



## **Apoio à Elaboração de Plano Municipal de Mobilidade Urbana do Município de São Carlos**

**Prefeitura Municipal De São Carlos**

**Matriz Origem Destino**

**Fevereiro 2023**

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>4</b>
<b>2. ESCOLHA DA METODOLOGIA.....</b>	<b>6</b>
2.1 Contexto .....	6
2.2 Metodologia utilizada no Plano de Mobilidade de São Carlos .....	8
2.2.1 Dados de telefonia celular coletados pela rede de antenas (Estações Rádio Base - ERBs) 8	
2.2.1.1 Quanto a amostra da base de dados .....	8
2.2.1.2 Quanto à qualidade dos dados.....	9
2.2.2 Dados de bilhetagem eletrônica e do sistema de monitoramento dos ônibus por GPS 10	
2.2.3 Tratamento das viagens a pé e de bicicleta .....	10
2.2.4 Montagem das matrizes e validação dos resultados .....	11
<b>3. MONTAGEM DA MATRIZ ORIGEM / DESTINO .....</b>	<b>12</b>
3.1 Zoneamento de Tráfego.....	12
3.2 Matriz da telefonia celular.....	14
3.3 Matriz de Bilhetagem Eletrônica.....	16
3.3.1 Conceitos Básicos.....	16
3.3.2 Montagem da Matriz Origem e Destino .....	17
3.3.2.1 Sobre os bilhetes .....	17
3.3.2.2 Sobre as viagens .....	19
3.3.2.3 Cenários regulares de utilização do bilhete .....	19



3.3.2.4	Cenários complexos de utilização do bilhete .....	21
3.3.2.5	Expansão dos dados.....	23
3.4	Viagens dos modos ativos .....	24
4.	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS .....	26
4.1	Montagem da rede de simulação .....	26
4.2	Matriz da Bilhetagem Eletrônica.....	31
4.2.1	Carregamento da matriz de bilhetagem eletrônica .....	34
4.3	Matriz de telefonia celular.....	37
4.3.1	Dados complementares .....	38
4.3.2	Perfil horário das viagens.....	39
4.4	Estimativa da matriz dos modos ativos .....	40
4.5	Estimativa da matriz do modo individual.....	42
5.	ARQUIVO DE DADOS.....	49



## 1. Confecção da Matriz Origem – Destino Atual de São Carlos

---

Este documento contém a Metodologia e o Desenvolvimento da Matriz Origem – Destino (OD) atual de São Carlos, em desenvolvimento pela Fundação Gstulio Vargas, dentro do Projeto do Plano de Mobilidade de São Carlos (PlanMob/SC)

O documento fará parte da versão Final do PlanMob/SC e poderá sofrer ajustes e complementações até o final do citado Projeto.

Está sendo disponibilizado aqui para que as pessoas interessadas possam inteirar-se do andamento do projeto.



## 2. Introdução

---

O documento apresenta a metodologia e os resultados da obtenção da matriz de origem e destino de viagens no Município de São Carlos, a partir da combinação de dados da telefonia celular, de bilhetagem eletrônica e do sistema de monitoramento dos veículos.

### 3. Escolha da Metodologia

---

#### 3.1 Contexto

A Pesquisa Origem e Destino Domiciliar, quando feita presencialmente, isto é, com a visita de um pesquisador ao domicílio tem-se mostrado cada vez mais difícil, demorado e custoso em face à resistência da população em fornecer dados pessoais, familiares e da rotina de seus deslocamentos diários (horário de saída, destino, como faz a viagem, local de troca de condução, horário de chegada etc.). Deve-se ressaltar que, em não havendo compulsoriedade em responder à pesquisa, o resultado depende basicamente da boa vontade da população em fornecer dados sensíveis, mesmo com a promessa de preservação de sigilo. Esta resistência tem se mostrado maior quanto mais alta é a renda dos entrevistados.

Diante deste problema várias metodologias alternativas têm sido utilizadas e brevemente descritas a seguir.

Uma primeira alternativa que vem sendo testada para substituir as entrevistas presenciais é a possibilidade das pessoas responderem por Internet as questões presentes no questionário presencial. Podem ser citados dois exemplos de cidades que aplicaram este método com resultados muito distintos. Em Recife<sup>1</sup> foi implantado um processo compulsório para que os empregados das empresas e alunos de escolas respondessem o questionário sob pena delas (empresas e escolas) sofrerem sanções relacionadas à concessão de licença para o seu funcionamento. O segundo exemplo é Fortaleza<sup>2</sup>, onde a população participou da pesquisa de forma voluntária, após um período de intensa campanha entre os usuários de celulares. Como resultado pode-se dizer que na compulsória a adesão foi muito maior que na voluntária que teve um engajamento pífio. É necessário ressaltar, no entanto, que o método on-line traz muitas dificuldades na definição de um plano amostral devido ao desconhecimento prévio das adesões, a distribuição espacial das contribuições e, consequentemente, na expansão dos dados amostrados.

Uma segunda metodologia procurou fazer o monitoramento das origens e destinos das viagens de um conjunto de pessoas utilizando o GPS dos celulares e um aplicativo instalado no aparelho. Este método precisa da autorização prévia do usuário do aparelho, pois há necessidade de interação para confirmação e complementação dos dados. O método testado pelo Metrô de São Paulo<sup>3</sup> mostrou-se tecnicamente viável, porém, esbarrou novamente na questão do engajamento da população, mesmo com incentivos como distribuição de prêmios monetários entre os participantes.

---

1 Prefeitura do Recife - ICPS – Instituto da Cidade Pelópidas Silveira, 2018 (<http://icps.recife.pe.gov.br/NODE/61229>).

2 Prefeitura de Fortaleza – Secretaria Municipal de Conservação e Serviços Públicos; PASFOR – Plano de Acessibilidade Sustentável de Fortaleza e sua Área de Influência, 2020.

3 Cia. do Metropolitano de São Paulo; Novas tecnologias na elaboração da Pesquisa Origem Destino – Domiciliar com utilização de Aplicativos Mobile e aplicação de testes em escala ampliada, 2020.

Finalmente, uma terceira alternativa se refere à utilização de grandes bases de dados (*big-data*) que armazenam informações sobre o histórico de viagens da população. Aqui são citados três exemplos de técnicas de coleta de dados.

- Dados coletados em tempo real dos aparelhos celulares e do GPS e aplicativos neles instalados, associado a sensores como *wi-fi* e *bluetooth* presentes em ambientes ao longo do trajeto das viagens. Com isso a localização se torna precisa até em ambientes fechados. Um teste com resultados promissores foi realizado também em Fortaleza, no âmbito do PASFOR já citado anteriormente. Porém, devido às restrições da Lei de Proteção Geral dos Dados (LGPD), esta metodologia teve que ser abandonada, pois os fornecedores têm que obrigatoriamente entregar as bases de dados de forma agregada, eliminando as vantagens e aproximando-o do método que será descrito a seguir.
- Dados de telefonia celular coletados pela rede de antenas (Estações Rádio-Base -ERBs) - Trata-se de uma técnica apoiada em múltiplos estudos acadêmicos<sup>4</sup> e conhecida no ambiente acadêmico nacional<sup>5</sup>. Além disso, há vários fornecedores das bases de dados disponíveis no mercado e que já foram testados em várias cidades e regiões<sup>6</sup>. Simplificadamente, toda vez que um usuário de celular faz uso de seu terminal móvel, seja para fazer ou receber uma ligação, seja para utilizar qualquer aplicativo, a operadora registra um evento de comunicação (registro) que inclui um identificador exclusivo do usuário (ID), devidamente anonimizado (sem a identificação do usuário), o horário do evento e a localização (ID da antena), além de diversas informações técnicas.
- Dados do Sistema de Bilhetagem Eletrônica - A bilhetagem eletrônica é um sistema de cobrança de passagens via cartão digital que registra todos os eventos (passagem de cartões em validadores associados à catraca, ou das liberações dos passageiros pagantes em dinheiro, quando do ingresso dos usuários nos ônibus). Outro componente do método é o sistema de monitoramento que registra através de um equipamento embarcado munido de GPS (AVL –Automated Vehicle Location) as informações espaciais do sistema, armazenando dados sobre: identificação do veículo; coordenadas do veículo (latitude e longitude); hora; data; e sentido da linha. O uso conjunto desses sistemas permite conhecer as viagens dos

---

4 [1] E. Zambrano, et al. *Thermodynamics of firms' growth*. J. R. Soc. Interface, 12, 20150789 (2015).; [2] A. Hernando, et al. *Memory endowed US cities and their demographic interactions*. J. R. Soc. Interface, 12, 20141185 (2015). [3] A. Hernando, et al. *Space-time correlations in urban sprawl*. J. R. Soc. Interface, 11, 20130930 (2014). [4] A. Hernando, et al. *The workings of the Maximum Entropy Principle in collective human behavior*. J. R. Soc. Interface, 10, 20120758 (2013). [5] A. Hernando, et al. *Thermodynamics of urban population flows*. Phys. Rev. E, 86, 066105 (2012). [6] A. Hernando, et al. *Scale-invariance underlying the logistic equation and its social applications*. Phys. Lett. A, 377, 176 (2012). [7] A. Hernando, et al. *Variational principle underlying scale invariant social systems*. Eur. Phys. J. B., 85, 293 (2012). [8] A. Hernando, et al. *MaxEnt and dynamical information*. Eur. Phys. J. B, 85, 147 (2012). [9] A. Hernando, et al. *Unravelling the size distribution of social groups with information theory in complex networks*. Eur. Phys. J. B, 76, 87 (2010). [10] A. Hernando, et al. *Fisher information and the thermodynamics of scale-invariant systems*. Physica A, 389, 490 (2010). [11] A. Hernando, et al. *Zipf's law from a Fisher variational-principle*. Phys. Lett. A, 374, 18 (2009).

5 [12] Souza, Paulo Sérgio Luna de Souza. *Tendências Tecnológicas na Captura de Dados na Realização de Pesquisa Origem e Destino*. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2020. [13] Rodrigues, André Leite. *Análise de deslocamentos dos moradores de assentamentos precários a partir de dados da telefonia móvel em São Paulo*. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. Dissertação de mestrado, 2018. [14] Feriencic, Gabriel et al. *Planejamento da mobilidade com Big Data de telefonia móvel*.

6 Joinville/SC, Maceió/AL, Cuiabá/MT, Governador Valadares/MG, Ilhéus e Itabuna/BA, Ananindeua/PA, Rio de Janeiro/RJ, Gravataí/RS, Belo Horizonte/MG, Região Metropolitana de Belo Horizonte/MG, Salvador e Feira de Santana/BA, Região Metropolitana da Baixada Santista/SP.

usuários de transporte coletivo de uma cidade. Esta técnica já foi bastante utilizada em várias cidades e regiões do país<sup>7</sup>.

### **3.2 Metodologia utilizada no Plano de Mobilidade de São Carlos**

Devido à maior robustez, entre as alternativas apresentadas no item anterior, foi utilizada em São Carlos uma combinação dos dois últimos métodos, utilizando os dados da telefonia celular, da bilhetagem eletrônica e do sistema de monitoramento dos veículos por GPS.

Os fluxos da telefonia celular são registrados sempre que os usuários efetuam ou recebem uma ligação, mensagens ou utilizam aplicativos instalados. O sinal é captado nas Estações Rádio Base (ERBs) identificando espacialmente os movimentos dos aparelhos ao longo de um período de observação. Através de algoritmos são identificadas as estadias (locais de permanência) dos aparelhos e, conseqüentemente, as origens e destinos de viagens, ou seja, a matriz de viagens.

No entanto, os dados obtidos representam as viagens realizadas por todos os modos de transporte não identificando o modo de transporte com que foi realizada a viagem. Par suprir esta limitação, recorreu-se às informações disponibilizadas pelo sistema de bilhetagem eletrônica e pelo sistema de monitoramento do transporte coletivo, que permitiram gerar uma matriz específica de transporte coletivo na área de estudo.

Resta, no entanto, uma parcela importante das viagens que são as do modo ativo, isto é, aquelas que são realizadas a pé ou de bicicleta. Para a estimativa destas viagens é feita uma inferência a partir do perfil de viagens de outros municípios que tenham realizado pesquisas domiciliares de origem e destino.

#### **3.2.1 Dados de telefonia celular coletados pela rede de antenas (Estações Rádio Base - ERBs)**

##### **3.2.1.1 Quanto a amostra da base de dados**

Existem diversos fornecedores da base de telefonia celular, entre os quais a Kido Dynamics<sup>8</sup>, associada à operadora Claro que detêm 45,36% do mercado de celulares de São Carlos, segundo o site da TELCO ([https://www.teleco.com.br/ncel\\_cidades2.asp](https://www.teleco.com.br/ncel_cidades2.asp)).

Tendo como referência as estatísticas da TELCO, existem 303.000 celulares na cidade, o que representa a taxa de 119 celulares/100 hab. Desse total a Claro detêm 137.000 aparelhos que corresponde a 45,36%.

---

<sup>7</sup> São Paulo/SP, Palmas/TO, Região Metropolitana da Baixada Santista/SP, Região Metropolitana de Belo Horizonte/MG, Taubaté/SP, Joinville/SC, Recife/PE, Maceió/AL, Região Metropolitana do Vale do Rio Cuiabá/MA entre outros.

<sup>8</sup> <https://kidodynamics.com>



A população atual de São Carlos está em torno de 250.000 habitantes, assim 137.000 aparelhos correspondem a 0,54 celular/hab. Considerando conservadoramente que apenas 80% da população possui celular, a base de dados representa uma amostra superior a 100.000 habitantes de São Carlos abrangendo todos os estratos sociais.

Como comparação, as amostras de Pesquisas Origem/Destino Domiciliares presenciais situam-se entre 0,5% a 2% dos domicílios da região pesquisada. Por exemplo, na Região Metropolitana de São Paulo<sup>9</sup> são 32.000 domicílios amostrados de um universo de 6,8 milhões de domicílios, o que equivale a 0,5%; em termos populacionais, são 100 mil habitantes pesquisados. Em Santiago, Chile, conforme Ortúzar, J. D.<sup>10</sup>, com 1,4 milhão de domicílios a amostra analisada pelos especialistas como razoável foi de 15.000 domicílios ou 1% do total.

Considerando o Município de São Carlos com 77,6 mil domicílios, a amostra, no limite superior de 2%, corresponderia a 1.553 domicílios ou 5.000 habitantes, 20 vezes menor do que a amostra obtida com a utilização da telefonia celular.

### 3.2.1.2 Quanto à qualidade dos dados

Dois componentes que devem ser considerados na análise da qualidade dos dados com relação à Pesquisa Origem/Destino domiciliar presencial: a abrangência e a especificidade dos dados.

Quanto à abrangência, a tecnologia baseada em telefonia celular de identificação das viagens tem uma enorme vantagem em relação a OD presencial. Enquanto essa tem a tendência de registrar apenas as viagens lembradas pelos entrevistados aquela, por ser automatizada, coleta toda a movimentação do usuário do celular, sem possibilidade de dupla contagem. Lembrando que associada a isso o método conta com uma amostra consideravelmente maior.

Quanto à especificidade, a base de dados de telefonia celular tem limitação na identificação dos modos de transporte, pois não há interação do usuário para coleta desta informação. Todavia, a metodologia utilizada contornou esse problema com a utilização complementar da base de dados de bilhetagem eletrônica para identificar as viagens de transporte coletivo. Também foram inferidas as viagens feitas a pé e por bicicleta, conforme descrição a seguir.

Além disso, foram realizadas pesquisas de campo complementares, para identificação do fluxo de viagens de automóveis e de passageiros de transporte coletivo. Estas contagens foram realizadas em postos estratégicos da cidade de São Carlos e que serviram para aferir os resultados das matrizes de origem e destino.

