

Implantação e uso da ferramenta de análise de mobilidade de bicicletas BikeScience na CET: Identificando caminhos cicláveis em São Paulo

*Higor Amario de Souza, Edison de Oliveira Vianna,
Edlene Carneiro de Souza, Fabio Kon*

Resumo

Este artigo apresenta o processo de implantação e uso, na Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo (CET), da ferramenta de análise de dados *BikeScience* desenvolvida no contexto do projeto InterSCity do Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo (IME-USP). Esse trabalho é fruto de uma parceria entre a CET e pesquisadores do InterSCity. Aqui descrevemos como tem sido o processo de uso da ferramenta para fazer análises com o objetivo de colaborar para o entendimento e o processo de tomada de decisão sobre as questões relacionadas com a mobilidade urbana ativa em São Paulo. Descrevemos como a ferramenta pode ser usada para trazer informações sobre o perfil de ciclistas com base em dados de mobilidade. Descrevemos também os resultados de uma análise comparativa entre as viagens da Pesquisa Origem Destino 2017 e as contagens de fluxos de bicicletas realizadas pela CET. Os resultados mostram quais as vias e locais da cidade de São Paulo possuem maior concentração de viagens de bicicletas. Por fim, apresentamos trabalhos futuros que serão realizados com o apoio da ferramenta *BikeScience*.

Abstract

This paper presents the process of implementing and using, at the Traffic Engineering Company of São Paulo (CET), BikeScience, a data analysis tool developed within the InterSCity project at the Institute of Mathematics and Statistics of the University of São Paulo (IME-USP). This work is the result of a partnership between CET and InterSCity researchers. Here, we describe the process of using the tool to perform analyzes contributing to the understanding and supporting the decision-making process on issues related to active urban mobility in São Paulo. We describe how the tool provides information about the profile of cyclists based on mobility data. We also present the results of a comparative analysis between trips of the 2017 Origin Destination Travel Survey and the cycling flow counts performed by CET. The results show which places in the city of São Paulo have the highest concentration of bicycle trips. Finally, we present future work that will be carried out with the support of the BikeScience tool.

Introdução

Vários atores participam da mobilidade na cidade de São Paulo, e o desafio da CET sempre foi de conciliar todos os modos de transporte da melhor forma. Diversas ações foram implementadas ao longo dos anos, de maneira a criar condições seguras e ágeis para todos os modos. Vários exemplos podem ser citados, como faixas exclusivas de ônibus, corredores de ônibus, melhorias nas travessias de pedestres, dentre outros. No entanto, a capacidade do sistema viário é limitada. O trânsito na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) é caracterizado pela existência de grandes congestionamentos, o que acarreta prejuízos para a qualidade de vida dos cidadãos assim como perdas econômicas. Estima-se que os congestionamentos na RMSP afetem 89% das viagens diárias relacionadas a trabalho, causando perdas financeiras de R\$7 bilhões anuais (Vale, 2018). Dessa forma, é necessário fomentar a busca constante por alternativas sustentáveis de mobilidade, incluindo o transporte público e os modos ativos, criação de corredores de ônibus e BRTs, o investimento para a melhoria de calçadas e em infraestrutura cicloviária. O deslocamento por meios de transporte ativos traz diversos benefícios, como melhorias para a saúde física e mental dos cidadãos (Oja, 2011), para a qualidade do ar e redução da poluição sonora, assim como a redução de espaço necessário para estacionamento (Sælensminde, 2004).

Visando minimizar os crescentes problemas de congestionamento e a prejudicial emissão de gases poluentes, o Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo (Lei Municipal 16.050/2014), em conformidade com a Política Nacional de Mobilidade Urbana (Lei Federal 12.587/2012), define diretrizes que favorecem os modos de transporte não motorizados, incentivando o uso da bicicleta como meio de transporte sustentável. Se comparada aos modos de transporte motorizados, a bicicleta é uma alternativa de locomoção econômica e ambientalmente mais saudável, razão pela qual as gestões municipais vêm implantando várias medidas para adequar a cidade às novas demandas (CET, 2020a).

Atualmente, existem diversas fontes de dados sobre mobilidade urbana disponíveis, que podem ser usadas para melhorar a compreensão sobre padrões de deslocamento dos cidadãos e sobre o modo como estes fazem uso da infraestrutura de transportes. Devido à necessidade de manipulação de dados sobre a circulação de bicicletas para o planejamento de expansão e gestão do sistema cicloviário da cidade de São Paulo, a Companhia de Engenharia de Tráfego (CET-SP) e o Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo (IME-USP), por meio do projeto InterSCity, estão realizando um convênio para o uso de técnicas e ferramentas de pesquisa aplicada em Cidades Inteligentes para a solução de problemas reais relacionados à mobilidade em São Paulo. O InterSCity¹ (Batista, 2016) é um projeto INCT situado no IME-USP, que é financiado pela Capes, CNPq e Fapesp, envolvendo nove universidades e startups brasileiras para a realização de pesquisas na área de Cidades Inteligentes.

Como primeiro resultado desta parceria, a CET está utilizando a ferramenta de análise e planejamento de mobilidade ativa chamada BikeScience² (Kon et al., 2020) para a realização de estudos sobre as viagens de bicicletas realizadas na cidade e sobre quais são os locais em que essas viagens mais ocorrem.

Este artigo apresenta os resultados das análises realizadas dentro da parceria. Foram feitas análises comparando os volumes de bicicletas registrados pelas pesquisas de fluxo da CET com a quantidade de viagens da pesquisa Origem Destino 2017 (OD17). Os resultados indicam que existe uma correlação moderada entre os volumes registrados pelos contadores e pela OD17. Desta forma, os dados das contagens de fluxo de bicicletas podem ser usados para atualizar as viagens de bicicleta da pesquisa OD. Também foram geradas as rotas de bicicletas das viagens da OD17. A partir dessas rotas, foram identificadas as vias e os locais da cidade em que há uma maior concentração de viagens de bicicleta e um maior número de rotas.

¹ <https://interscity.org>

² <https://gitlab.com/interscity/bike-science>

Este artigo está organizado da seguinte forma. A Seção 2 apresenta as principais características da infraestrutura cicloviária de São Paulo, assim como as bases de dados e ferramentas computacionais utilizadas. A Seção 3 apresenta a metodologia adotada neste estudo e também mostra os resultados obtidos pela análise e a Seção 4 traz as conclusões e os trabalhos futuros.

Conceitos básicos

Esta seção apresenta as características da infraestrutura cicloviária de São Paulo e a ferramenta de análise de mobilidade BikeScience. Apresenta as bases de dados usadas nesta pesquisa e a ferramenta usada para traçar as rotas de bicicletas.

Infraestrutura cicloviária

As primeiras tentativas de criação de ciclovias na cidade de São Paulo foram feitas durante as décadas de 1980 e 1990. Em 1981, a CET desenvolveu o plano cicloviário chamado Sistemas Cicloviários Setoriais. Haveriam 14 setores, com ciclovias, ciclofaixas, vias cicláveis e tráfego compartilhado na calçada, totalizando 174 km de extensão (Malatesta, 2014). No entanto, o plano não se concretizou.

Durante a década de 1990, foram criadas as primeiras ciclovias em parques municipais, tais como Parque do Ibirapuera e Parque do Carmo. Um segundo plano cicloviário foi proposto em 1994, mas este também não foi implementado. O objetivo era criar ciclovias em avenidas e ruas próximas a parques e área de lazer.

