de diagnósticos é calculada por meio da razão da quantidade de pacientes diagnosticados com enfermidades relacionadas à poluição atmosférica e dos habitantes identificados no setor censitário do IBGE, assim se há uma amostra pequena de diagnósticos, como é o caso do distrito de Pinheiros, as taxas apresentam valores baixos, sendo uma região de alta renda, o que leva a suposição do maior uso da rede privada de saúde.

A aplicação do Indicador de Fluxo a partir dos dados de rastreamento do MapLink, das características das vias e dos dados de saúde pública disponíveis, em conjunto com a análise espacial estatística, apontou prováveis áreas de risco à saúde, sinalizadas por meio da legenda *High-High*, tanto no distrito Cidade Tiradentes, quanto no distrito Pinheiros. Contudo, vale ressaltar que foram poucas as áreas identificadas como significantes. Uma hipótese é que a falta de dados de saúde e a amostra de dados de rastreamento impactaram na significância estatística dos dados, dificultando uma análise aprofundada da correlação entre o fluxo veicular e doenças respiratórias provocadas por poluição.

Apesar da carência de bases de dados consistentes, o método de análise pôde ser estabelecido por meio do presente trabalho, podendo ser replicado perante uma melhora dessa base, de forma a identificar áreas de risco à saúde respiratória.

7.2 Proposições

O processo de análise do impacto das emissões veiculares na saúde pública nos distritos de Pinheiros e Cidade Tiradentes apresenta grande potencial de aplicação em escalas maiores, e se configura como uma ferramenta de interesse

público ao poder se usado na elaboração de pesquisas sobre áreas de risco à saúde.

Contudo, apesar das inúmeras bases de “big data” atuais, o acesso a estas ainda é restrito. A CET-SP possui a programação dos semáforos de São Paulo, e por meio de acordos com empresas relativas a transporte que usam aplicativos para coleta de dados, como Uber, Waze, 99 Taxi e MapLink, a prefeitura pode ter acesso a abundantes dados de rastreamento e realizar diagnósticos de indicadores de saúde relacionados à poluição. Dados como os monitoramentos por radares também podem potencialmente ser usados adaptando-se os métodos propostos neste trabalho. No entanto, apesar desses dados de radares serem coletados pelo próprio município, engenheiros que trabalham na própria Secretaria de Transporte que coleta os dados, não têm acesso para o uso em seus modelos. Há que se mudar a cultura de acesso a dados.

O recurso da análise de “Big Data” se faz uma ferramenta poderosa para a percepção de características de São Paulo, por esta apresentar grandes proporções, heterogeneidade e complexidade, e para o desenvolvimento de um planeamento urbano que vise bem-estar e saúde para a população como um todo.

Como continuação deste trabalho, são vislumbrada-se três perspectivas: a aplicação do método de análise de regiões de risco à saúde respiratória desenvolvido ao longo da presente pesquisa com o uso de outras bases de dados, conforme supracitado; a expansão da pesquisa para a totalidade de São Paulo, de forma a vislumbrar uma análise em macroescala com mais percepção de padrões; relacionar dados de internação com outros fatores que afetam a saúde, como a presença de vegetação, altura das edificações, influência de poluentes industriais e a idade dos pacientes.

8. REFERÊNCIAS

AKISHINO, Pedro. **Apostila do Curso de Graduação em Engenharia Civil: Estudos de Tráfego.** Curitiba, PR. s.d. Disponível em: <<https://ecivilufes.files.wordpress.com/2013/07/cap-8-semc3a1foros.pdf>>. Acessado em: 01 dez. 2017

ALMEIDA, Samuel Luna. **ANÁLISE ESPACIAL DAS DOENÇAS RESPIRATÓRIAS E A POLUIÇÃO RELACIONADA AO TRÁFEGO NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO.** 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ANSELIN, Luc; SYABRI, Ibnu; KHO, Youngihn. GeoDa: an introduction to spatial data analysis. **Geographical analysis**, v. 38, n. 1, p. 5-22, 2006.

BRANSTON, David. Link capacity functions: A review. **Transportation research**, v. 10, n. 4, p. 223-236, 1976.

CONTRAN. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito: Sinalização semafórica.** 2014. v.5. Disponível em: <<http://www.der.mg.gov.br/institucional/legislacao/normas-tecnicas-dermg>>. Acessado em: 01 dez. 2017.

EPUSP. **FLUXO DE TRÁFEGO: RELAÇÕES BÁSICAS.** Disponível em: <<http://sites.poli.usp.br/d/ptr2377/Cap%C3%ADtulo4gx.pdf>>. Acessado em: 01 dez. 2017.

FREITAS, Ruskin. Regiões Metropolitanas: uma abordagem conceitual. **REVISTA HUM@ NAE**, v. 4, n. 1, 2012.