---

9 [https://transparencia.metrosp.com.br/sites/default/files/S%C3%8DNTese\\_OD2017\\_aqo19.pdf](https://transparencia.metrosp.com.br/sites/default/files/S%C3%8DNTese_OD2017_aqo19.pdf)

10 Ortúzar, J. D. *Travel Survey in Latin America*. Department of Transport Engineering. Pontificia Universidade Católica do Chile

### **3.2.2 Dados de bilhetagem eletrônica e do sistema de monitoramento dos ônibus por GPS**

Trata-se de uma base de dados já bastante utilizada para a construção da matriz de viagem origem e destino do transporte coletivo, conforme mencionado anteriormente.

Devido à sua abrangência, o sistema de bilhetagem eletrônica utilizado em São Carlos abrange a integralidade dos usuários de transporte coletivo, tanto os que utilizam os bilhetes eletrônicos, quanto aqueles que ainda pagam a passagem em dinheiro, cujo embarque é registrado pelos motoristas por meio de uma botoeira.

Resumidamente, o Sistema de Bilhetagem Eletrônica registra a passagem dos usuários pela catraca do ônibus, anotando na máquina validadora a identificação do bilhete, o horário, o veículo e a linha utilizada. Paralelamente, o Sistema de Monitoramento da Frota, com equipamentos de GPS instalados em todos os veículos, coleta a posição deste veículo, registrando o horário e as coordenadas geográficas no percurso. A associação dos registros destes dois sistemas permite conhecer a localização no momento da passagem do bilhete na catraca e, portanto, a origem do embarque do passageiro. O destino do passageiro, por sua vez, é inferido através do histórico do bilhete no dia, isto é, a próxima passagem do mesmo bilhete na catraca é inferida como destino da viagem. Assim, com o processamento desta base e devido tratamento das nuances e exceções se consegue montar a matriz origem e destino de viagens do transporte coletivo.

### **3.2.3 Tratamento das viagens a pé e de bicicleta**

Estas viagens aparentemente são as mais simples de serem identificadas, porém, necessitam de uma definição clara. Para fins de planejamento de transportes são pouco relevantes os deslocamentos curtos realizados para viagens locais, por exemplo, para acesso a uma padaria ou mercado nas vizinhanças do bairro. Para limitar essas viagens, adota-se nas pesquisas domiciliares presenciais a distância mínima de 500 metros abaixo da qual não é coletada a informação, excetuando quando se trata de ida ao trabalho ou a escola. O Metrô/SP, assim como várias outras pesquisas<sup>11</sup> adotaram este critério. O sistema de antenas de telefonia celular também possui restrições técnicas indicando que o critério citado pode ser utilizado na base de dados para a estimativa destas viagens.

Para São Carlos, a estimativa das viagens por esses modos foi feita a partir de inferência, tendo como base uma curva de probabilidade de uma viagem ser feita a pé ou bicicleta em função da distância entre a origem e o destino dela. Esta função foi construída analisando-se várias pesquisas de origem e destino presenciais que adotaram a mesma regra de distância anteriormente citadas.

---

<sup>11</sup> Pesquisas Origem e Destino Domiciliares do Metrô/SP, da Região Metropolitana de Fortaleza, da Região Metropolitana de Salvador, da Região Metropolitana de Jundiaí e da Região Metropolitana de Campinas.



Desta análise, pelas suas características, foi selecionada como referência a pesquisa realizada na Região Metropolitana de Jundiaí.

### **3.2.4 Montagem das matrizes e validação dos resultados**

Com as bases de dados da telefonia celular, da bilhetagem eletrônica e das inferências para a estimativa das viagens a pé e bicicleta foi possível construir as matrizes dos modos individual, coletivo e não-motorizado (a pé e bicicleta).

Para validá-las foram utilizados os dados da pesquisa de campo mencionadas acima e uma rede matemática de simulação. Os resultados do carregamento das matrizes na rede de simulação ficaram muito próximos dos fluxos observados na pesquisa, mostrando que o método produziu matrizes consistentes e adequadas para o Plano de Mobilidade de São Carlos.

## 4. Montagem da Matriz Origem / Destino

---

### 4.1 Zoneamento de Tráfego

O zoneamento de tráfego foi elaborado tendo em vista dois focos: zonas que possibilitem a representação das viagens identificadas pelo sistema de bilhetagem eletrônica e zonas que representem os fluxos identificados pelo processamento dos dados da telefonia celular. O sistema de bilhetagem por estar vinculado aos pontos de ônibus permitem um nível de desagregação bem maior, ao contrário da resolução permitida pelas ERB.

Assim, as unidades espaciais baseadas na agregação de pontos de ônibus resultaram em 289 zonas de tráfego, sendo 6 externas (Figura 1). Essas zonas foram agregadas em 78 macrozonas sendo 6 externas (Figura 2) para a representação dos fluxos identificados pela telefonia celular.

As zonas externas representam os eixos de aproximação da cidade de São Carlos: BR-364 Rod. Washington Luiz (entrada e saída), SP 215 Rod. Luis Augusto de Oliveira, BR 267 Rodovia Dep. Vicente Bota, SP 318 Rod. Eng. Thales de Luce Peixoto Júnior e a Rod. Municipal Domingos Innocentini.

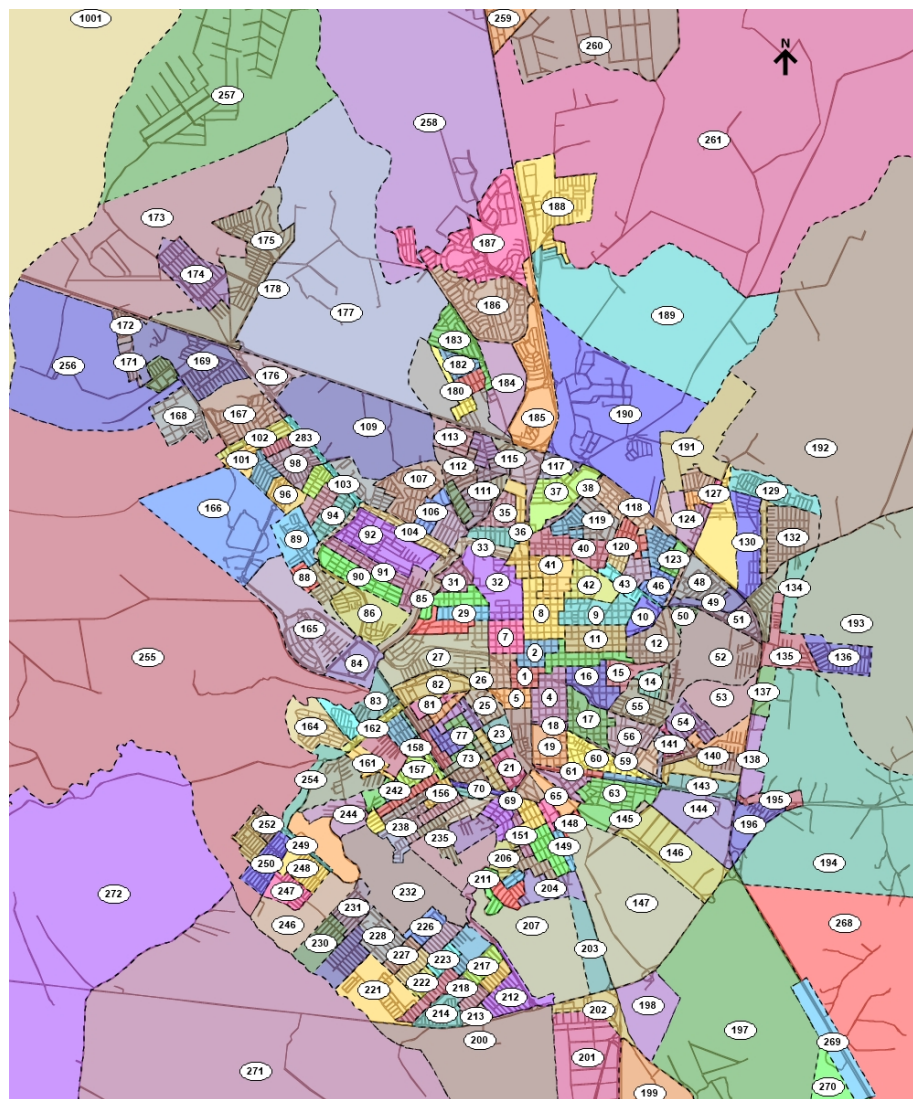


Figura 1 – Zonas de Tráfego

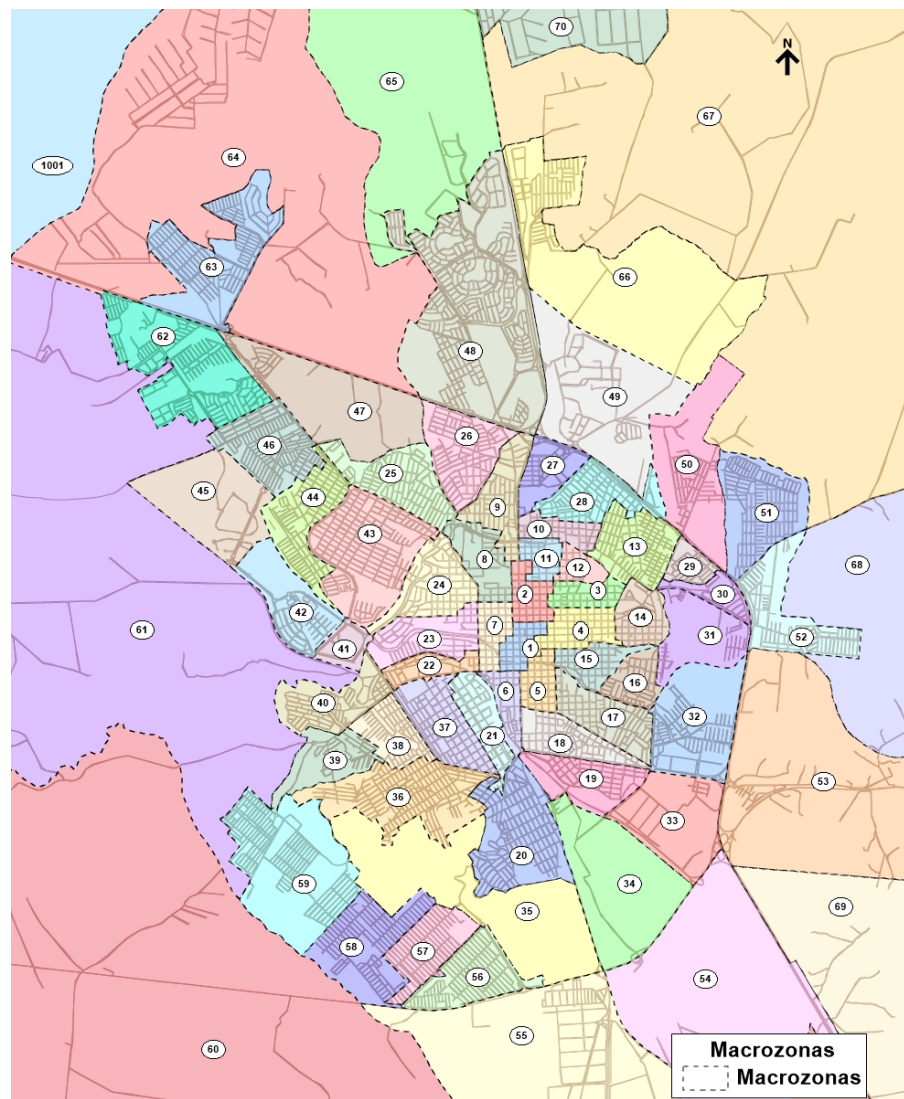


Figura 2 – Macrozonas de Tráfego

## 4.2 Matriz da telefonia celular

A matriz de telefonia celular foi fornecida pela Kido Dynamics empresa especializada no tratamento de Big Data e que aqui transcrevemos algumas especificações fornecidas por ela.

A Kido Dynamics tem como fonte os CDRs (*Call Detail Records*) e a rede de antenas de telefonia móvel. Toda vez que um usuário de celular faz uso de seu terminal móvel, a operadora móvel registra um evento de comunicação (registro) que inclui um identificador exclusivo do usuário (ID), o horário do evento e a localização (ID da antena), além de diferentes informações técnicas.

Os usuários geram uma média de 100 a 500 eventos por dia, o que representa uma fonte precisa e diversificada de informações disponíveis para analisar de forma confiável a mobilidade das pessoas. Durante o processo de tratamento e análise dos dados, nenhuma informação individualizada é coletada ou relacionada à própria comunicação do usuário (conteúdo de mensagens, chamadas ou aplicativos).

Tabela 1 – Exemplo de um trecho de arquivo de CDR

ANONYMIZED ID	DATE	TIME	CELL SITE	LAT	LON	TAC
0dcd0ee680ae22e3c2ba6	20210924	11:41:28	2CC7D15	21.50	-104.89	86006004
0dcd0ee680ae22e3c2ba6	20210924	11:41:28	2CC7D15	21.50	-104.89	86006004
6b7af05aa362ac5f8e0f9	20210924	08:57:07	2C0FF02	21.51	-104.94	86626105
1b65eb753bbd7a0c94f9e	20210924	12:00:38	2C40018	21.53	-104.89	35707910
78d8370b4c40ca1e3f78a	20210924	09:34:53	2B2E79FD	21.49	-104.82	35254577

CDRs são registros que contêm dados relacionados a chamadas telefônicas, SMS, conexões à Internet e informações geradas pela própria rede para garantir o controle e a qualidade do serviço.

Do ponto de vista dos estudos de mobilidade, cada registro fornece informações espaço x tempo do dispositivo relacionando sua posição a uma área de cobertura chamada célula e que está associada a uma antena. Os registros de comunicação móvel gerados pelos diferentes elementos da rede móvel da operadora (MSC, SMSC, MMSC, SGSN/GGSN) são consolidados por seus sistemas de gestão e embalados em arquivos específicos por tipo de comunicação realizada.

Esses arquivos incluem todos os registros gerados para os clientes da operadora e outros usuários que usam a rede móvel como uma rede visitante. Para o processamento, esses arquivos geralmente são identificados com seu tipo de registro, o sistema que os gerou e o período a que correspondem. Do ponto de vista geral, os campos contidos em cada registro (sinalização e CDR) de interesse para aplicações de Big Data aplicadas aos estudos de mobilidade são:

- Identidade do usuário: identificador anonimizado correspondente a cada usuário.
- Tipo cliente: permite que o usuário seja identificado como cliente do operador responsável pela infraestrutura ou como usuário em trânsito (*roamer-in*).



- Data: data de início da comunicação.
- Tempo: tempo de início e fim da comunicação.
- Célula inicial: célula onde o celular está localizado no início do registro.
- Célula final: célula onde o celular está localizado no final do registro.

Uma vez completa a sequência temporal de eventos por usuário, se agrupam as subsequências em paradas, micro trajetos, trajetos e macro trajetos, em função de suas características cinemáticas. As paradas e micro trajetos se utilizam principalmente em análises de visitas, estadias e ocupação, enquanto os micros trajetos, trajetos e macros trajetos se utilizam principalmente em análises de tráfego. A seguir estão detalhadas as definições de cada um dos conceitos abordados:

1. Trajeto.

Uma sequência de eventos corresponde a um mesmo trajeto se o dispositivo percorreu ao menos 5 km no intervalo da última hora. Este parâmetro indica que tal deslocamento tenha sido realizado em um veículo motorizado.

2. Micro trajeto.

Uma sequência de eventos corresponde a um micro trajeto caso tenha sido produzido um deslocamento, mas inferior à condição de trajeto do item anterior.

3. Macro trajeto.

Um macro trajeto é uma sequência de trajetos e micro trajetos que ocorreram, em um intervalo de tempo entre eles, menor que a duração de seus componentes. Esta definição permite englobar viagens de larga distância que tiveram paradas ou viagens multimodais com transbordos.

4. Parada.

Uma parada é uma sequência de eventos onde não se produziu deslocamento algum segundo as definições anteriores.