Foi a partir da vigência do Código Brasileiro de Trânsito (CTB, Lei Federal 9.503/97) que a bicicleta passou a ser considerada como veículo, e portanto, sujeita a direitos e deveres tais como os veículos motorizados. O CTB foi um marco importante na definição da política cicloviária na cidade de São Paulo (Malatesta, 2014). Neste mesmo ano de 1997, a pesquisa Origem Destino do Metrô passou a registrar as viagens de bicicletas de forma mais detalhada. A partir dos dados da pesquisa, que indicavam um crescimento no número de viagens feitas por bicicleta e os locais em que estas ocorriam, foram retomados estudos para a implantação de ciclovias na cidade.

Em 2005, um novo plano cicloviário começou a ser elaborado, propondo a implantação de 105 km de ciclovias pela cidade (CET, 2019). Este plano foi posteriormente atualizado após o lançamento da pesquisa OD 2007 (OD07). Entre 2008 e 2012 foram implantados 82,2 km de ciclovias em São Paulo. Já entre 2013 e 2016, a expansão das ciclovias passou para um total de 499 km (CET, 2019). Atualmente, a cidade conta com 535,9 km de ciclovias, dos quais 505,6 são de ciclovias ou ciclofaixas, e 30,3 são ciclorrotas (CET, 2020b). A infraestrutura cicloviária conta ainda com 75 bicicletários e 29 paraciclos próximos a terminais de ônibus e estações de trem e metrô. A Figura 1 mostra a infraestrutura cicloviária atual de São Paulo separada por tipo de via.

Pesquisa Origem Destino 2017

A pesquisa Origem Destino 2017 (OD17) (Metro, 2017) é uma pesquisa sobre a mobilidade urbana na região metropolitana de São Paulo. A OD é realizada a cada 10 anos pela Companhia do Metropolitano de São Paulo (Metrô) com o objetivo de traçar um perfil dos deslocamentos feitos na cidade durante um dia útil regular. Para isso, a equipe de pesquisa faz entrevistas com cidadãos para entender de onde eles vêm, para onde vão, quais os motivos das viagens, em que horário ocorrem, e as razões de escolha do modo de transporte utilizado. As entrevistas são feitas tanto em residências quanto em pontos de alta concentração de transportes, tais como estações de trem, terminais de ônibus e aeroportos.

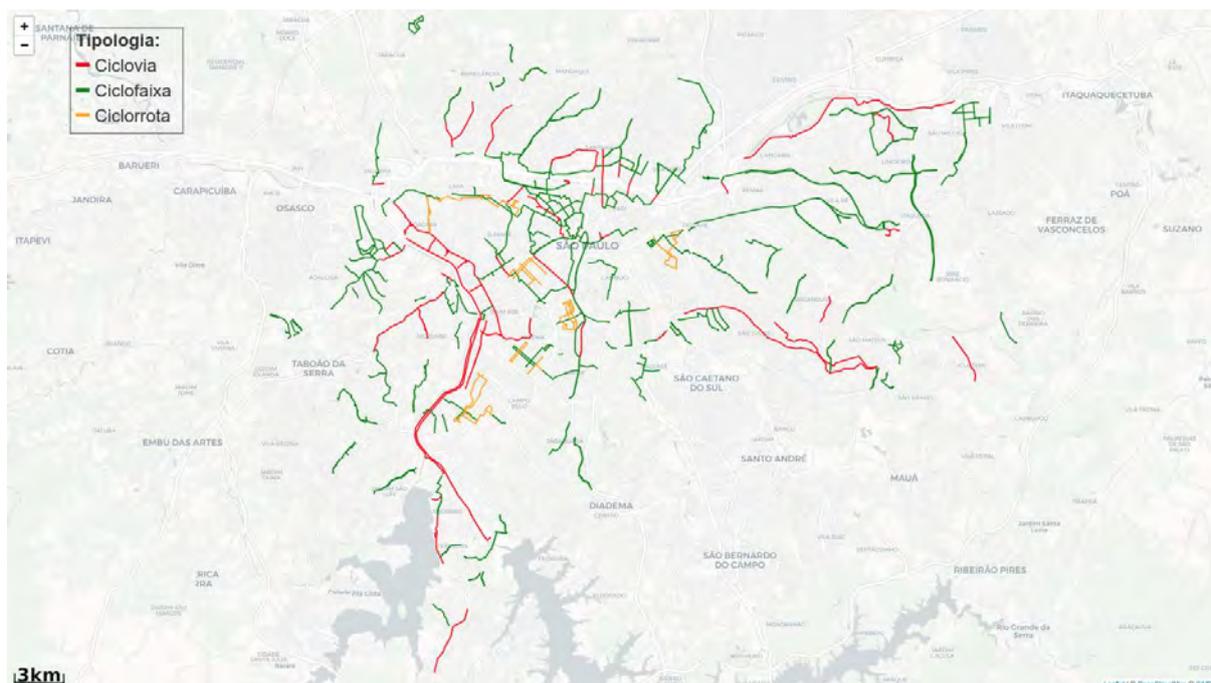


Fig. 1 - Infraestrutura cicloviária de São Paulo

A partir da amostra representativa da população coletada pelas entrevistas, a OD17 apresenta as características da mobilidade urbana das 39 cidades que compõem a Grande São Paulo. Os dados disponibilizados pela OD17 incluem desde as características das viagens, como locais de origem e destino, horário, duração, e meios de transporte utilizados até o perfil educacional e socioeconômico dos entrevistados. Segundo a pesquisa, há mais de 42 milhões de viagens diárias na RMSP, das quais 25 milhões ocorrem no município de São Paulo.

De acordo com a OD17, as viagens de bicicleta no município representam 0,8% do total de viagens diárias. Na OD07, a participação era de 0,6%, o que indica um crescimento de 35% no período. Com o surgimento de sistemas de bicicletas compartilhadas na cidade a partir de 2018, supõe-se que houve um crescimento ainda maior no número de viagens até 2020.

Embora a pesquisa OD seja uma ferramenta importante para a gestão e o planejamento da mobilidade urbana, ela é realizada somente a cada dez anos, devido ao custo e as dificuldades de realização de entrevistas em toda a região metropolitana. Desta forma, o tempo entre a realização das pesquisas somado às mudanças constantes no modo como as pessoas se movimentam nos centros urbanos pode fazer com que as informações da pesquisa fiquem desatualizadas muito rapidamente. Alguns exemplos são o surgimento dos sistemas de compartilhamento de bicicletas e patinetes e o crescimento do uso de aplicativos de transporte. A OD17 não reflete essas alternativas recentes de transporte, o que indica a necessidade do uso de outras fontes de dados para possibilitar uma análise mais atualizada.

Os gráficos 1, 2 e 3 mostram algumas características para análise e compreensão do tráfego de bicicletas na RMSP com base nos dados da OD17. O Gráfico 1 apresenta a distribuição das distâncias percorridas nas viagens, cuja mediana está em 3 km. Isto indica que 50% dos ciclistas percorrem distâncias por volta de 3 km. O Gráfico 2 mostra a duração das viagens, com mediana de 20 minutos, o que nos permite inferir uma velocidade média de cerca de 10 km/h. A distribuição diária das partidas dos ciclistas segundo a OD17 está no Gráfico 3. Pode-se constatar a presença bem definida de picos às 7h e às 17h, e um vale bem profundo neste intervalo, ou seja, pode-se supor que os deslocamentos tem um perfil de viagens por motivo trabalho e escola.