FREY, H. Christopher et al. **Emissions reduction through better traffic management: An empirical evaluation based upon on-road measurements.** 2001.

Fundação Seade. **ÍNDICE PAULISTA DE VULNERABILIDADE SOCIAL.** São Paulo, SP. 2010. Disponível em: <http://indices-ilp.al.sp.gov.br/view/pdf/ipv/principais_resultados.pdf>. Acessado em: 01 dez. 2017.

GAITHER, Cassandra Johnson et al. An exploratory spatial analysis of social vulnerability and smoke plume dispersion in the US South. **Forests**, v. 6, n. 5, p. 1397-1421, 2015.

GETIS, Arthur; ORD, J. Keith. The analysis of spatial association by use of distance statistics. **Geographical analysis**, v. 24, n. 3, p. 189-206, 1992.

GOLDNER, Lenise Grando. **Engenharia de Táfego**: 2^a Módulo. Florianópolis, SC. s.d. Disponível em: <<http://pet.ecv.ufsc.br/arquivos/apoio-didatico/trafegomodII.pdf>>. Acessado em: 01 dez. 2017.

HEALTH EFFECTS INSTITUTE. PANEL ON THE HEALTH EFFECTS OF TRAFFIC-RELATED AIR POLLUTION. **Traffic-related air pollution: a critical review of the literature on emissions, exposure, and health effects**. Health Effects Institute, 2010.

IBGE. Arranjos Populacionais e Concentrações Urbanas do Brasil. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/geografia_urbana/arranjos_populacionais/default.shtml>

IBGE. Censo Demográfico 2010. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br>>

LENCIONI, Sandra. Concentração e centralização das atividades urbanas: uma perspectiva multiescalar. Reflexões a partir do caso de São Paulo. *Revista de Geografia Norte Grande*, n. 39, p. 7-20, 2008.

MANUAL, Highway Capacity. HCM2010. **Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC**, 2010.

MANZO, Stefano; NIELSEN, Otto Anker; PRATO, Carlo Giacomo. Investigating uncertainty in BPR formula parameters: a case study. In: **Strategisk forskning i transport og infrastruktur**. 2013.

MTOI, Enock T.; MOSES, Ren. Calibration and evaluation of link congestion functions: applying intrinsic sensitivity of link speed as a practical consideration to heterogeneous facility types within urban network. **Journal of Transportation Technologies**, v. 4, n. 02, p. 141, 2014.

NUVOLONE, Daniela et al. Geographical information system and environmental epidemiology: a cross-sectional spatial analysis of the effects of traffic-related air pollution on population respiratory health. **Environ Health**, v. 10, n. 1, p. 12, 2011.

PAES, Ângela Tavares. Itens essenciais em bioestatística. **Arquivos brasileiros de cardiologia**, v. 71, n. 4, p. 575-580, 1998.

Rede Nossa São Paulo. **Mapa da Desigualdade**. São Paulo, SP. 2017. Disponível em: <http://nossasaopaulo.org.br/portal/mapa_2017_completo.pdf>. Acessado em: 01 dez. 2017.

RIBEIRO, André de Almeida. **Estudo de correlação das internações hospitalares por câncer, poluição relacionada ao tráfego e nível sócio-econômico no município de São Paulo**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Faculdade de Saúde Pública. Departamento de Saúde Ambiental.

SANTOS, Eriton Barros dos. **Uma análise sobre duas medidas de evidência: p-valor e s-valor**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SMARGIASSI, Audrey et al. Traffic intensity, dwelling value, and hospital admissions for respiratory disease among the elderly in Montreal (Canada): a case-control analysis. **Journal of epidemiology and community health**, v. 60, n. 6, p. 507-512, 2006.

SVENDSEN, Erik R. et al. GIS-modeled indicators of traffic-related air pollutants and adverse pulmonary health among children in El Paso, Texas. **American journal of epidemiology**, v. 176, n. suppl 7, p. S131-S141, 2012.

TOLEDO, Giovana Iara Ferreira Moser; NARDOCCI, Adelaide Cassia. ANÁLISE DO USO DE DADOS MODELADOS DE TRÁFEGO PARA AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO À POLUIÇÃO VEICULAR: UM ESTUDO DE CASO. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 6, n. 2, p. p. 19-34, 2013.

UFPR. **DIMENSIONAMENTO DE SEMÁFOROS ISOLADOS**. Disponível em: <http://www.tecnologia.ufpr.br/portal/dtt/wp-content/uploads/sites/12/2016/08/SEMAFROS_PARTEII.pdf>. Acessado em: 01 dez. 2017.

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2014). World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights (ST/ESA/SER.A/352). Disponível em: <<http://esa.un.org/unpd/wup/>>

WHO. Burden of disease from Ambient Air Pollution for 2012. Disponível em: <http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/FINAL_HAP_AAP_BoD_24March2014.pdf>