Além disso, para concluir a análise de mobilidade tem-se uma série de arquivos que complementem as informações fornecidas pelas operadoras móveis, especificamente:

- Arquivo com informações sobre a geolocalização de todas as estações base (antenas) da operadora correspondentes às diferentes tecnologias implantadas: 2G, 3G, 4G e 5G. 2.
- Arquivos com informações do cliente que podem ser úteis para incorporar a capacidade de segmentação solicitada e como referência para a realização do "censo próprio" no processo de expansão da amostra definido abaixo. As seguintes informações serão incorporadas:

- Faixa etária;
- Gênero;
- Classe social;
- Nacionalidade;
- Nacionais (identificando CEP / município de residência);
- Estrangeiros viajando pelo país (identificando o país de origem de seu operador).

## 4.3 Matriz de Bilhetagem Eletrônica

### 4.3.1 Conceitos Básicos

O controle da operação dos sistemas de transporte coletivo tem sido aperfeiçoado com a implantação de dois sistemas automatizados voltados ao controle da demanda e da oferta: o Sistema de Bilhetagem Eletrônica (SBE) e o Sistema de Monitoramento da Frota (SMO).

A bilhetagem eletrônica é um sistema de cobrança de passagens que registra todos os eventos (passagem de cartões em validadores associados à catraca, ou registro, pelo motorista, das liberações de passagem dos passageiros pagantes em dinheiro - botoeira) quando do ingresso dos usuários nos ônibus. Ao fazê-lo, o sistema armazena os dados de identificação do cartão (número), da leitora (validador), do veículo, data, horário e valor debitado.

O sistema de monitoramento registra através de um equipamento embarcado munido de GPS (AVL – *Automated Vehicle Location*) as informações espaciais do sistema, armazenando dados sobre: identificação do veículo; coordenadas do veículo (latitude e longitude); hora; data; e sentido da linha.

A junção dos dados dos dois sistemas permite a localização aproximada dos embarques de passageiros registrados durante a validação do bilhete na catraca. Quanto à localização dos desembarques há necessidade de inferências a partir da análise das viagens realizadas pelo bilhete ao longo do dia, uma vez que as descidas dos passageiros não são registradas automaticamente.

O método, portanto, se baseia no uso dos dados de rastreamento dos ônibus em operação a partir das coordenadas geográficas coletados por um equipamento GPS embarcado no veículo, em intervalos de tempo pré-fixados, por exemplo, a cada 15 segundos. O equipamento rastreador está associado, portanto ao veículo nele instalado que por sua vez está associado a uma linha do sistema de ônibus.

A figura a seguir ilustra esquematicamente o deslocamento de um ônibus e a captura das coordenadas x, y e o horário em intervalos regulares de 15s.



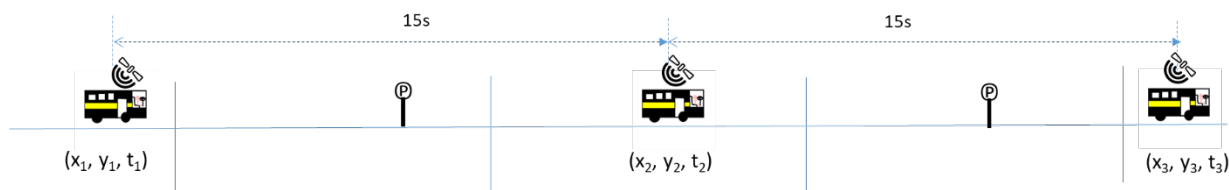


Figura 3. Esquema do monitoramento por GPS feito a intervalos regulares

Fonte: Elaboração própria

O método de coleta de posição e horário de passagem possuem características favoráveis e desfavoráveis das quais algumas são apresentadas a seguir:

- Os sistemas que registram as coordenadas geográficas em intervalo regulares disponibilizam um volume muito grande de dados, possibilitando análises detalhadas em termos de segmentos viários;
- Por outro lado, como as leituras são feitas por intervalos de tempo, há necessidade de se fazer a associação das coordenadas coletadas com os nós de interesse como cruzamentos ou pontos de parada;
- Há a necessidade de se manter o cadastro de linhas x pontos de parada sempre atualizado, sem o qual não é possível se fazer as leituras de forma correta.

## 4.3.2 Montagem da Matriz Origem e Destino

### 4.3.2.1 Sobre os bilhetes

A seguir são apresentados alguns conceitos da bilhetagem que foram utilizados no desenvolvimento dos trabalhos, lembrando que o processamento se restringiu ao sistema de transporte municipal de São Carlos:

- Bilhete: se refere a um bilhete individual com identificação (ID) unívoca;
- Passageiro: usuário portador do bilhete com identificação (ID);
- Evento primário: se refere ao evento registrado no bilhete de um pagamento integral da tarifa e caracteriza sempre o início de uma viagem;
- Evento secundário: se refere ao evento sem pagamento ou de pagamento complementar que caracteriza uma integração;
- Viagem: se refere ao movimento de um bilhete entre uma origem e um destino da viagem, incluindo as integrações, iniciando sempre com um evento primário;
- Deslocamento: se refere a qualquer par sequencial de eventos dentro de uma viagem;

- Evento desembarque no destino: se refere ao evento de desembarque no destino da viagem não registrado pelo SBE;
- Inferência: se refere ao conceito de inferir o destino ou origem de uma viagem através de informações do histórico do bilhete;
- Coordenadas: se refere à latitude e longitude associada a cada evento;
- Zona: se refere à unidade espacial à qual a coordenada é associada;
- Matriz de origem e destino de viagens: matriz de origem e destino de viagens resultante do tratamento do banco de dados do SBE e SMO;
- Tabela de linhas e zonas: trata-se de uma relação contendo as zonas abrangidas por uma linha de ônibus.

Os bilhetes podem ser classificados para fins desta análise nos seguintes tipos:

- Bilhete eletrônico: trata-se do bilhete utilizado pela população de São Carlos no sistema de transporte coletivo da cidade; permite a integração sem pagamento adicional entre os ônibus desde que efetuada dentro de um intervalo a partir do primeiro uso, e no mesmo sentido da viagem (integração temporal). Todos os eventos primários e eventos secundários deste bilhete são registrados no sistema e por serem identificados permitem o seu rastreamento.
- Bilhete estudantil: caracteriza-se pelo pagamento de meia tarifa, porém segue as mesmas condições de integração
- Bilhete de gratuidade (idoso, sênior): trata-se de bilhete utilizado pelos beneficiários da gratuidade e seus eventos são registrados no SBE, porém devido a sua característica não é possível diferenciar o evento primário do evento secundário, pois ambos não pagam tarifa.
- Bilhetes especiais: são bilhetes utilizados por público específico como acompanhantes ou remanescentes do sistema antigo.
- Botoeira: são embarques pagos em espécie e registrados apenas como um evento no SBE para fins de controle.

No caso do sistema de bilhetagem do serviço municipal de transporte de São Carlos, tem-se a composição de bilhetes conforme mostra a tabela a seguir.

Tabela 2. Composição dos tipos de bilhete em São Carlos

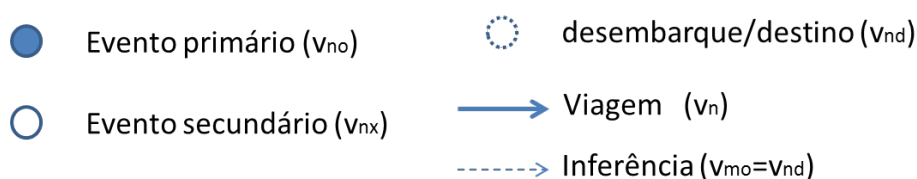
Tipo de Bilhete	Total (*)	Participação
Vale-Transporte	12.227	30%
Escolar	9.311	23%
Botoeira	6.815	17%
Sênior	4.360	11%
Comum	4.786	12%
Deficiente	1.673	4%
Funcionário	178	0%
Outros	1.417	3%
Total	40.767	100%

(\*) quantidades referentes à data de 08/06/2022

Fonte: Sistema de Bilhetagem Eletrônica - SBE

### 4.3.2.2 Sobre as viagens

Para padronizar a representação gráfica dos movimentos a seguir descritos são utilizados os símbolos apresentados na figura a seguir.



$V_{no}$  – origem da viagem  $n$

$V_{nx}$  – integração de número  $x$  da viagem  $n$

$V_{nd}$  – desembarque no destino da viagem  $n$

$V_n$  – viagem de número  $n$

$V_{mo}=V_{nd}$  – inferência do destino da viagem  $n$  como origem da viagem e vice-versa

Figura 4. Simbologia para representação dos movimentos

### 4.3.2.3 Cenários regulares de utilização do bilhete

Entendem-se como cenários regulares aqueles em que uma nova viagem no mundo real corresponde a um novo evento primário.

- Bilhetes com 2 eventos primários: enquadram-se neste cenário as viagens pendulares casa-trabalho, casa-escola, casa-compras, casa-saúde entre outros. Podem ocorrer vários eventos secundários durante a viagem. A figura a seguir mostra a representação deste movimento:

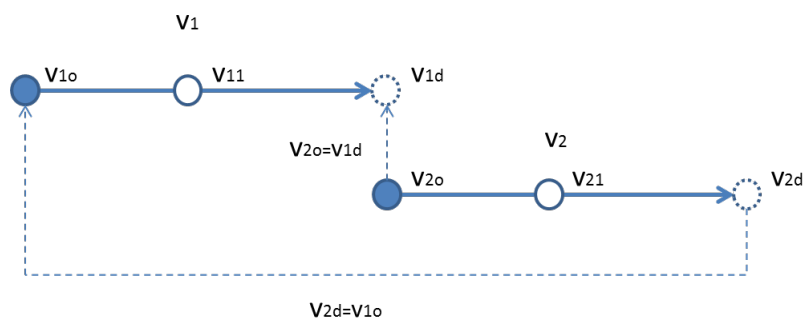


Figura 5. Representação do movimento do bilhete com 2 eventos primários

Nesse caso, que compreende boa parte dos movimentos registrados no SBE, as seguintes inferências são realizadas:

Origem da viagem V1 = coordenada do evento V1o

Destino da viagem V1 = coordenada do evento V2o

Origem da viagem V2 = coordenada do evento V2o

Destino da viagem V2 = coordenada do evento V1o

No entanto, uma verificação deve ser feita para validar a última inferência.  $V2d=V1o$ . A linha utilizada na viagem V2 deverá servir a zona que contém a coordenada do evento V1o. Caso contrário, essa inferência deverá ser descartada e o bilhete considerado como “registro órfão”, conforme será tratado mais adiante.

- b) Bilhetes com 3 eventos primários: enquadram-se neste cenário alguns movimentos observados comumente como casa-trabalho, trabalho-compra, compra-casa podendo a atividade compra ser qualquer outra como lazer, saúde etc. A figura a seguir mostra a representação deste movimento:

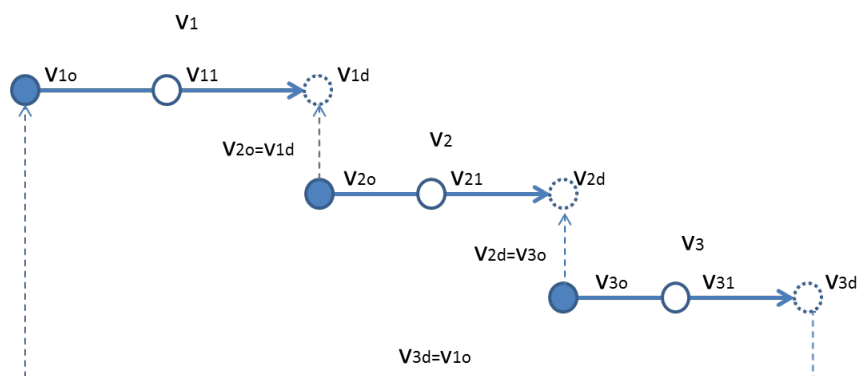


Figura 6. Representação do movimento do bilhete com 3 eventos primários

Nesse caso, similarmente ao cenário anterior as seguintes inferências são realizadas:

Origem da viagem V1 = coordenada do evento V1o

Destino da viagem V1 = coordenada do evento V2o

Origem da viagem V2 = coordenada do evento V2o

Destino da viagem V2 = coordenada do evento V3o

Origem da viagem V3 = coordenada do evento V3o

Destino da viagem V3 = coordenada do evento V1o

Neste caso também, uma verificação deve ser feita para validar a última inferência.  $V3d=V1o$ . A linha utilizada na viagem V3 deverá servir a zona que contém a coordenada do evento V1o. Caso contrário, essa inferência deverá ser descartada e, consequentemente o bilhete descartado.

#### 4.3.2.4 Cenários complexos de utilização do bilhete

Enquadram-se os seguintes cenários:

- Quando mais de 1 viagem ocorre na “janela” de benefício da integração temporal
- Quando o evento primário é retardado pelo usuário
- Bilhetes de gratuidade onde não há registro de evento primário
- Registro órfão, isto é, quando há apenas um evento primário do bilhete; e nos casos dos bilhetes avulsos como o de pagamento em espécie
- Pagamentos feitos em espécie onde não é utilizado bilhete eletrônico individualizado.

a) Viagens “ocultas” na janela de benefícios do bilhete

Devido à “janela” de benefício, é possível que o evento registrado como secundário seja na verdade a origem de uma nova viagem. A figura a seguir mostra essa situação:

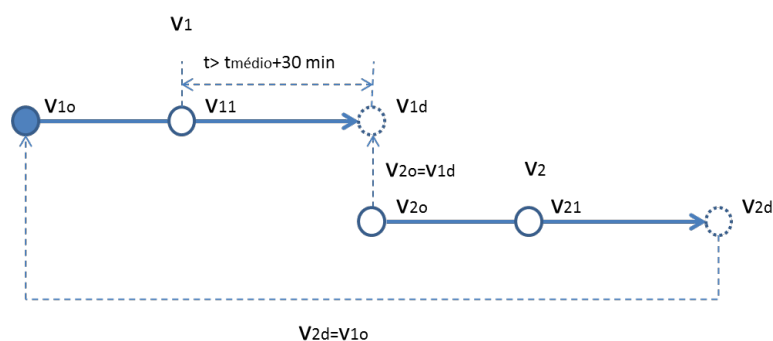


Figura 7. Viagem oculta na “janela” de benefícios do bilhete único

O evento V2o é registrado no SBE como secundário, porém deveria ser um evento primário, ou seja, representado com um círculo cheio.

Para identificar e tratar essa situação foi utilizado um critério baseado na comparação do tempo registrado entre dois eventos sucessivos pelo SBE. Caso o tempo registrado fosse superior a uma

margem de tolerância (40 minutos), o segundo evento passa a ser considerado como um evento primário. A partir daí o tratamento do bilhete passa a ser como no cenário regular.

b) Evento primário registrado com atraso

Esta situação ocorre em duas situações: (i) quando o usuário não passa na catraca logo após o seu embarque devido à lotação do salão; ou (ii) por opção decide passar na catraca apenas no terminal ou ponto de conexão.

Parte deste problema é identificado através de dois procedimentos: a) analisando o intervalo de tempo que ocorre entre o evento primário e secundário; e b) analisando o próximo evento primário do bilhete.

No procedimento a caso o intervalo entre o evento primário e secundário seja muito pequeno (5 minutos) significa que provavelmente o passageiro deixou para passar na catraca somente no terminal ou no ponto de conexão e imediatamente integrou com outra linha.

Porém, esta possibilidade é pouco comum em São Carlos devido ao pequeno espaço existente nos ônibus antes da catraca, assim não foi feito o tratamento desta situação.

c) Bilhete Gratuidade

Os usuários deste bilhete não pagam tarifa, assim todos os eventos são iguais e equivalentes ao evento de integração. Desta forma só é possível identificar a origem da primeira viagem realizada no dia. O destino da primeira viagem assim como a origem das demais viagens fica indeterminado.