Contagens de fluxos de bicicleta

Desde o ano de 2014, a CET/DPT (Departamento de Pesquisas de Tráfego) realiza contagens de bicicletas em diversos corredores da cidade e publica os resultados nos Relatórios Anuais de Desempenho de Mobilidade no Sistema Viário Municipal (MSVP) (CET, 2020c), sendo que apenas uma parte das vias pesquisadas possui infraestrutura cicloviária. As contagens são realizadas em um dia típico por ano, nos períodos da manhã (das 7:00 às 10:00h) e da tarde (das 17:00 às 20:00h).

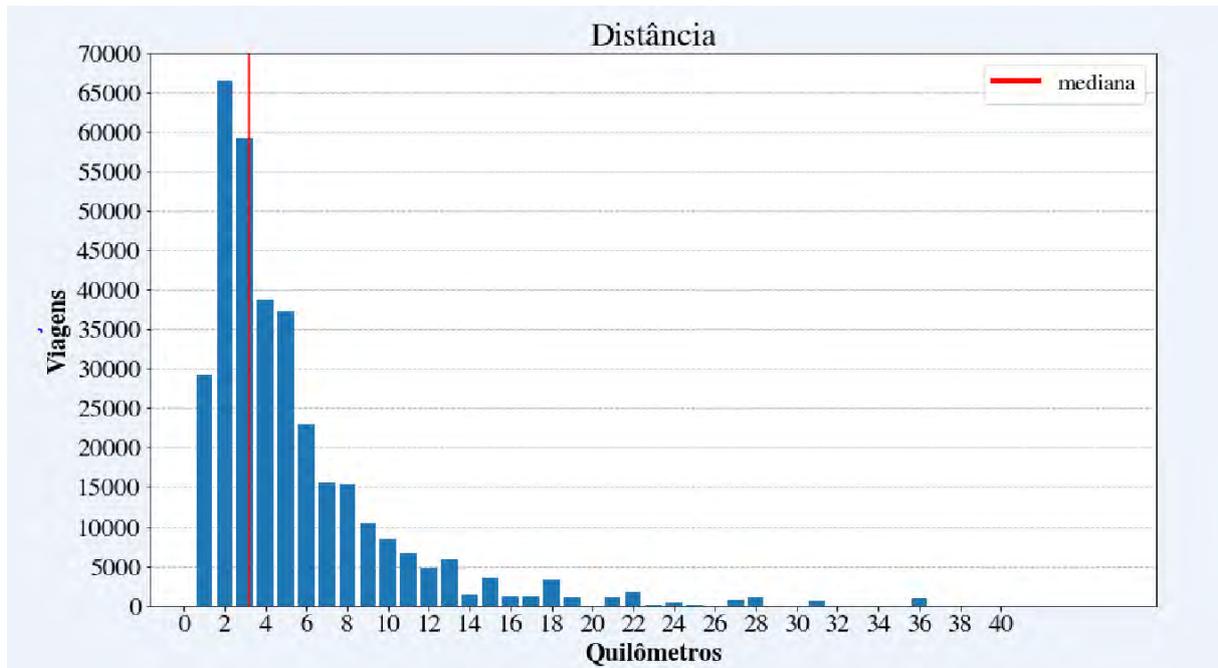


Gráfico 1 - Distância percorrida pelas viagens de bicicleta da OD17.

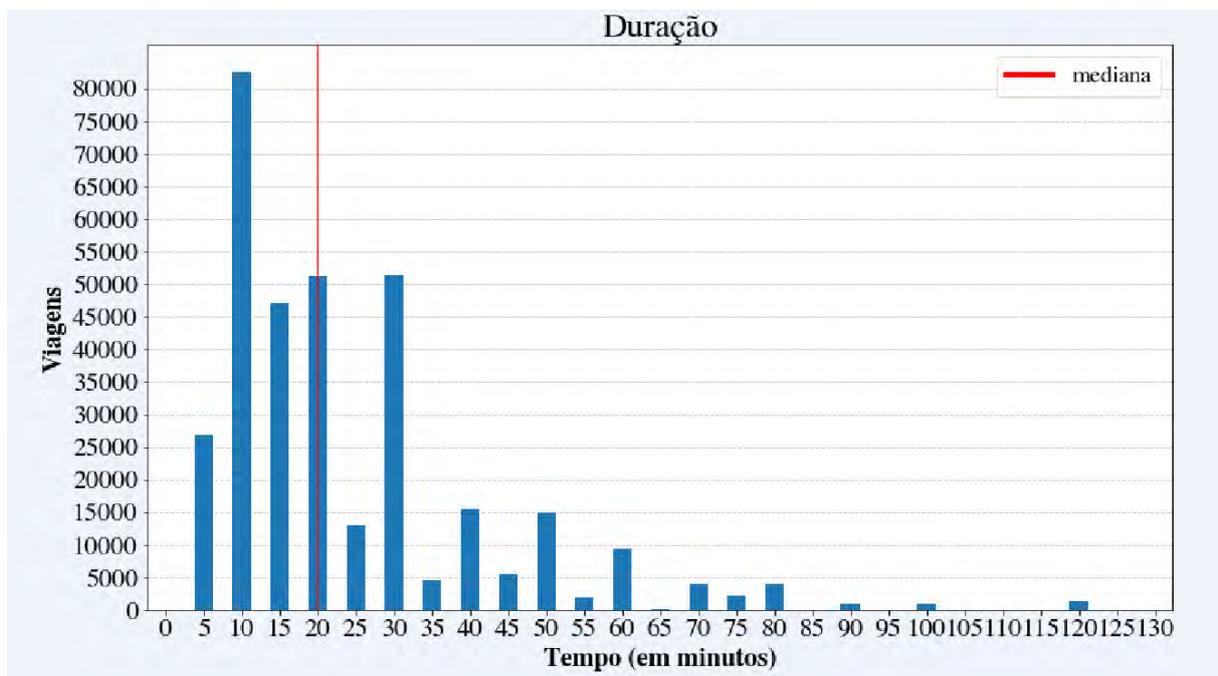


Gráfico 2 - Duração das viagens da OD17

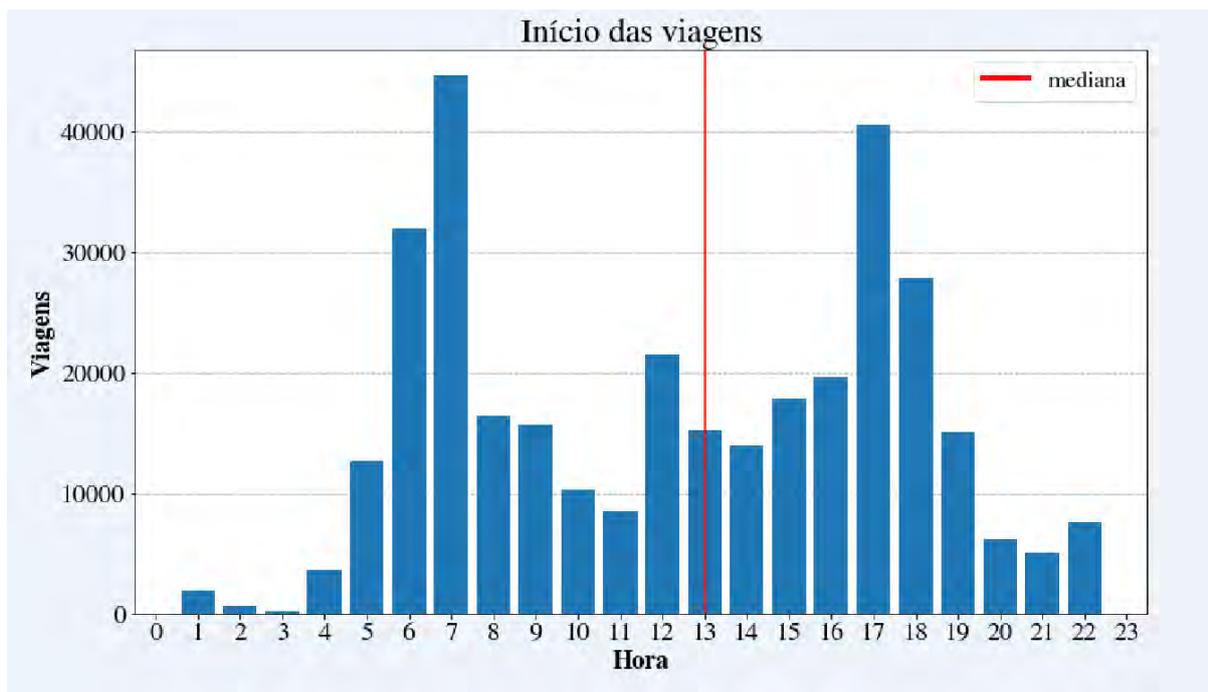


Gráfico 3 - Hora de início das viagens da OD17.