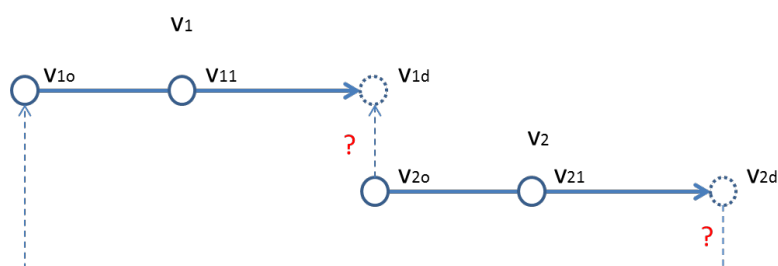


Figura 8. Movimento do bilhete de gratuidade

Uma forma de tratar esse cenário é utilizar o mesmo critério adotado para as viagens ocultas na “janela” de benefício.

d) Registros órfãos

Os registros órfãos são os bilhetes que apresentam apenas um evento primário. Podem apresentar eventos secundários, porém sem um segundo evento primário torna-se impossível inferir o destino da viagem.

São viagens cujo retorno o usuário faz usando outros meios de transporte que não o transporte coletivo ou resultam daqueles bilhetes cujos eventos que, por problema de junção do SBE com o SMO, não podem ser associados a uma coordenada.

Os registros correspondentes a esses bilhetes são descartados no primeiro momento, porém considerados durante a etapa de expansão dos dados, isto é, a eles são associados os comportamentos médios dos bilhetes processados e tratados satisfatoriamente.

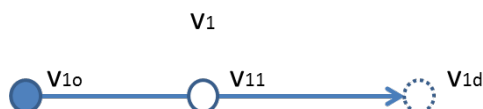


Figura 9. Bilhete com apenas um evento primário

#### e) Eventos pagos em espécie (botoeira)

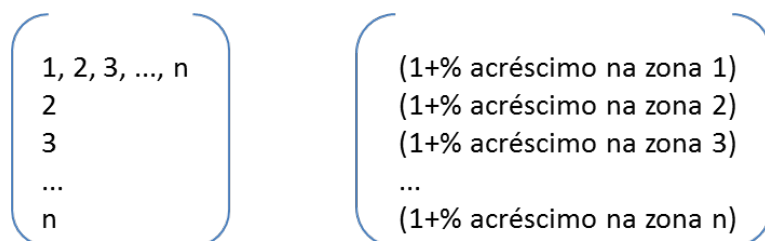
Os eventos pagos em espécie são aqueles que por não estarem associados a um bilhete eletrônico não podem ser rastreados no SBE. Eles não são considerados na etapa de determinação dos pares de origem e destino por bilhete, porém, o são na etapa de expansão dos dados.

### 4.3.2.5 Expansão dos dados

Caso fosse possível associar todos os bilhetes aos eventos, a matriz de origem e destino seria resultante da soma de todos os registros, contudo, parte dos bilhetes não permite esta associação, requerendo um processo de expansão, como mencionado no item anterior (caso dos: eventos primários registrados com atraso, registros órfãos e eventos avulsos).

Para cada um destes cenários foram empregados os seguintes procedimentos para a expansão dos dados:

- Registros órfãos e Eventos sem a inferência final: foram tabulados por zona de origem e todas as células com origem nesta zona foram acrescentadas com o percentual de acréscimo resultante da incorporação dos novos registros.



- Eventos avulsos: os registros correspondentes ao pagamento em espécie foram incorporados à matriz de aplicando-se um fator global correspondente ao percentual de bilhetes com pagamento em espécie.

$$\begin{pmatrix} 1, 2, 3, \dots, n \\ 2 \\ 3 \\ \dots \\ n \end{pmatrix} \times (1 + \% \text{ viagens de uso registrados com atraso})$$

#### 4.4 Viagens dos modos ativos

Conforme destacado anteriormente os dados da telefonia celular fornecem as viagens totais processadas na área de estudo. A separação dos modos é feita utilizando-se de outras fontes de dados como o da bilhetagem eletrônica para o transporte coletivo.

Entretanto, a estimativa das viagens do modo ativo, por falta de base de dados prévio da cidade que daria um conhecimento do comportamento destes fluxos, a estimativa destas viagens teve que ser inferida a partir do perfil de viagens observado em pesquisas de origem e destino domiciliares de outras localidades. A disponibilidade de dados desta natureza não é muito extensa e são restritas a alguns municípios polos que possuem maiores recursos para coletá-los. No presente caso foi utilizada a base de dados da pesquisa da Região Metropolitana de Jundiaí (RMJ) de 2015 cuja amostra compreendeu 6.200 domicílios e 19.300 moradores entrevistados. Entende-se que devido às poucas opções e pelo fato das características desta região se assemelhar no IDHM (São Carlos – 0,805; Jundiaí – 0,822 e média da RMJ – 0,789), a base utilizada é válida para as estimativas.

A partir dos dados de viagens realizadas pelos modos ativos (a pé e bicicleta), foi definida uma curva de participação destas viagens em função das distâncias entre as zonas de tráfego obtidas da rede de simulação da referida região. A figura a seguir mostra o gráfico obtido com os dados da referida pesquisa.

As proporções de viagens ativas estimadas pela função foram aplicadas às viagens totais da matriz de telefonia celular obtendo-se, por diferença, também a matriz dos modos motorizados.



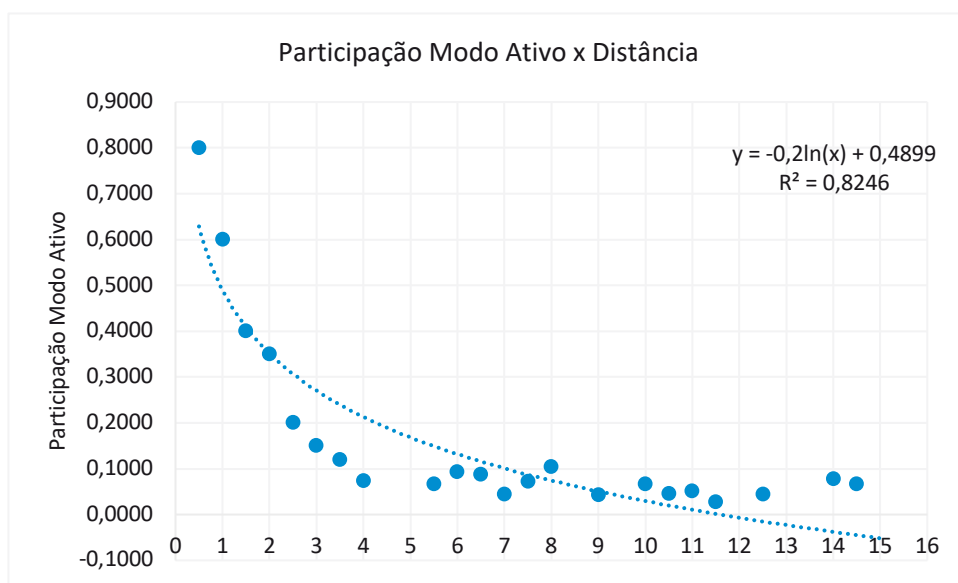


Figura 10 – Função de participação do modo ativo em relação à distância entre zonas

Fonte: Pesquisa Origem e Destino Domiciliar da Região Metropolitana de Jundiaí - 2015

## 5. Apresentação dos Resultados

---

Neste item são apresentados os resultados da aplicação das metodologias para a obtenção das matrizes conforme descritos anteriormente.

Inicialmente, no entanto será apresentada a rede de simulação que foi elaborada para analisar e validar os resultados da alocação das matrizes.

### 5.1 Montagem da rede de simulação

Para o processo de análise e validação das matrizes de viagens foi desenvolvida uma rede de simulação simplificada para o transporte individual e coletivo da cidade de São Carlos. Esse instrumento serviu para fazer as alocações das matrizes e verificar os resultados em comparação com os dados da pesquisa de contagem e visual de carregamento.

A representação da rede de simulação segue os conceitos clássicos utilizados na sua construção que é resumidamente apresentada a seguir.

- **Ligação:** corresponde a uma entidade geográfica representada por uma linha ou curva a qual corresponde ao segmento que é utilizado por um modo de transporte (auto, ônibus) para a união entre dois pontos na área de estudo. Cada ligação contém informações como tipo da infraestrutura, extensão, velocidade ou tempo de percurso, e capacidade.
- **Nós:** corresponde a uma interseção de ligações ou a um ponto representativo do início de uma ligação isolada. Pode representar um cruzamento de vias ou um ponto de transbordo de veículos, para a consecução de uma viagem ou ainda, para conectar duas zonas representativas de Origens ou Destino de viagens.
- **Zona de tráfego:** corresponde a uma área definida por um perímetro traçado de modo a representar uma porção do território da região estudada que reúna algumas características de homogeneidade, quanto às condições de uso e ocupação do solo e de perfil socioeconômico da população residente, de tal forma a condicionar características, também, homogêneas de comportamento dos deslocamentos.
- **Centróide:** é um nó com característica especial, localizado no baricentro estimado da zona de tráfego (tendo como parâmetro a densidade populacional), o qual representa a zona de tráfego. Isto quer dizer que toda a demanda de viagens da zona de tráfego origina-se ou destina-se a esse nó especial.
- **Conector:** é um tipo especial de ligação que une o centróide a um nó da rede de simulação onde o usuário tem acesso para uso do sistema viário e/ou do transporte coletivo. Esta é a única ligação onde ocorrem fluxos representando os deslocamentos originados ou destinados à zona de tráfego, ou seja, do seu centróide.



- Rotas: correspondem a uma sequência de ligações que são utilizadas pelos veículos de um determinado modo de transporte coletivo, estabelecendo a união entre dois nós da rede de transporte. Para a representação das rotas, portanto, é necessário que a infraestrutura de apoio da linha esteja previamente representada; por exemplo, a rede viária (composta por um conjunto de ligações e nós como visto acima) por onde passam as rotas de transporte sobre pneus, a rede ferroviária por onde passam as rotas sobre trilhos ou a rede hidroviária por onde passam as hidrovias. Tais rotas devem conter informações sobre frequência, tipo de veículo que a utiliza, capacidades de transportes nesses veículos.

As figuras a seguir ilustram os conceitos representados na rede de simulação de São Carlos.

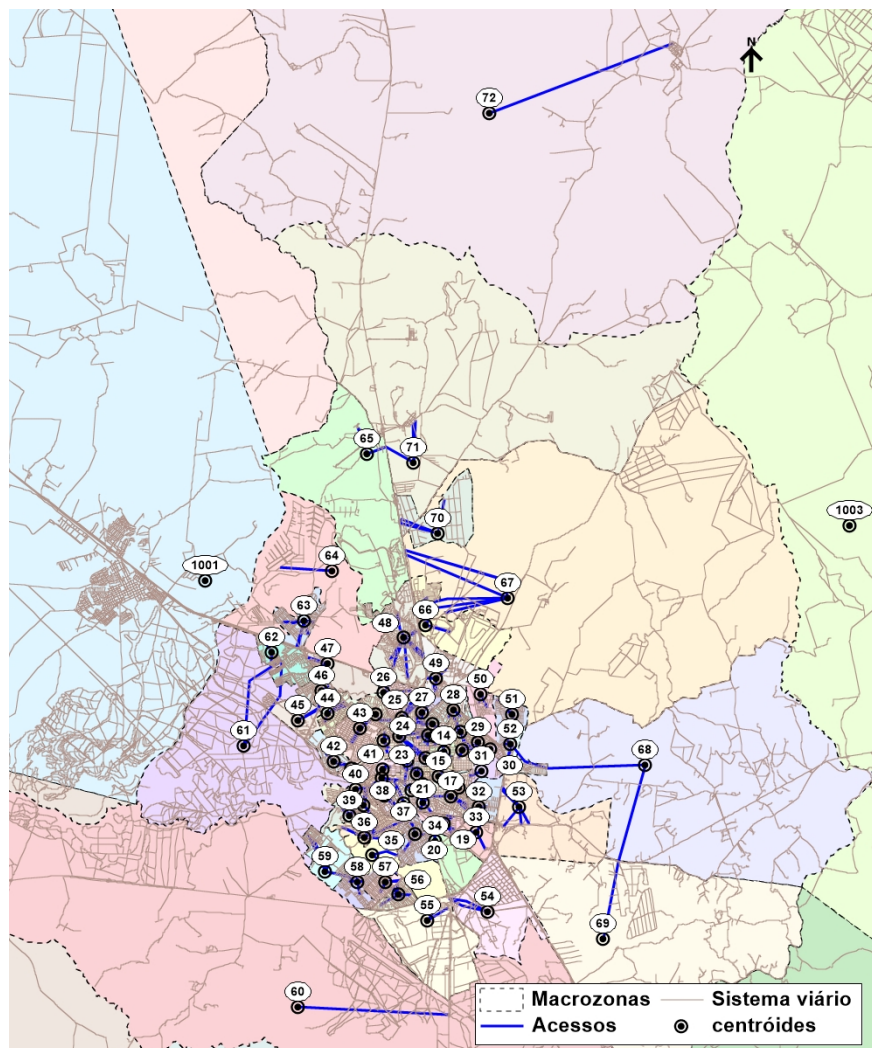


Figura 11 – Representação do sistema viário com nós, ligações, centróide e conectores (acessos)

Fonte: Elaboração própria

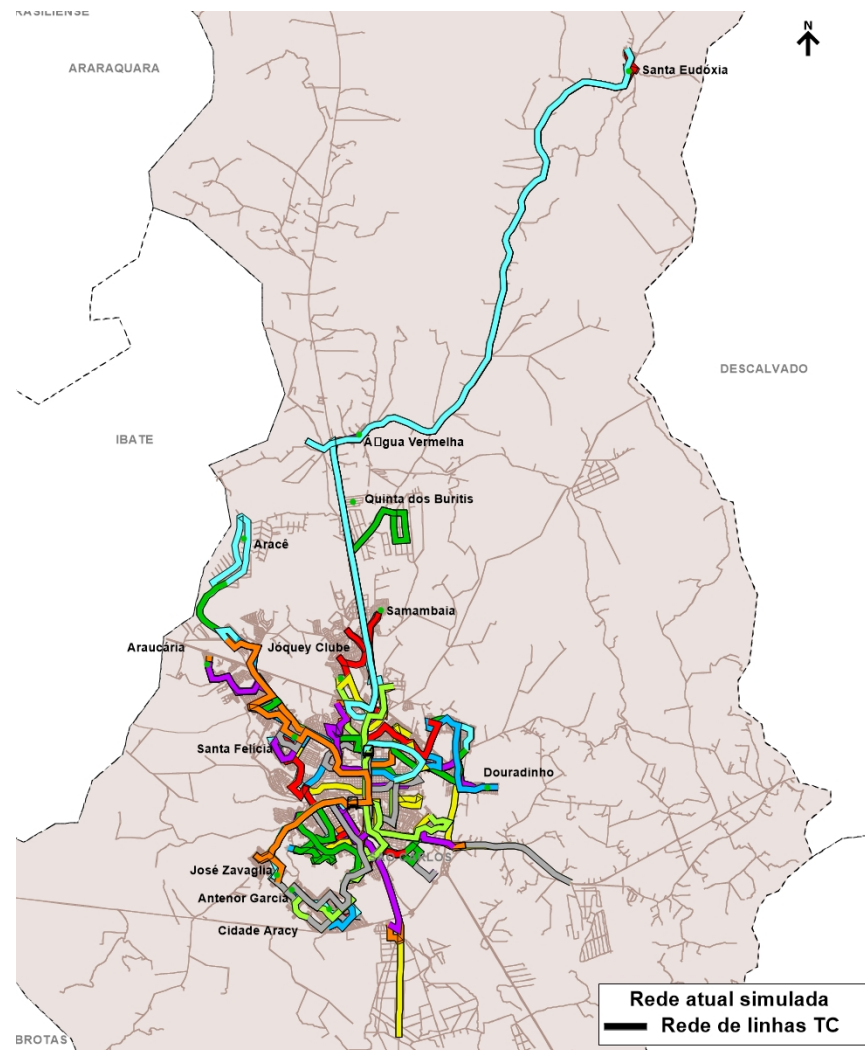


Figura 12 – Representação geral das rotas do sistema de transporte coletivo municipal

Fonte: Elaboração própria

A tabela a seguir relaciona as linhas de ônibus municipais que foram representadas na rede de simulação e os respectivos mapas estão no Anexo I do presente relatório.

Tabela 3 – Relação das linhas de ônibus do sistema municipal de São Carlos

Linha	Sentido	Atendimento	Ext. (km)	Denominação	Freq.(HPM)
01	CB	20463	10,79	UFSCar Norte	1
01	BC	45771	43,27	Piccin (Santa Eudóxia)	1
03	BC	20483	9,04	UFSCar Sul	1
03	CB	20483	11,34	UFSCar Sul	1
03	BC	20492	10,83	UFSCar Norte	1
03	CB	20492	12,70	UFSCar Norte	1
04	BC	20481	7,78	Vila São José	1
04	CB	20481	8,05	Vila São José	1
06	BC	20487	7,72	São José via Tapete	1
06	CB	20487	10,83	São José via Tapete	1
08	BC	46148	16,15	Distrito Industrial	2
08	CB	46148	13,14	Distrito Industrial	1
13	BC	20501	17,59	Astolpho L. do Prado	1
13	CB	20501	16,56	Astolpho L. do Prado	1
13	BC	57400	24,32	E. Fepasa via Araucária	1
13	CB	57400	24,18	E. Fepasa via Araucária	1
18	BC	20516	15,83	Planalto Verde	1
18	CB	20516	18,15	Planalto Verde	1
18	BC	39294	11,23	Planalto Verde via CDHU	2
18	CB	39294	13,69	Planalto Verde via CDHU	2
18	BC	39399	21,81	Estação Fepasa	1
20	BC	25722	12,83	Shopping via São Carlos 8	1
20	CB	25722	10,03	Shopping via São Carlos 8	1
25	BC	31792	11,39	Cedrinho	1
25	CB	31792	12,34	Cedrinho	1
25	BC	39131	12,34	Cedrinho via CDHU	3
25	CB	39131	12,34	Cedrinho via CDHU	2
27	BC	20524	19,28	Santa Felícia	1
27	BC	57282	11,78	Santa Casa via Praça Itália	2
30	BC	20526	12,98	Jóquei Clube (Prolongamento)	1
30	CB	20526	12,32	Jóquei Clube (Prolongamento)	2
30	CB	35213	10,82	Jóquei Clube	1
31	BC	20528	18,53	Belvedere	1
31	CB	20528	16,28	Belvedere	1
31	BC	20907	19,81	Belvedere via Prolongamento	1
31	CB	20907	17,55	Belvedere via Prolongamento	1
32	BC	23011	9,44	Jd. Paulistano	2
32	CB	23011	9,43	Jd. Paulistano	2

Linha	Sentido	Atendimento	Ext. (km)	Denominação	Freq.(HPM)
34	BC	20537	16,44	Novo Mundo	1
34	CB	20537	17,42	Novo Mundo	1
34	CB	31748	24,93	Novo Mundo (Assentamento)	1
34	CB	31556	16,50	Novo Mundo (A.A. Margarido)	1
36	BC	53925	14,65	Paulistano via Av. Sallum	1
36	CB	53925	15,68	Paulistano via Av. Sallum	2
38	BC	20584	18,72	Gonzaga	1
38	CB	20584	19,82	Gonzaga	1
40	BC	20564	17,32	Antenor Garcia	1
40	CB	20564	17,41	Antenor Garcia	1
41	BC	43348	23,14	Cidade Aracy via Embaré	1
41	BC	48951	18,43	Arnon de Mello via V.N. São Carlos	2
41	CB	48951	17,90	Arnon de Mello via V.N. São Carlos	1
42	BC	53849	6,98	Mercado Municipal	1
43	BC	56952	8,72	Mercado Municipal via Abdelnur	1
43	BC	43434	11,53	Estação Norte	1
44	BC	20588	24,21	Água Vermelha	1
44	BC	27848	24,03	Água Vermelha via ECOTEC	1
50	BC	51046	11,46	Estação Norte	3
52	BC	20597	39,37	Santa Eudóxia	1
52	CB	20597	38,43	Santa Eudóxia	1
52	BC	53208	47,28	Santa Eudóxia via Samambaia	1
54	BC	20845	14,36	Estação Fepasa via Ipanema	1
54	CB	20845	15,22	Estação Fepasa via Ipanema	1
55	BC	20608	21,75	Arnon de Melo	1
55	CB	20608	21,15	Arnon de Melo	1
55	CB	31253	20,96	Arnon de Mello via Pq. Fehr	1
57	BC	20660	13,81	Estação Fepasa	2
57	CB	20660	13,25	Estação Fepasa	2
60	BC	20622	8,10	Zavaglia	2
60	CB	20622	8,54	Zavaglia	1
60	BC	20746	9,68	Zavaglia via Abdelnur	1
60	CB	20746	10,27	Zavaglia via Abdelnur	1
61	BC	20612	11,95	Jd. Araucária	2
61	CB	20612	11,99	Jd. Araucária	2
63	CB	41714	7,91	Novo Horizonte	1
63	CB	55584	13,07	Novo Horizonte via Itaipu	1
66	BC	20667	9,27	Mercado Municipal	1
66	CB	20667	8,84	Mercado Municipal	1
ESP109	BC	20739	13,90	SESI/ Maracanã	1
EX68	BC	46301	7,89	Centro	3



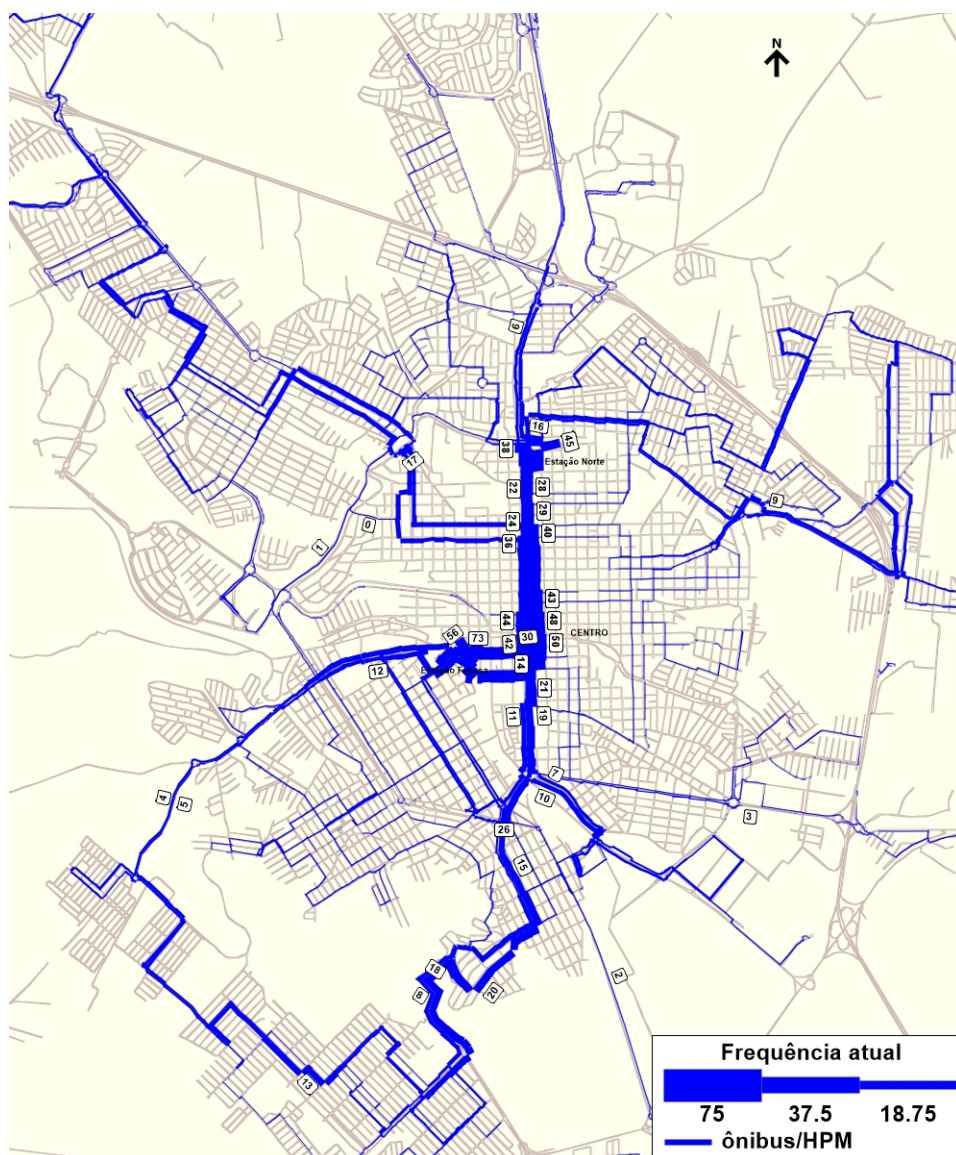


Figura 13 – Representação da soma das frequências de ônibus/hora na hora de pico da manhã

Fonte: Sistema de Bilhetagem

## 5.2 Matriz da Bilhetagem Eletrônica

O processamento dos dados da bilhetagem eletrônica e do sistema de monitoramento produziu uma matriz de viagens diárias, com base no dia 08/06/2022 de 36,7 mil viagens distribuídas por faixa horária conforme mostram a tabela e o gráfico a seguir.

Tabela 4 – Distribuição das viagens sistema de bilhetagem eletrônica

Faixa Horária	Viagem	Percentual
4	112	0,30%
5	1.085	2,95%
6	3.602	9,80%
7	3.580	9,73%
8	3.093	8,41%
9	1.614	4,39%
10	1.487	4,04%
11	1.875	5,10%
12	2.557	6,95%
13	2.223	6,05%
14	1.832	4,98%
15	2.147	5,84%
16	2.785	7,57%
17	3.623	9,85%
18	2.684	7,30%
19	688	1,87%
20	466	1,27%
21	425	1,16%
22	666	1,81%
23	228	0,62%
Total Geral	36.773	100,00%

Fonte: Sistema de Bilhetagem Eletrônica, Sistema de Monitoramento

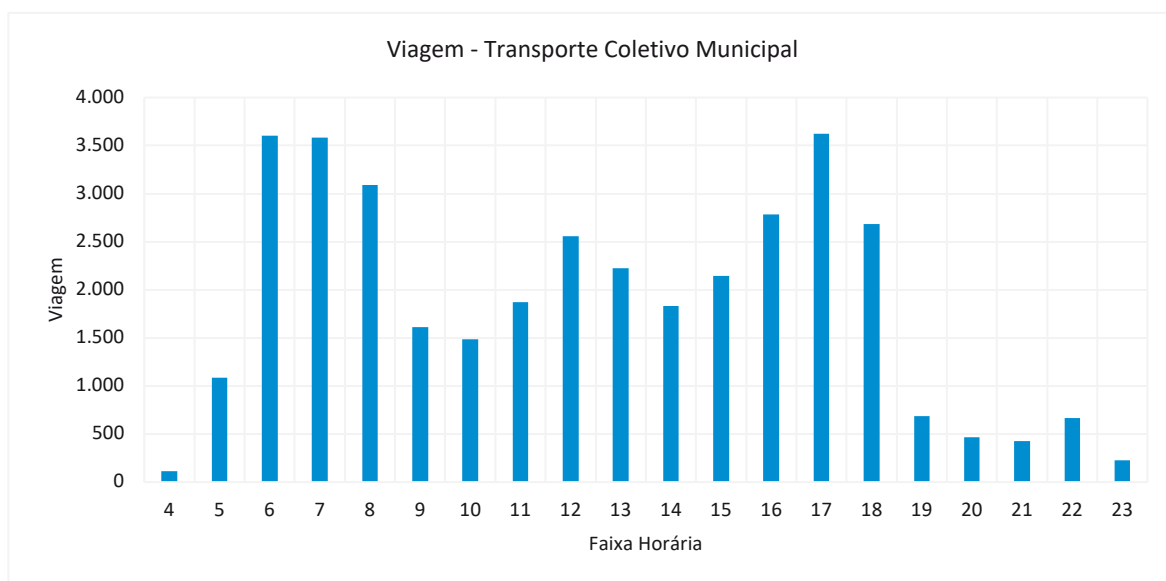


Figura 14 – Gráfico de distribuição horária das viagens

Fonte: Sistema de Bilhetagem Eletrônica, Sistema de Monitoramento



O período de pico da manhã é claramente identificado nas faixas horárias de 6h a 8h com horário de pico às 6h, com 3.602 viagens, praticamente igual à 7h com 3.580 viagens. O período de pico da tarde já é mais distribuído, porém no horário de pico a quantidade de viagens é similar ao pico da manhã com 3.623 viagens.

O mapa da figura a seguir mostra a produção e atração das viagens de transporte coletivo resultado do processamento da bilhetagem eletrônica para o horário de pico da manhã.

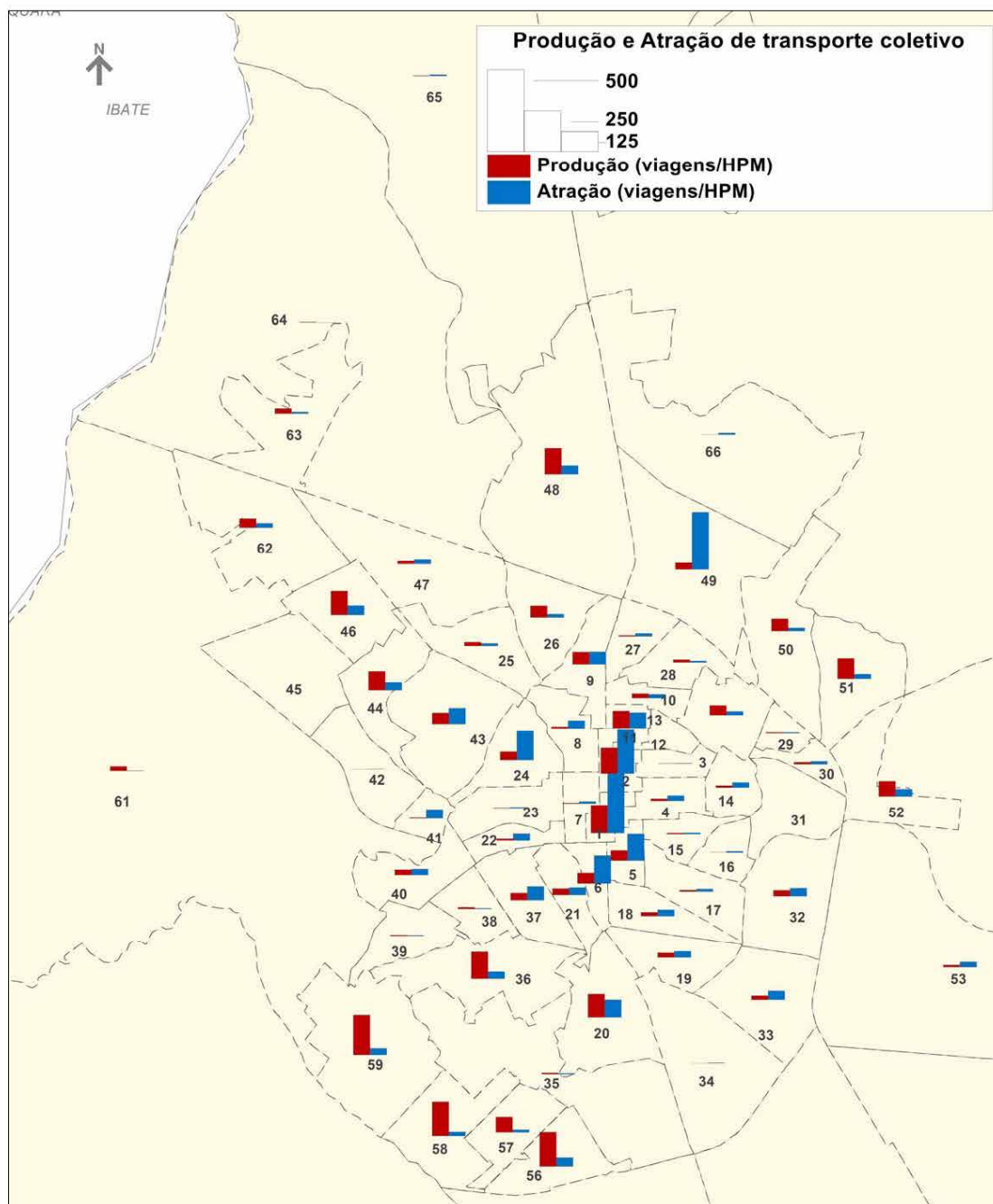


Figura 15 – Produção e atração de viagens de transporte coletivo por macrozonas no horário de pico da manhã

Fonte: Sistema de Bilhetagem Eletrônica, Sistema de Monitoramento

O mapa da figura a seguir mostra os principais fluxos de viagens entre as macrozonas.