De acordo com os relatórios MSVP, os fluxos de bicicleta tiveram um aumento na participação nos períodos da manhã e da tarde entre 2014 e 2017 saindo de 0,3% em 2014 para 0,9% em 2017. Em 2018, o volume foi de 0,74%. Esta queda entre 2017 e 2018 é explicada pela ausência de contagem em 2018 na Av. Brigadeiro Faria Lima, local que concentra uma grande quantidade de fluxos de ciclistas. Já em 2019, a participação das bicicletas aumentou para 0,81% mesmo com a ausência da Av. Faria Lima na contagem. A bicicleta foi o modal com maior crescimento na participação entre os anos de 2014 a 2019, um aumento de 41%.

A contagem apresentada nos relatórios MVSP é feita com o uso de contadores manuais. Esses contadores são utilizados por pesquisadores, que ficam posicionados em pontos previamente selecionados, registrando os fluxos dos veículos.

A partir de 2016, em parceria com empresas e organizações, novas tecnologias foram empregadas nas contagens de bicicletas devido ao crescimento desse modal na cidade. Desde então, a CET passou a utilizar também contadores automáticos. Existem dois tipos de contadores automáticos: móveis e fixos. Os contadores móveis registram volumes de 24 horas e são instalados em períodos de até 10 dias por ano. Os contadores fixos monitoram diariamente as ciclovias da Av. Brig. Faria Lima e R. Vergueiro, desde janeiro de 2016. Em agosto de 2019, foi iniciado o monitoramento da ciclovia da Av. Dr. Gastão Vidigal. A Figura 2 mostra a localização das contagens realizadas pela CET desde o ano de 2014, com representação das contagens manuais (em vermelho) e automáticas (em azul).

BikeScience

A BikeScience (Kon et al., 2020) é uma ferramenta de código aberto que usa técnicas de ciência de dados para a análise de mobilidade ativa (Bongiorno et al., 2019) em ambientes urbanos. A ferramenta surgiu a partir de um projeto de pesquisa colaborativa entre o INCT InterSCity³ e o MIT Senseable City Lab⁴. Desenvolvida na linguagem

³ <https://interscity.org>

⁴ <http://senseable.mit.edu/>

Python, a BikeScience usa bibliotecas avançadas de análise de dados, visualização e geolocalização, como Pandas e Geopandas, para implementar as análises.

A BikeScience possibilita que gestores públicos, empresas envolvidas, pesquisadores e entusiastas em mobilidade urbana analisem e entendam o impacto do ciclismo urbano nas cidades. Para isso, a ferramenta usa dados sobre pesquisas de viagens, como a Pesquisa Origem Destino 2017 (OD17), e também dados de sistemas de compartilhamento de bicicletas, como o BikeSampa e a Yellow, para gerar informação sobre os padrões de uso das bicicletas através de mapas e gráficos. Diversas outras fontes de dados podem ser usadas para novas análises, tais como dados sobre a infraestrutura cicloviária, contagens de ciclistas, dados sobre acidentes, entre outros.

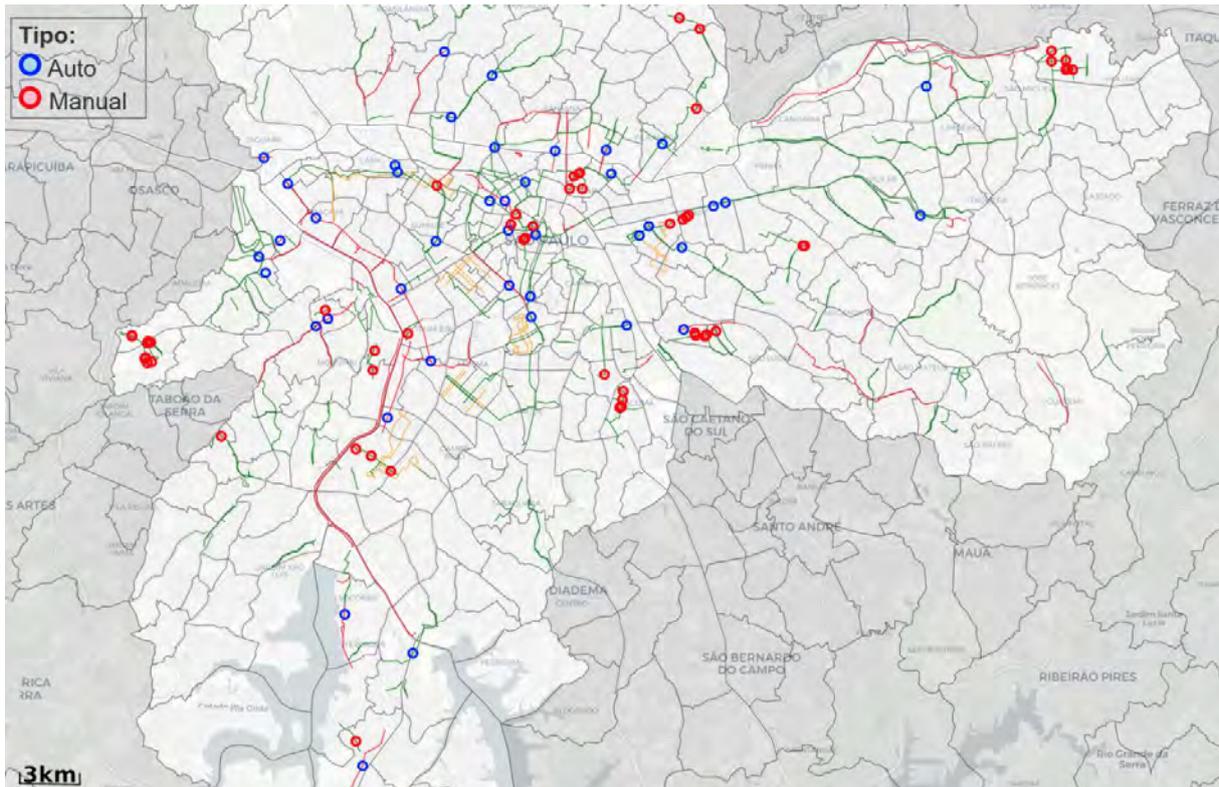


Fig. 2 - Locais das contagens de bicicletas.

Entre as principais funcionalidades da BikeScience está a capacidade de identificar e traçar os fluxos de viagens mais significativos entre áreas de uma cidade. A ferramenta possibilita dividir uma região de interesse em uma grade composta por $n \times n$ células, onde n pode variar de 10 a 100 células. Os fluxos são representados por setas que saem das células de origem das viagens e vão até as células de destino. A espessura das setas representa o carregamento de viagens referente àquele par de células. Outra forma de agregação dos fluxos de viagem são as zonas OD, que são as subdivisões da RMSP utilizadas originalmente na pesquisa OD17.