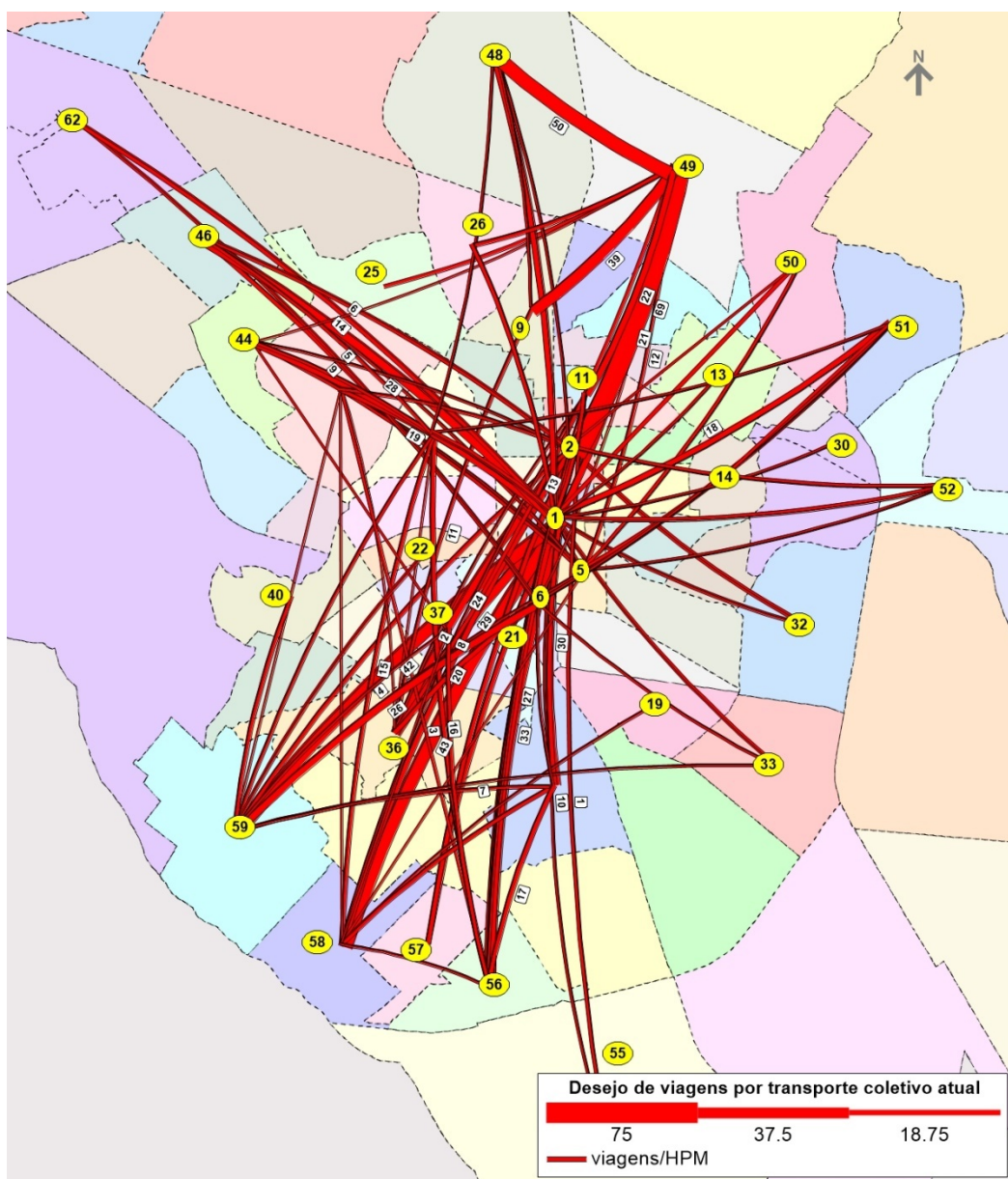


Figura 16 – Principais linhas de desejo de viagens de transporte coletivo por macrozonas no horário de pico da manhã

Fonte: Sistema de Bilhetagem Eletrônica, Sistema de Monitoramento

## 5.2.1 Carregamento da matriz de bilhetagem eletrônica

No processo de validação da matriz da bilhetagem eletrônica está a alocação da matriz da hora pico da manhã, conforme mostra os mapas das figuras a seguir.

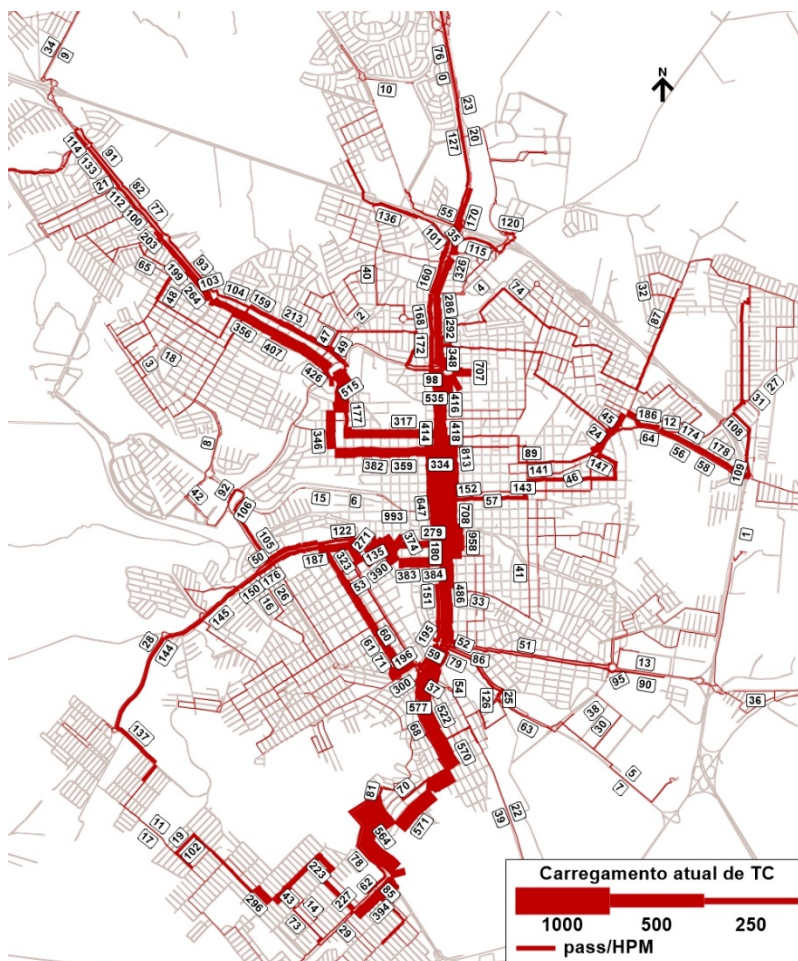


Figura 17 – Resultado da alocação da matriz de bilhetagem - HPM

Fonte: Elaboração própria



Figura 18 – Resultado da alocação da matriz de bilhetagem – HPM – Área Central

Fonte: Elaboração própria



A tabela a seguir mostra o resultado do carregamento da matriz da bilhetagem em comparação com os volumes de passageiros registrados nos postos da pesquisa de campo.

Tabela 5 – Resultados da alocação da matriz da bilhetagem e comparação com os dados da pesquisa

Posto	Via	Sentido	Pesquisado	Simulado
P02	Avenida São Carlos	2	12	0
P02	Avenida São Carlos	1	205	182
P03	Avenida Doutor Carlos Botelho	1	45	51
P03	Rua Quinze de Novembro	2	0	45
P04	Rua Marechal Deodoro	2	0	32
P04	Rua Padre Texeira	1	0	81
P05	Avenida Comendador Alfredo Maffei	1	5	0
P05	Avenida Comendador Alfredo Maffei	2	5	0
P06	Avenida São Carlos	2	162	151
P06	Avenida São Carlos	1	468	486
P07	Avenida Integração	1	409	570
P07	Avenida Integração	2	42	79
P08	Avenida José Pereira Lopes	1	372	332
P08	Avenida José Pereira Lopes	2	163	122
P09	Avenida Comendador Alfredo Maffei	1	32	15
P09	Avenida Comendador Alfredo Maffei	2	10	0
P10	Rua Miguel Petroni	1	294	346
P10	Rua Miguel Petroni	2	147	191

Obs 1.: Sentido 1 – Bairro Centro; Sentido 2 – Centro Bairro

Obs 2: O Posto 01 da Av. Professor Luís Augusto de Oliveira foi desconsiderado em função da mescla de serviços urbanos regulares com outros serviços como escolares e rurais.

O resultado da correlação entre os volumes pesquisados e simulados apresenta um  $R^2=0,9565$  bastante satisfatória.

Os postos com volumes muito baixos são aqueles que apresentam vazios que devido à baixa frequência de ônibus não puderam ser representados ou na pesquisa ou nas simulações.

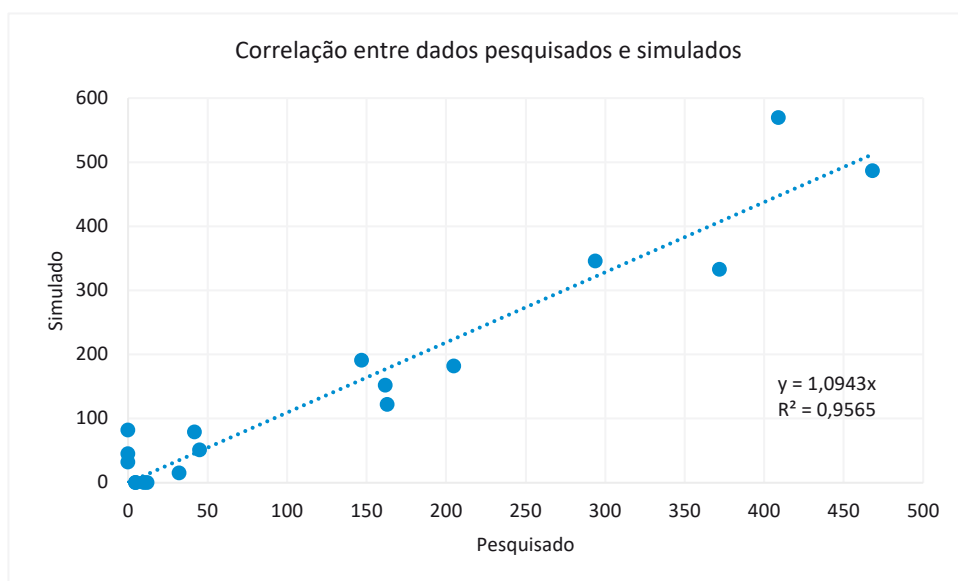


Figura 19 – Gráfico com correlação entre os resultados pesquisados e simulados – viagens do modo coletivo (bilhetagem)

Fonte: Elaboração própria

### 5.3 Matriz de telefonia celular

A Kido Dynamics forneceu dados de telefonia celular correspondentes ao período de 06/06/2022 a 12/06/2022, com os totais de viagens mostrados na tabela a seguir.

Tabela 6 – Totais de viagens do período

Data	Dia da semana	Viagens
06/06/2022	Segunda-feira	451.510
07/06/2022	Terça-feira	460.711
08/06/2022	Quarta-feira	451.636
09/06/2022	Quinta-feira	461.244
10/06/2022	Sexta-feira	492.085
11/06/2022	Sábado	417.648
12/06/2022	Domingo	333.178

Fonte: Kido Dynamics

O comportamento nos dias úteis ao longo da semana, apresenta demandas em torno de uma média de 456 mil viagens, excetuando sexta-feira com 492 mil viagens. A demanda de sábado é relativamente alta, 92% dos valores médios de dias úteis e no domingo 73%. Lembrando que se trata de viagens feitas por todos os modos de transporte.

A data de referência escolhida para as análises e montagem das matrizes foi o dia 08/06/2022 devido ao fato de que nesta data os dados de bilhetagem estão melhores, mesmo que pela tabela acima nesse dia a demanda é um pouco menor, porém não distante da média.

### 5.3.1 Dados complementares

Os dados complementares fornecidos pela base de dados da Kido permitem extrair algumas informações a respeito do perfil dos assinantes de telefones celulares na base fornecida.

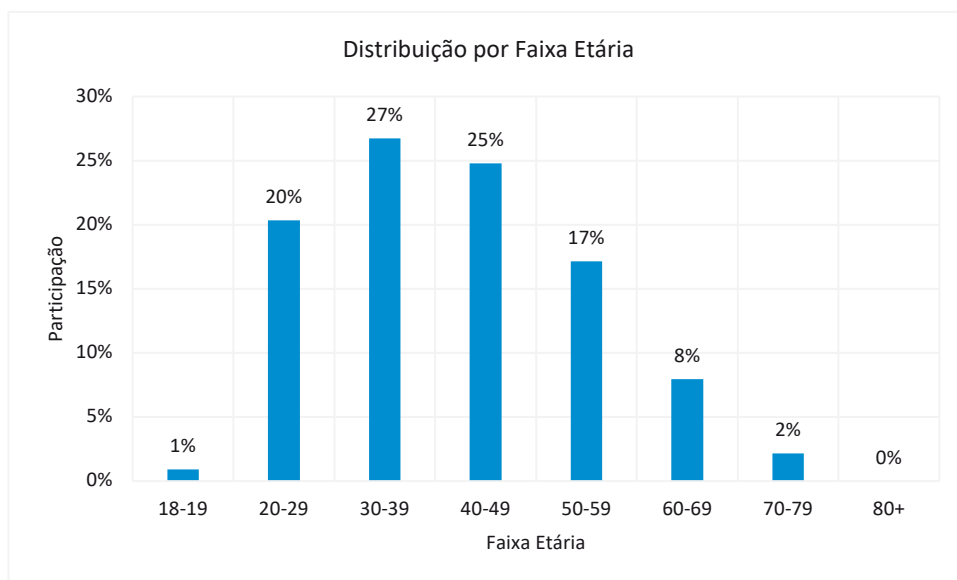


Figura 20 – Distribuição da base de dados por faixa etária

Fonte: Kido Dynamics

Observa-se que os dados representam as características dos assinantes de celulares e nesse caso não possuem informações de faixas etárias inferiores a 18 anos.