Os fluxos podem ser divididos por quartis, cada um representando 25% do total das viagens. A BikeScience ordena os fluxos de acordo com a quantidade de viagens e então divide esses fluxos em quartis. No primeiro quartil, temos os fluxos com maior número de viagens. Em geral, um pequeno número de fluxos é responsável por um grande número de viagens (Kon et al., 2020). A Figura 3 mostra os fluxos do primeiro quartil das viagens iniciadas no período entre as 6hs e as 9hs da manhã. A área está dividida numa grade de 40x40 células. Pode-se ver que um pequeno número de fluxos possuem maior carregamento, o que pode ser útil, por exemplo, para analisar se os locais em que esses fluxos ocorrem já possuem infraestrutura cicloviária (em vermelho). Da mesma

forma, é possível avaliar os outros quartis para tomar as devidas medidas necessárias. Os gráficos 1, 2 e 3, assim como todas as figuras deste artigo também foram feitos utilizando a BikeScience.

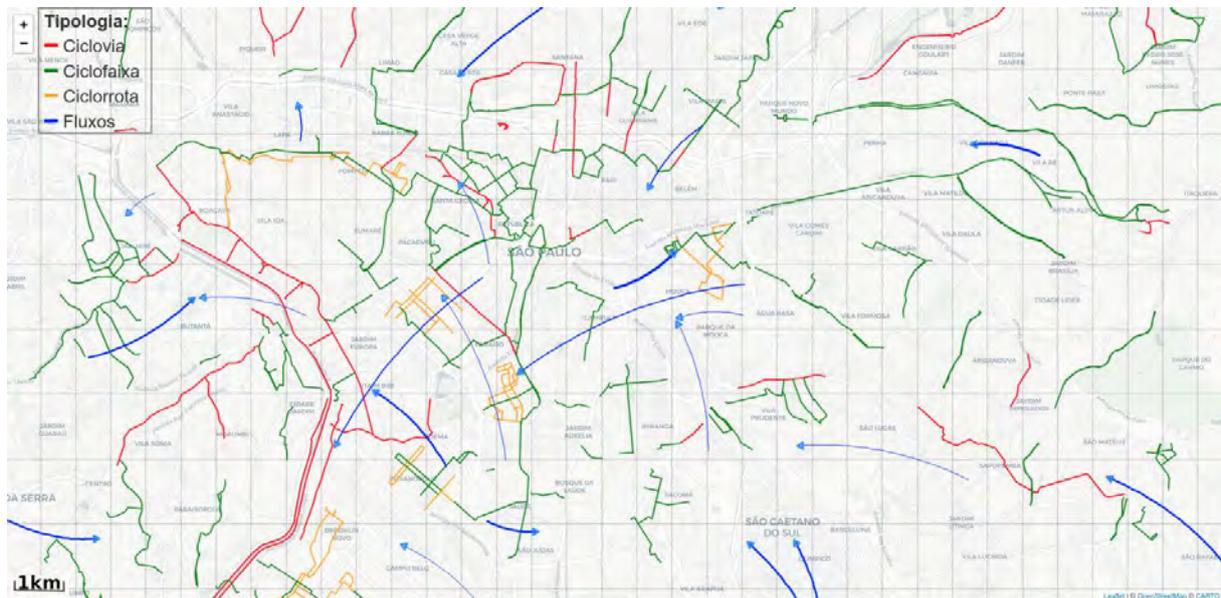


Fig. 3 - Fluxos de bicicletas mais significativos da OD entre 6hs e 9hs.

Cálculo de rotas de bicicletas com a API GraphHopper

Os dados da pesquisa OD fornecem somente as coordenadas de origem e destino das viagens. Existem aplicações que fazem o cálculo de rotas entre pontos de origem e destino de acordo com o modal escolhido. A GraphHopper Directions⁵ é uma biblioteca de código aberto para planejamento de rotas urbanas. A GraphHopper recebe como entrada as coordenadas de origem e destino, devolvendo uma lista de coordenadas que representa a rota sugerida pelo sistema. Para determinar as rotas, ela utiliza como base as informações geográficas do OpenStreetMap⁶.

As rotas são calculadas de acordo com o modo de transporte escolhido, entre os quais podem estar deslocamento a pé, bicicleta, carro ou caminhão. A GraphHopper sugere a melhor rota para o modo de transporte escolhido. Por padrão, a melhor rota significa o caminho mais rápido entre a origem e o destino. É possível também escolher o caminho mais curto como critério para melhor rota. Outros fatores levados em consideração para determinar as rotas são o tipo de via, sentido de direção, declividade, velocidade da via ou tipo de superfície. Cada uma dessas variáveis recebe um peso dependendo do modo de transporte escolhido (Krismer, 2016).

Para determinar uma rota para bicicletas, a GraphHopper dá preferência a vias que possuem infraestrutura cicloviária, assim como vias com velocidade inferior a 50km/h. A elevação também é um critério considerado.

⁵ <https://www.graphhopper.com>

⁶ <https://www.openstreetmap.org>

Alguns tipos de vias são evitados, como vias expressas. Mais detalhes podem ser vistos nas listas de discussão⁷ e no código⁸ de seleção de rotas de bicicletas.

Caminhos cicláveis da cidade

Apresentamos, nesta seção, a metodologia adotada para as análises que fizemos para comparar as contagens de fluxo de bicicletas e para analisar os locais da cidade com maior concentração de viagens e rotas de bicicletas. Apresentamos também os resultados obtidos da análise.

Cruzamentos das rotas OD com dados das contagens de fluxos

Um dos trabalhos realizados pelo grupo de trabalho foi o cruzamento de informações entre os dados das pesquisas de fluxos de bicicletas realizadas pela CET/DPT e rotas de viagens de bicicletas da pesquisa OD17. Com essas informações, é possível avaliar se há convergência nas viagens entre as pesquisas, o que possibilita o uso das informações de contagens para atualizar o número de viagens da OD17. Além disso, é possível comparar se as contagens estão sendo realizadas em locais em que há um maior número de rotas de bicicletas segundo a OD17.

A partir das coordenadas de origens e destinos das viagens de bicicleta da pesquisa OD17, implementamos na BikeScience um algoritmo para gerar as rotas de bicicleta com a GraphHopper, usando o critério padrão de caminho mais rápido para traçar as rotas de bicicletas. No total foram geradas cerca de 1200 rotas que representam todas as combinações entre coordenadas de origem e destino das viagens de bicicleta na OD17. Na BikeScience, plotamos as rotas geradas em mapas juntamente com os pontos de contagem de fluxos para comparar se há intersecção entre as rotas OD e os locais dos contadores. A Figura 4 mostra em verde as rotas das viagens OD de bicicletas na região metropolitana de São Paulo geradas pelo GraphHopper. Em azul estão os contadores automáticos (círculos) e em vermelho os manuais (quadrados). Nestas figuras, o tamanho do contador é proporcional ao fluxo de ciclistas, ou seja, quanto maior o número de viagens que intersectam um contador, maior é o seu tamanho. A Figura 5 mostra uma escala aumentada da Figura 4.

⁷ <https://discuss.graphhopper.com/t/which-properties-are-taken-into-account-for-bike-routing/2924>

⁸

<https://github.com/graphhopper/graphhopper/blob/master/core/src/main/java/com/graphhopper/routing/util/BikeCommonFlagEncoder.java>

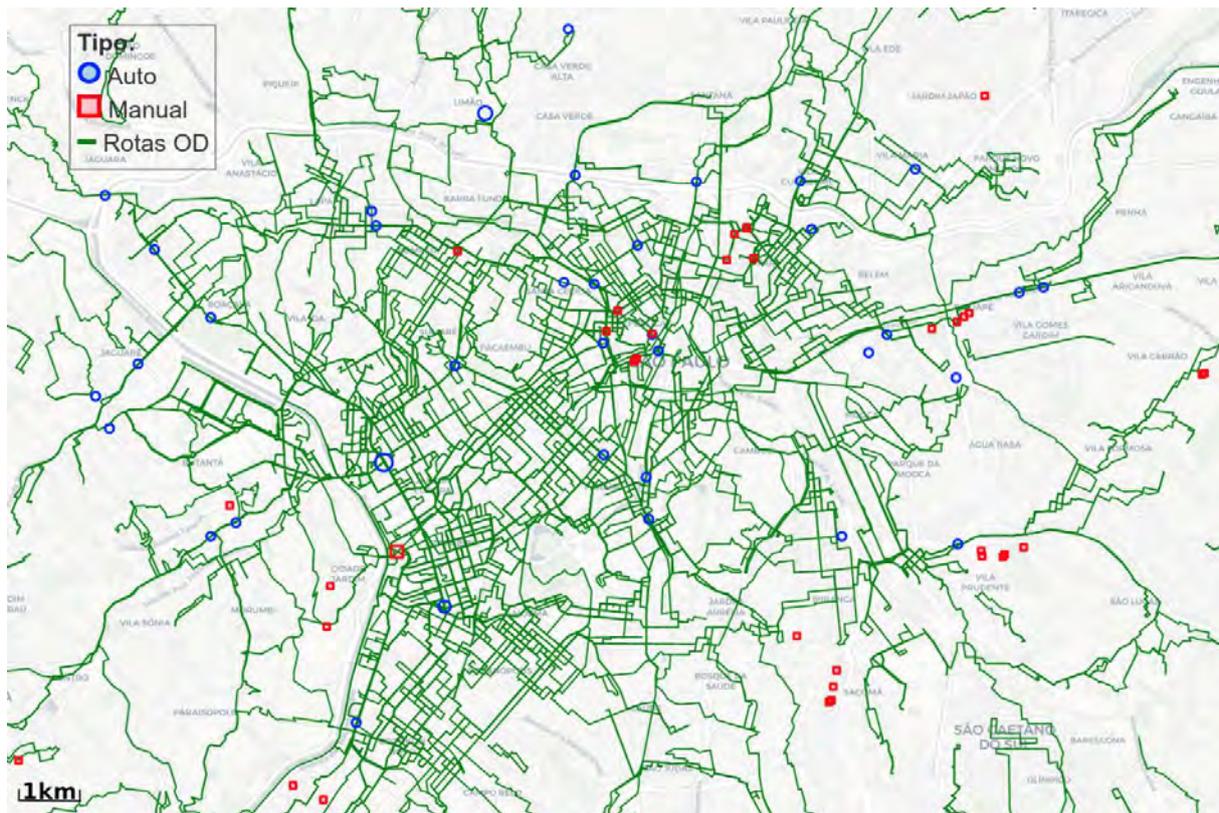


Fig. 4 - Visão geral das rotas geradas e os contadores de fluxo.

Para comparação da quantidade de viagens registradas nas contagens com as viagens da OD17, consideramos a soma das viagens das rotas que intersectam um contador. Para determinar a intersecção consideramos um raio de 50 metros em volta do contador. Cada viagem na pesquisa OD17 representa um percentual da população que apresenta o mesmo perfil de locomoção; esse valor é usado para definir um *fator de expansão* para cada viagem na OD. Assim, para obter a quantidade de viagens realizadas em cada rota, utilizamos o valor do fator de expansão indicado pela OD17.

Os dados dos contadores incluem contagens realizadas entre 2016 e 2019 em vários locais da cidade. Nos locais em que houve mais de uma contagem, calculamos a média dessas contagens no local para fazer a comparação com as viagens das rotas OD. Nos locais em que houve apenas uma contagem, utilizamos esse valor diretamente. O mapa da Figura 6 mostra a comparação entre as contagens de fluxos de bicicletas e a quantidade de viagens das rotas OD17. As cores representam a diferença entre contadores e viagens da OD17. Os contadores em azul possuem uma quantidade de registros similar aos indicados pelas rotas OD que os intersectam. Consideramos como quantidade similar uma diferença de no máximo 20% entre as duas fontes de contagens. Em verde estão os contadores cuja contagem registrou uma diferença de 20% ou mais no número de viagens em comparação à quantidade indicada na OD17. Em vermelho estão os casos em que o número de viagens da OD17 é maior do que 20% em comparação às contagens registradas pelos contadores. Pode-se ver que há mais similaridade nas áreas próximas ao centro e centro-sul da cidade. Por sua vez, as regiões mais periféricas da cidade apresentam maior diferença na comparação entre contagens e rotas.