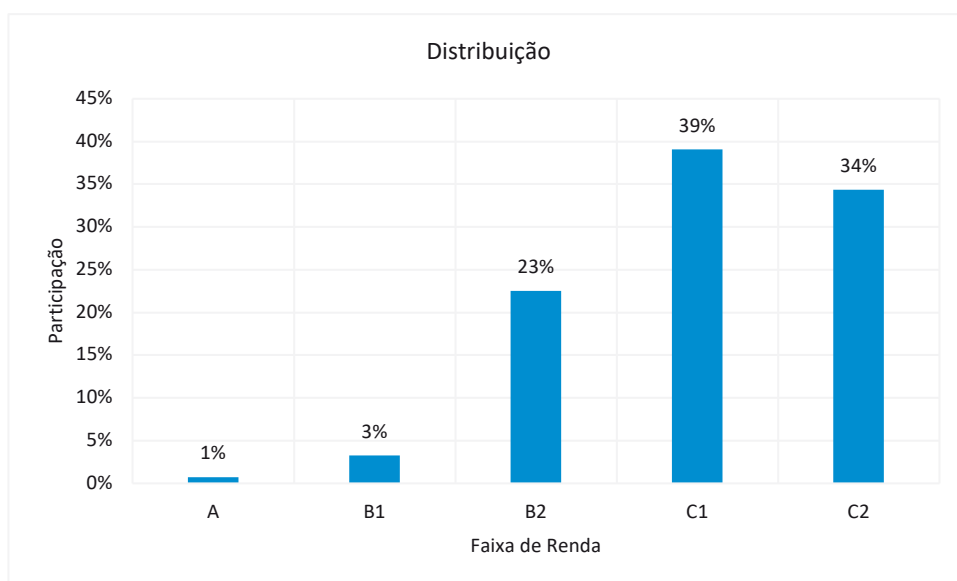


Figura 21 – Distribuição da base de dados por faixa de renda

Fonte: Kido Dynamics

### 5.3.2 Perfil horário das viagens

Neste item será feita uma análise da distribuição horária estimada pelos dados de telefonia celular, considerando o horário de partida das viagens. Foi definido o horário de partida em razão de ser mais coerente com o da validação do sistema de bilhetagem dentro dos ônibus.

A distribuição horária das viagens desta base de dados é dada a seguir:

Tabela 7 – Distribuição horária das viagens de telefonia celular

Faixa Horária	Total	Participação
0	8.147	1,8%
1	4.991	1,1%
2	3.630	0,8%
3	3.585	0,8%
4	3.624	0,8%
5	7.790	1,7%
6	18.888	4,2%
7	24.258	5,4%
8	26.022	5,8%
9	25.537	5,7%
10	25.832	5,7%
11	29.794	6,6%
12	27.052	6,0%
13	28.038	6,2%
14	27.819	6,2%
15	27.481	6,1%
16	30.442	6,7%
17	34.411	7,6%
18	30.919	6,8%
19	22.171	4,9%
20	15.426	3,4%
21	12.506	2,8%
22	8.804	1,9%
23	4.471	1,0%
Total Geral	451.636	100,0%

Fonte: Kido Dynamics

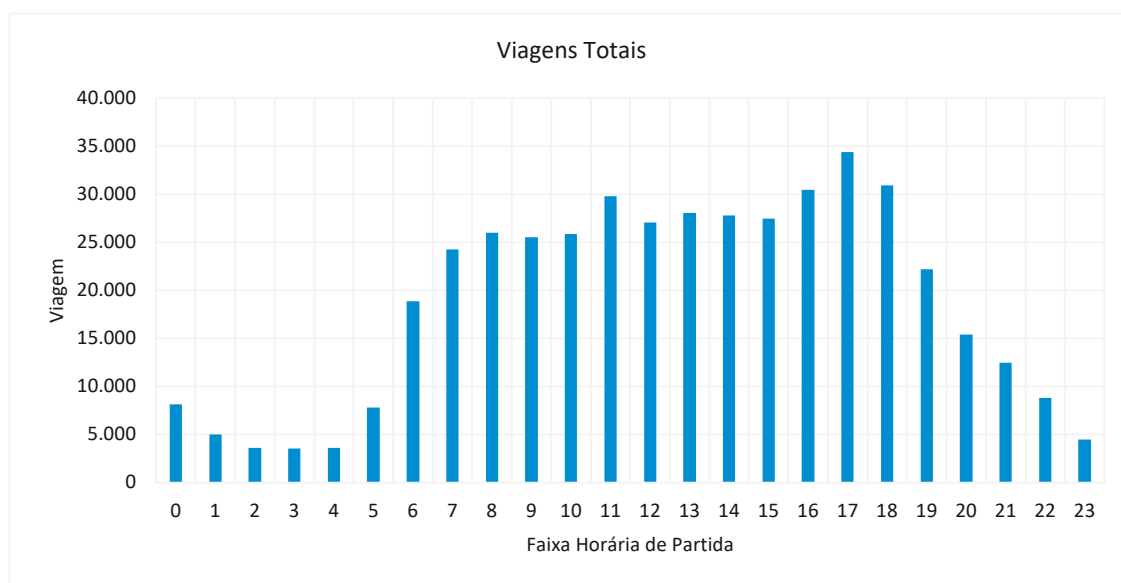


Figura 22 - Distribuição horária das viagens de telefonia celular

Fonte: Kido Dynamics

O perfil de distribuição dos dados de telefonia celular mostra algumas características que diferem daquela observada em pesquisas domiciliares de origem e destino e mesmo do sistema de bilhetagem eletrônica onde há uma identificação de picos de manhã, almoço e tarde, com vales entre eles. Na tabela e gráfico acima verifica-se que estas características não se pronunciam nos dados de telefonia celular.

Nas pesquisas domiciliares há um problema de sub-reportagem de viagens principalmente nos entre picos, ou seja, os entrevistadores normalmente omitem essas viagens por esquecimento, o que não ocorre na telefonia celular, uma vez que o registro é coletado automaticamente.

Quanto à telefonia celular as viagens no período de pico da manhã parecem subestimadas. Esse problema tem sido observado em outros projetos e uma das razões prováveis é que o usuário em média, de manhã, aciona o seu aparelho somente após iniciada a sua jornada diária.

Para resolver essa questão foram utilizados os dados da pesquisa de campo para efetuar o ajuste da matriz neste período do dia de maneira a aproximar os carregamentos com os observados em campo.

## 5.4 Estimativa da matriz dos modos ativos

Conforme descrito anteriormente a matriz dos modos ativos foi inferida a partir da aplicação da função que estabelece um percentual de viagens deste modo conforme a distância da viagem, que no caso, foi adotado como sendo a distância entre os centróides de zonas.



Tabela 8 – Estimativa das viagens do modo ativo

Período	Total	Ativo	Participação	Motorizado	Participação
Dia	339.969	63.193	19%	276.776	81%
PM	54.998	9.602	17%	45.396	83%
HPM	18.705	3.305	18%	15.400	82%

Fonte: Kido Dynamics

Os resultados mostrados na tabela se referem às viagens realizadas internamente ao município de São Carlos, uma vez que os modos ativos não se aplicam aos fluxos que ocorrem com outras cidades uma vez que não há a conurbação urbana que permitiria a existência de viagens a pé ou de bicicleta entre os municípios.

Observa-se que o modo ativo participa com 19% das viagens diárias na cidade de São Carlos e em 17% nos períodos de pico da manhã, de acordo com a metodologia adotada.

O mapa da figura a seguir mostra a produção e a atração de viagens do modo ativo nas macrozonas de tráfego.

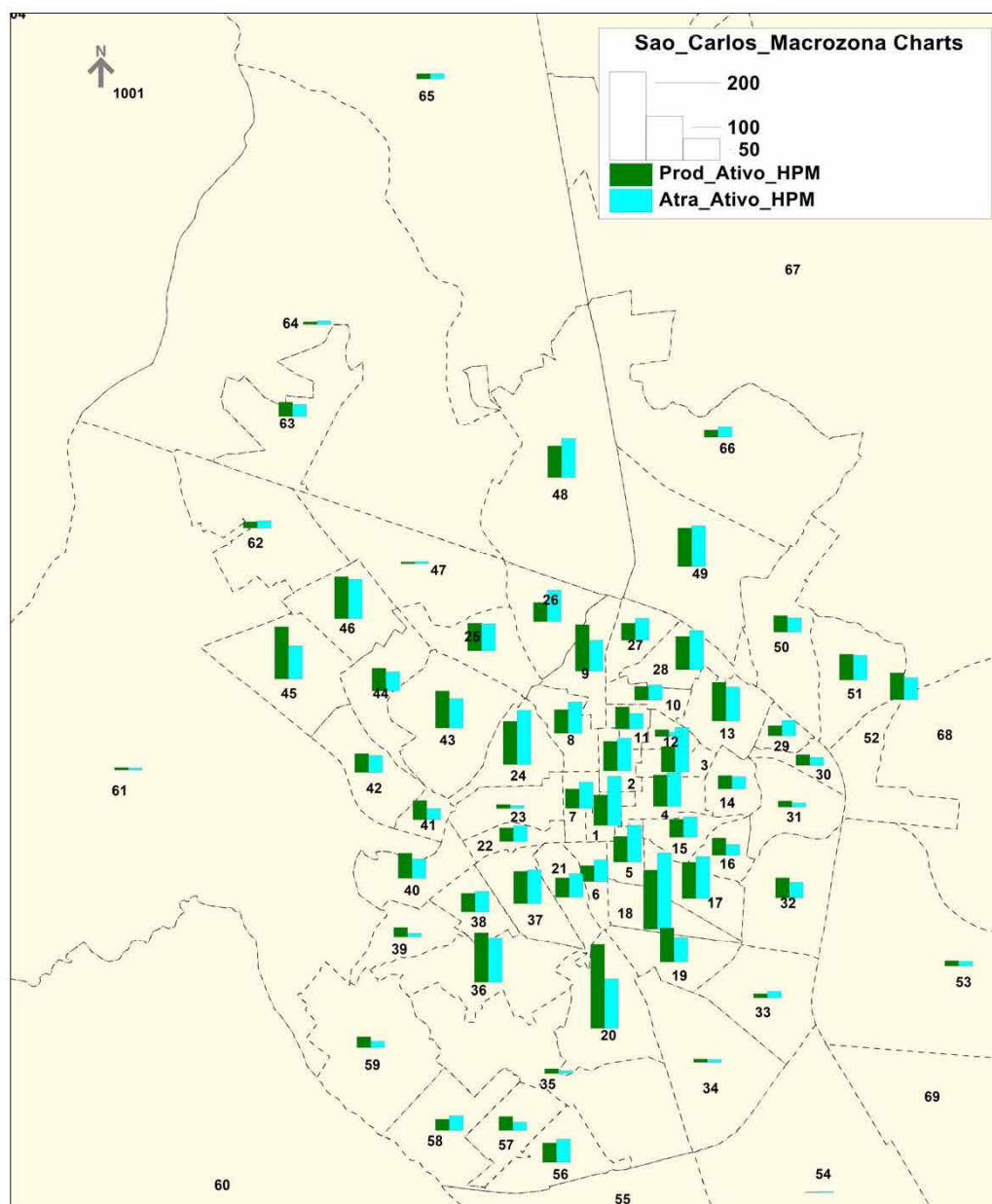


Figura 23 – Produção e Atração de viagens do modo ativo – hora pico da manhã

Fonte: Kido Dynamics

## 5.5 Estimativa da matriz do modo individual

A matriz do modo individual é definida a partir da subtração da matriz da bilhetagem da matriz do modo motorizado conforme estimado no item anterior.

A matriz semente assim estimada é alocada na rede de simulação e feitos os ajustes necessários para que os volumes alocados se aproximem das contagens veiculares dos postos de pesquisa.

A tabela e o gráfico a seguir mostram os resultados obtidos nos ajustes e na alocação da matriz do modo individual.

Tabela 9 – Resultados da alocação da matriz do modo individual e comparação com os dados da pesquisa

Posto	Via	Sentido	Pesquisado	Simulado
P01	Avenida Professor Luís Augusto de Oliveira	1	984	1009
P02	Avenida Professor Luís Augusto de Oliveira	2	817	857
P02	Avenida São Carlos	2	670	691
P02	Avenida São Carlos	1	524	617
P03	Avenida Doutor Carlos Botelho	1	340	169
P03	Rua Quinze de Novembro	2	466	376
P04	Rua Marechal Deodoro	2	457	266
P04	Rua Padre Texeira	1	215	264
P05	Avenida Comendador Alfredo Maffei	1	302	344
P05	Avenida Comendador Alfredo Maffei	2	220	370
P06	Avenida São Carlos	2	551	325
P06	Avenida São Carlos	1	259	156
P07	Avenida Integração	1	273	258
P07	Avenida Integração	2	121	193
P08	Avenida José Pereira Lopes	1	113	151
P08	Avenida José Pereira Lopes	2	103	213
P09	Avenida Comendador Alfredo Maffei	1	235	241
P09	Avenida Comendador Alfredo Maffei	2	202	140
P10	Rua Miguel Petroni	1	248	175
P10	Rua Miguel Petroni	2	216	167

Obs.: Sentido 1 – Bairro Centro; Sentido 2 – Centro Bairro

O resultado da correlação entre os volumes pesquisados e simulados apresenta um  $R^2=0,9518$  bastante satisfatória.

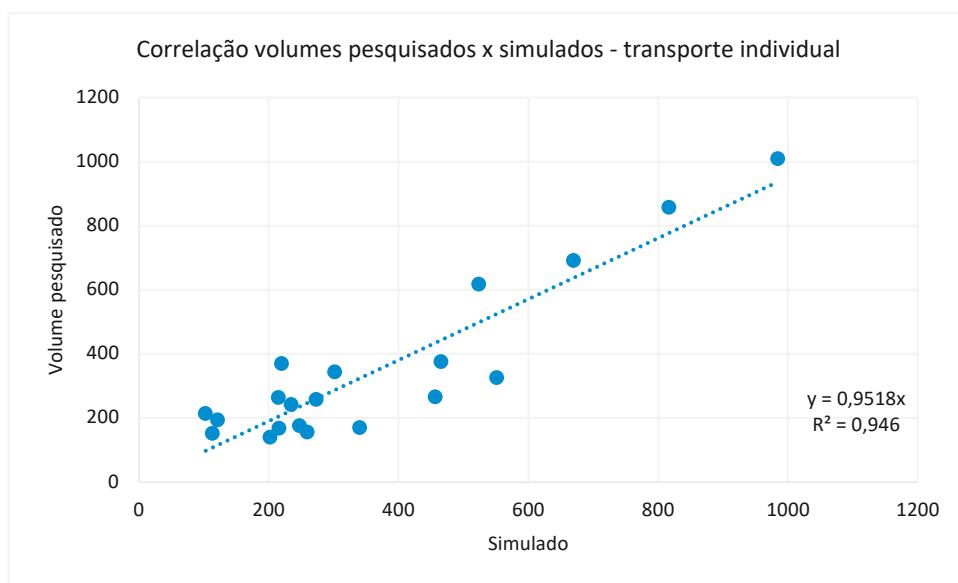


Figura 24 – Gráfico com correlação entre os resultados pesquisados e simulados – viagens do modo individual  
Fonte: Elaboração própria



Os mapas das figuras a seguir mostram a produção e atração de viagens individuais por macrozonas da área de estudo, incluindo as zonas externas e outro destacando a parte central do município de São Carlos.