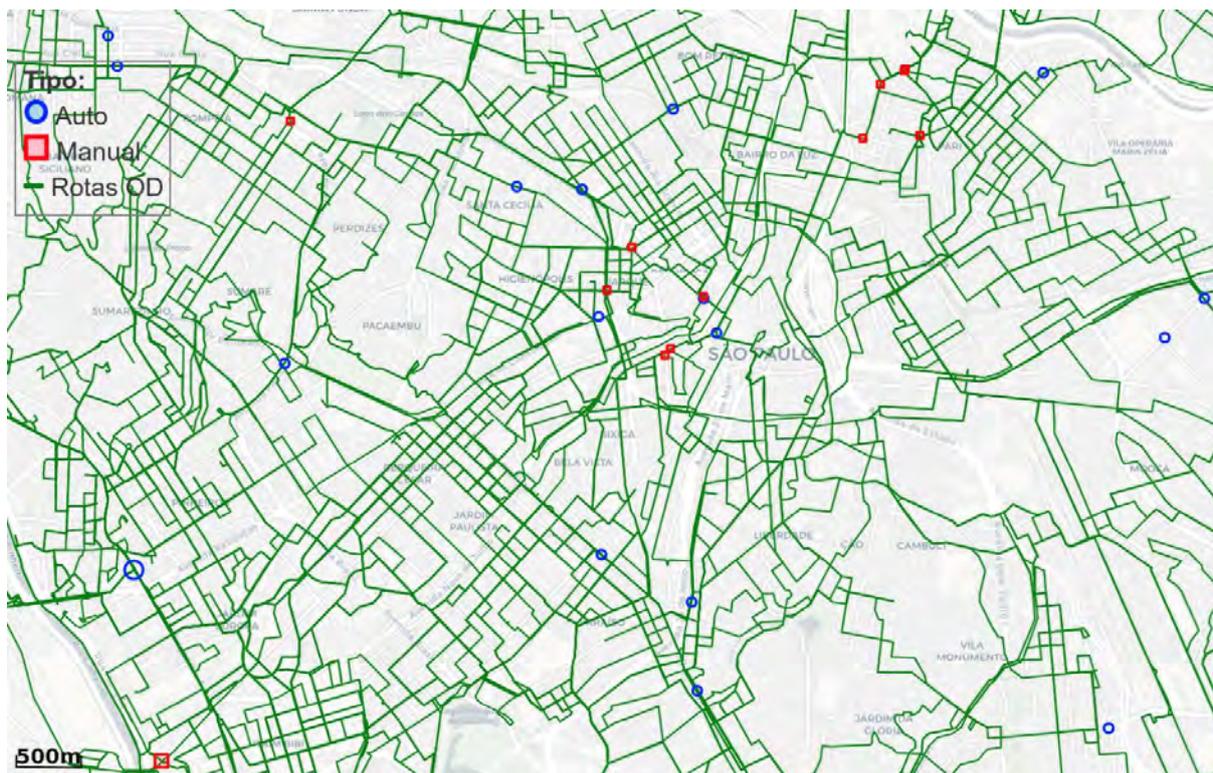


Fig. 5 - Rotas geradas e os contadores de fluxo na região central

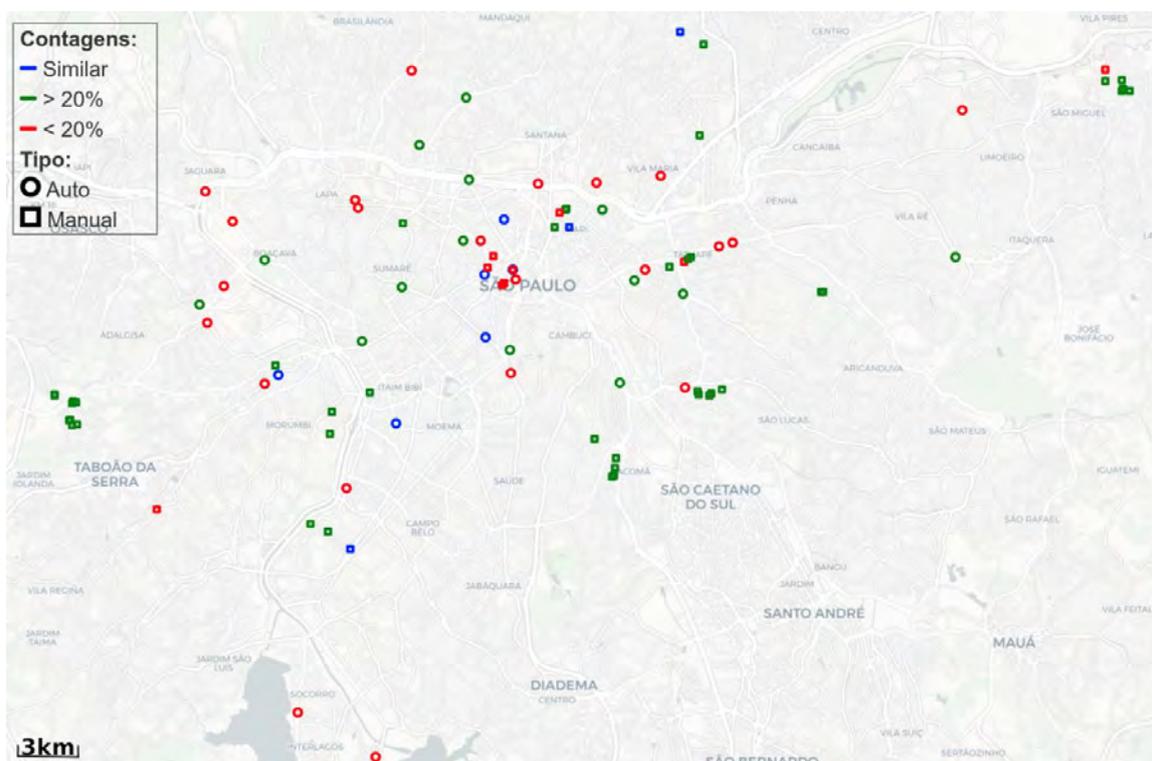


Fig. 6 - Comparação entre a quantidade de viagens de contadores e rotas OD17.

A Figura 7 mostra a quantidade de rotas que intersectam os contadores. Em rosa estão os contadores que são intersectados por até 4 rotas. Os contadores em cor vinho possuem de 5 a 9 rotas, e os em vermelho intersectam 10 rotas ou mais. Os contadores em preto não estão no caminho de nenhuma rota. Portanto, os contadores em preto não podem ser comparados com as rotas segundo os critérios adotados. Por esse motivo, na Figura 6 eles

são mostrados em verde, pois sempre possuem um número de viagens maior que 20% quando comparado às rotas. A maioria dos contadores em preto são do tipo manual. Além disso, a informação sobre os contadores que não intersectam nenhuma rota pode servir como referência para reposicionar tais contadores em contagens futuras.

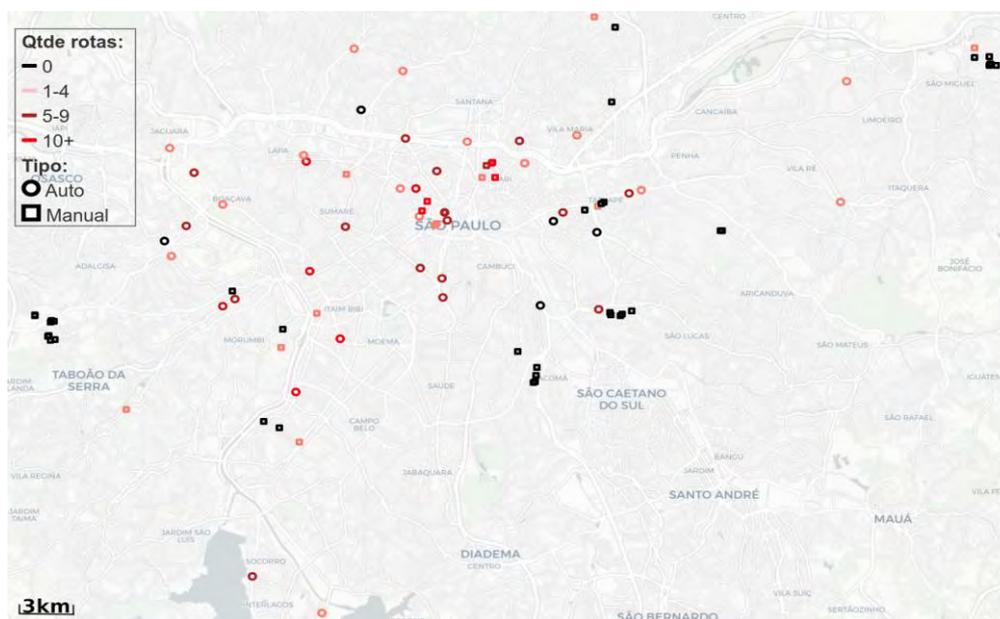


Fig. 7 - Quantidade de rotas que os contadores intersectam.

A Tabela 1 indica os cinco locais em que o volume de bicicletas medido nos contadores é mais parecida com a quantidade de viagens nas rotas OD. A Tabela 2 mostra os cinco locais em que o volume de bicicletas dos contadores é maior que das rotas OD, com a maior diferença percentual. Já a Tabela 3 traz os cinco locais em que o volume de bicicletas registrado nos contadores é menor que das rotas OD, a maior diferença percentual em favor das rotas OD.

Tab. 1 - Locais em que o volume de bicicletas nos contadores e o número de viagens nas rotas OD é parecido (percentuais negativos indicam que o número de viagens das rotas é maior).

#	Endereço	Tipo	%
1	R. Irape entre R. Monte Santiago e R. Pe. Adelinó	Manual	-6,55
2	R. Coriolano	Auto	-8,03
3	Av. Sen. Teotônio Vilela	Auto	-8,06
4	Pte. das Bandeiras	Auto	-11,10
5	Lgo. do Arouche	Manual	-12,34

Tab. 2 - Locais em que o volume de bicicletas nos contadores é muito maior que o número de viagens nas rotas OD.