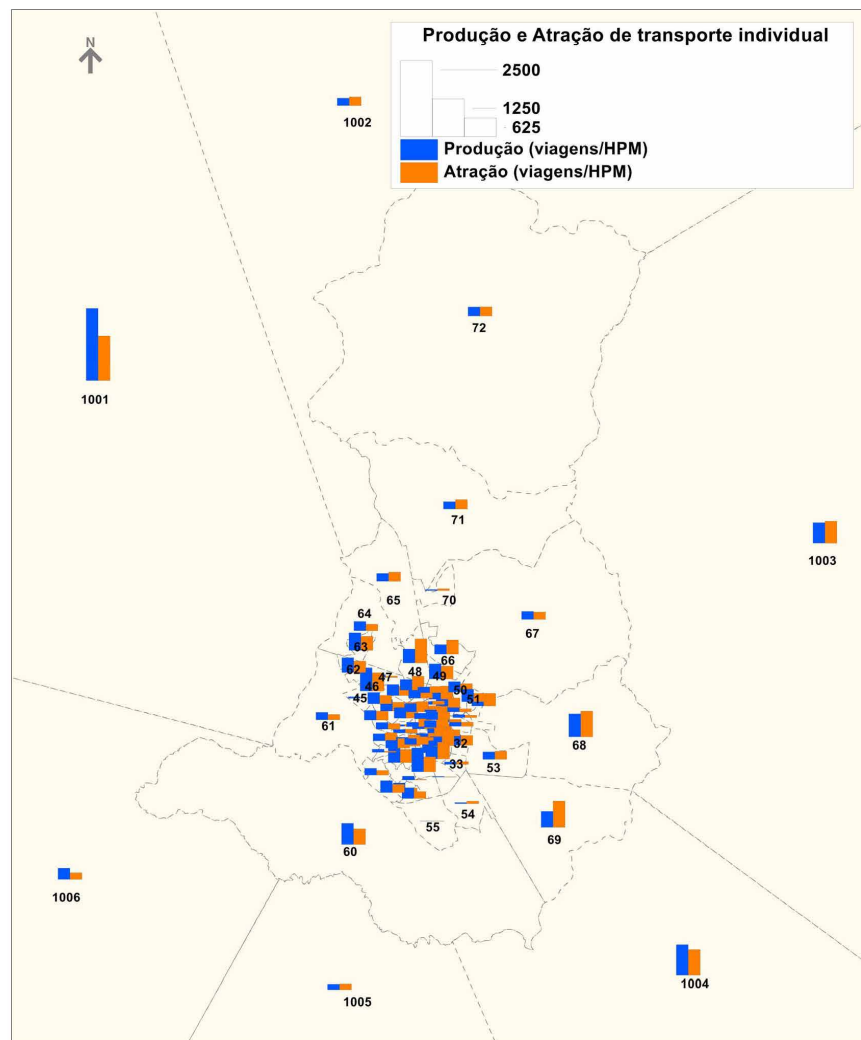


Figura 25 – Produção e atração de viagens individuais por macrozonas no horário de pico da manhã  
Fonte: Elaboração própria

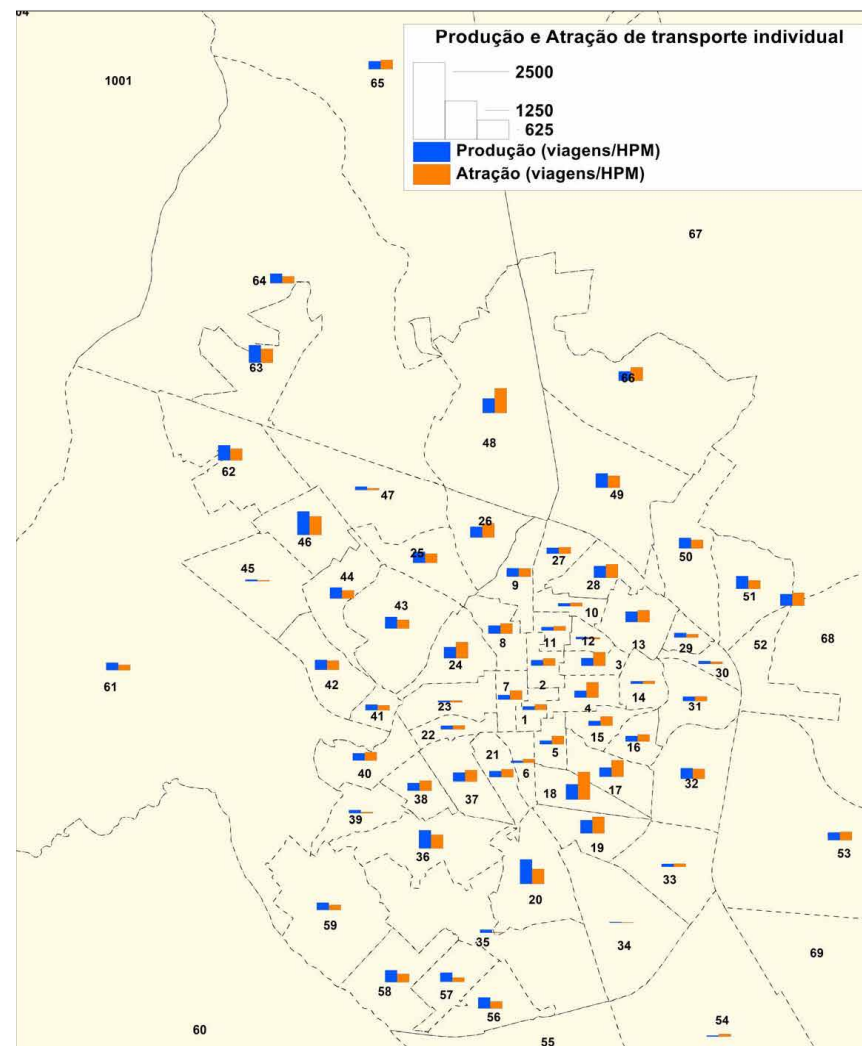


Figura 26 – Produção e atração de viagens individuais por macrozonas no horário de pico da manhã – parte central de São Carlos  
Fonte: Elaboração própria

O mapa da figura a seguir mostra as principais linhas de desejo das viagens de transporte individual por macrozonas no horário de pico da manhã e que são internos ao município.

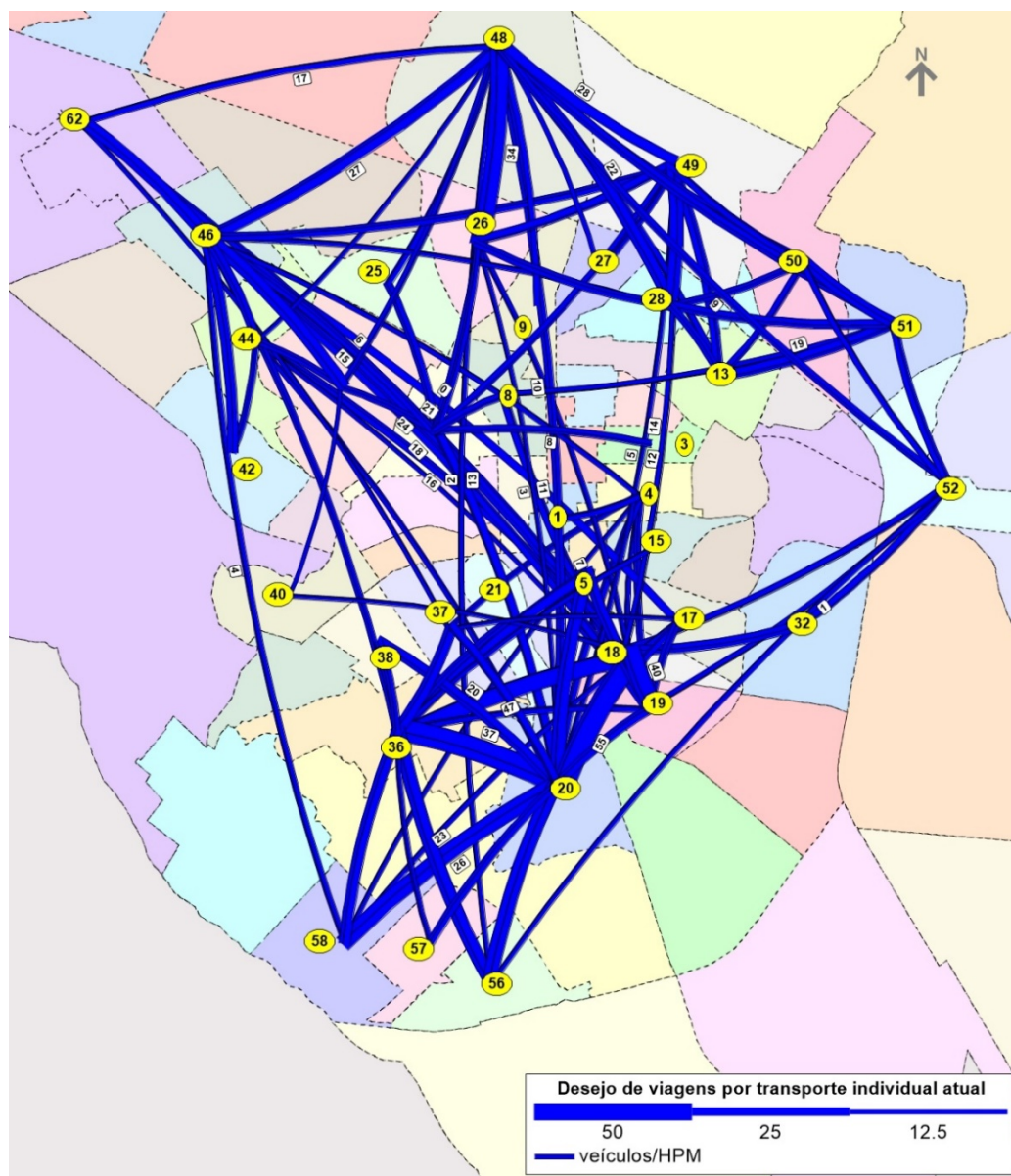


Figura 27 – Principais linhas de desejo das viagens individuais por macrozonas no horário de pico da manhã – viagens internas de São Carlos

Fonte: Elaboração própria

Os fluxos externos são apresentados na forma de tabela por eixo de aproximação conforme mostrado a seguir.

Tabela 10 – Origens e Destinos de Veículos Externas por Eixo de Aproximação – Horário de Pico da Manhã

Origem (Macrozona)	Eixo	Veículo	Distr.	Destino (Macrozona)	Veículo	Distr.
1001	BR-364 Rod. Washington Luiz (Araraquara)	1.821	49%	1001	1.131	39%
1002	SP 318 Rod. Eng. Thales de Luce Peixoto Júnior (Água Vermelha)	191	5%	1002	217	8%
1003	BR 267 Rod. Deputado Vicente Bota (Descalvado)	519	14%	1003	558	19%
1004	BR 364 Rod. Washington Luiz (Rio Claro)	776	21%	1004	652	23%
1005	Rod. Mun. Domingos Innocentini (Itirapina)	147	4%	1005	154	5%
1006	SP 215 Rod. Luis Augusto de Oliveira (Ribeirão Bonito)	291	8%	1006	173	6%
Total		3.745	100%	Total	2.885	100%
Interna		15.489	81%	Interna	16.350	85%
Externa		3.745	19%	Externa	2.885	15%
Total Geral		19.234	100%	Total Geral	19.235	100%

Fonte: Elaboração própria

A Rodovia Washington Luiz, em direção a Araraquara, é a responsável por 1.821 veículos com destino a São Carlos na hora de pico da manhã (49% do total) e saem 1.131 veículos (39% do total). Em direção a Rio Claro, são 776 veículos saindo da cidade (21% do total) e 652 chegando à cidade (23% do total).

O terceiro eixo de maior demanda é a Rodovia Deputado Vicente Bota, com 519 veículos chegando ao município de São Carlos (14% do total) e 558 veículos saindo (19% do total). Os demais eixos têm volumes bem menores conforme mostra a tabela.

As viagens externas representam 19% do total das origens de veículos e 15% do total dos destinos de veículos que chegam ou partem de São Carlos.

O mapa da figura a seguir mostra o resultado do carregamento da matriz de veículos no horário de pico da manhã, incluindo as viagens externas.

Nota-se que o eixo da Rodovia Washington Luiz tem carregamento significativo e se deve em boa parte ao fluxo de veículos que chegam e partem de São Carlos e direção às zonas externas conforme mencionado acima.



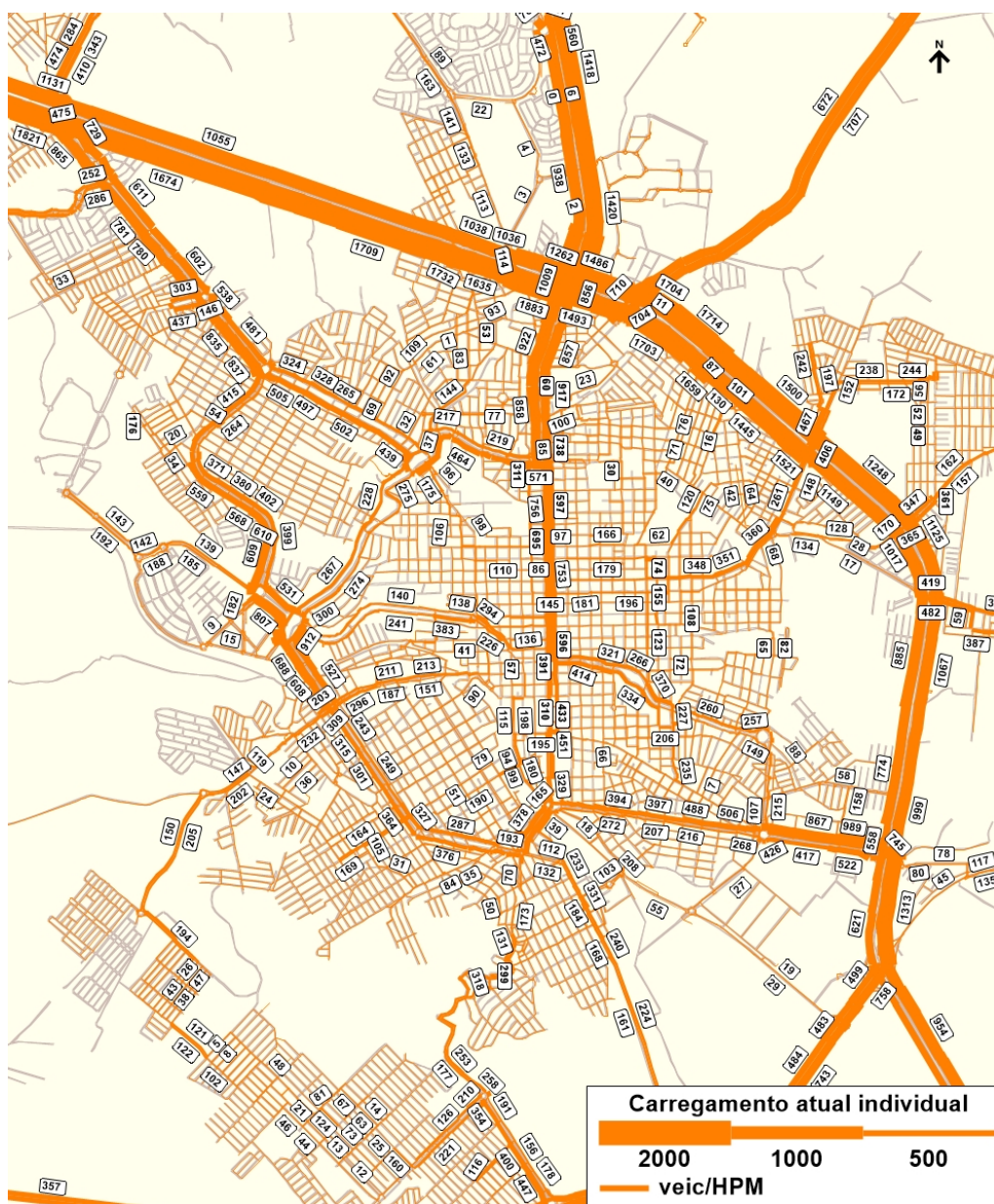


Figura 28 – Carregamento da matriz de transporte individual no horário de pico da manhã

Fonte: Elaboração própria



## 6. Arquivo de Dados

---

Anexo a esta Nota Técnica são apresentadas em um arquivo Excel planilhas contendo:

- Dia - Contém as matrizes das viagens motorizadas (transporte individual - TI + transporte coletivo - TC) e ativas, sem separação de viagens de TC e TI.
- HPM - Contém as matrizes de viagens dos modos individual, coletivo e ativo ajustadas com as pesquisas.
- Matriz Dia: Contém a matriz total do dia, sem separação de viagens de TC e TI.
- Matriz HPM: Contém as matrizes de viagens dos modos individual, coletivo e ativo ajustadas com as pesquisas de campo.