#	Endereço	Tipo	%
1	Av. Sumaré prox R. Dr. Homem de Melo	Manual	1122,23
2	Av. Cidade Jardim sob x Pa Prof Miguel Reale	Manual	724,51
3	R. Silva Teles	Auto	543,49
4	Av. Paulo VI	Auto	435,21
5	Av. Eng. Caetano Álvares	Auto	284,39

Tab. 3 - Locais em que o volume de bicicletas nos contadores é muito menor que o número de viagens nas rotas OD.

#	Endereço	Tipo	%
1	Vd. do Chá	Auto	96,49
2	Rua da Consolação	Auto	93,59
3	Av. Eliseu de Almeida	Auto	89,83
4	Av. Luis Stamatis	Manual	87,48
5	Av. Dr. Chucri Zaidan	Auto	79,95

Para avaliar a correspondência entre as bases de dados utilizadas neste estudo, comparamos se há correlação entre o volume de bicicletas registrado pelos contadores e as quantidades das viagens nas rotas OD em que há intersecção entre rotas e contadores. Portanto, foram retirados da comparação os registros de contadores em que a quantidade das viagens nas rotas OD é igual a zero. Usamos o teste de correlação de Pearson (r) (Cohen, 2013) para essa avaliação. Os valores de r variam entre -1 e 1, em que -1 significa uma correlação total negativa, 0 significa que não há correlação e 1 significa correlação total positiva. A correlação obtida entre os volumes registrados pelos contadores e nas rotas OD é $r = 0.62$. Esse valor mostra que há uma correlação positiva moderada entre as duas contagens. Portanto, os dois modos de contagem tendem a registrar uma quantidade proporcionalmente semelhante no volume de bicicletas, indicando que os dados das contagens de fluxo de bicicletas podem ser usados para atualizar as viagens de bicicleta da pesquisa OD.

Vias com mais viagens de bicicleta

Existem vias da cidade em que as rotas sugeridas pela biblioteca GraphHopper se sobrepõem, o que pode indicar um alto carregamento de viagens em alguns desses pontos. Usamos as informações do fator de expansão das viagens OD e as rotas para verificar quais são os pontos da cidade que possuem um maior número de viagens de bicicletas. Para isso, geramos uma lista das coordenadas de todas as rotas sugeridas. Em seguida, para cada coordenada, somamos a quantidade de viagens de todas as rotas às quais aquela coordenada pertence. Verificamos também quais são os locais em que há o maior número de rotas que se intersectam.

As Figuras 8 a 11 mostram quais são as vias por onde passam as viagens da OD17 de acordo com as rotas geradas pela GraphHopper divididos por faixa de valores representados por diferentes cores. A Figura 8 mostra os locais com mais de 2000 viagens na região metropolitana de São Paulo (RMSP). Nesta figura destacamos algumas partes da cidade de São Paulo que possuem maior concentração de viagens, incluindo a Av. Brig. Faria Lima, a Vila Prudente e Bom Retiro, nos quais há pontos com mais de 4 mil viagens diárias. A Figura 9 mostra a região central da cidade de São Paulo incluindo também os pontos com menos de 2000 viagens em azul. A Figura 10 mostra a mesma região da Figura 9, mas somente com os locais com mais de 2000 viagens e com a infraestrutura cicloviária (em cinza). É possível ver que grande parte dos pontos de maior concentração nesta imagem estão localizados em ciclovias ou ciclofaixas. A exceção é a região mais ao leste do mapa.

A Figura 11 mostra as regiões do Grajaú (esquerda) e Vila Prudente (direita), com a infraestrutura cicloviária em cinza. Podemos ver que a maioria dos trechos de fluxo mais intenso no Grajaú não possuem infraestrutura

ciclovíaria. O mesmo acontece na Vila Prudente, em que a infraestrutura ciclovíaria existe, mas não exatamente nos locais indicados pelas rotas OD, o que pode indicar a necessidade de expandir a atual infraestrutura. A Figura 12 mostra as regiões de São Miguel (esquerda) e Tremembé (direita). No caso de São Miguel, a infraestrutura parece próxima dos locais de maior concentração indicados pelas rotas OD. Já no caso do Tremembé, a infraestrutura ciclovíaria é totalmente ausente, o que pode indicar a necessidade de implantação dessa estrutura na região.

A Figura 13 mostra quais são os locais em que há um maior número de intersecção entre rotas. As cores também representam faixas de valores da quantidade de rotas que cada local intersecta. Pode-se observar que os locais com muitas rotas estão concentrados principalmente nas regiões oeste, sudoeste e noroeste da cidade. Locais em que há grande concentração de rotas podem indicar a necessidade de maiores cuidados em relação à segurança dos ciclistas.

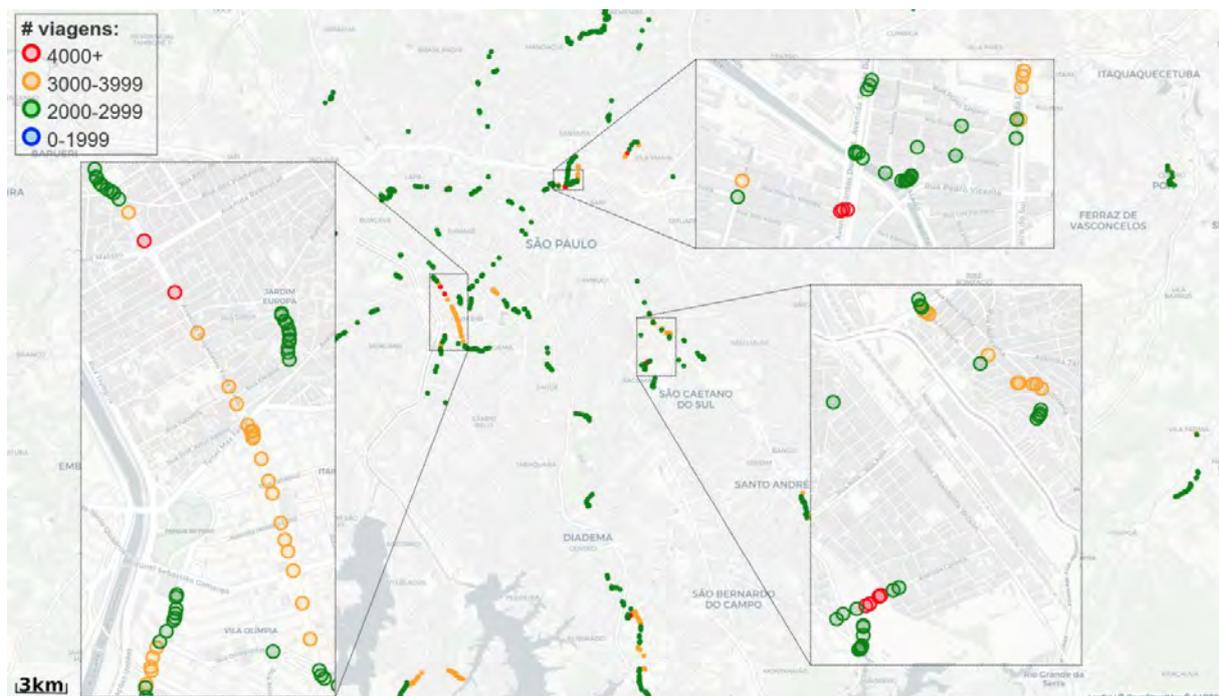


Fig. 8 - Locais contendo mais de 2000 viagens na RMSP de acordo com as rotas OD17.



Fig. 9 - Todos os locais com ocorrência de viagens de acordo com as rotas OD17

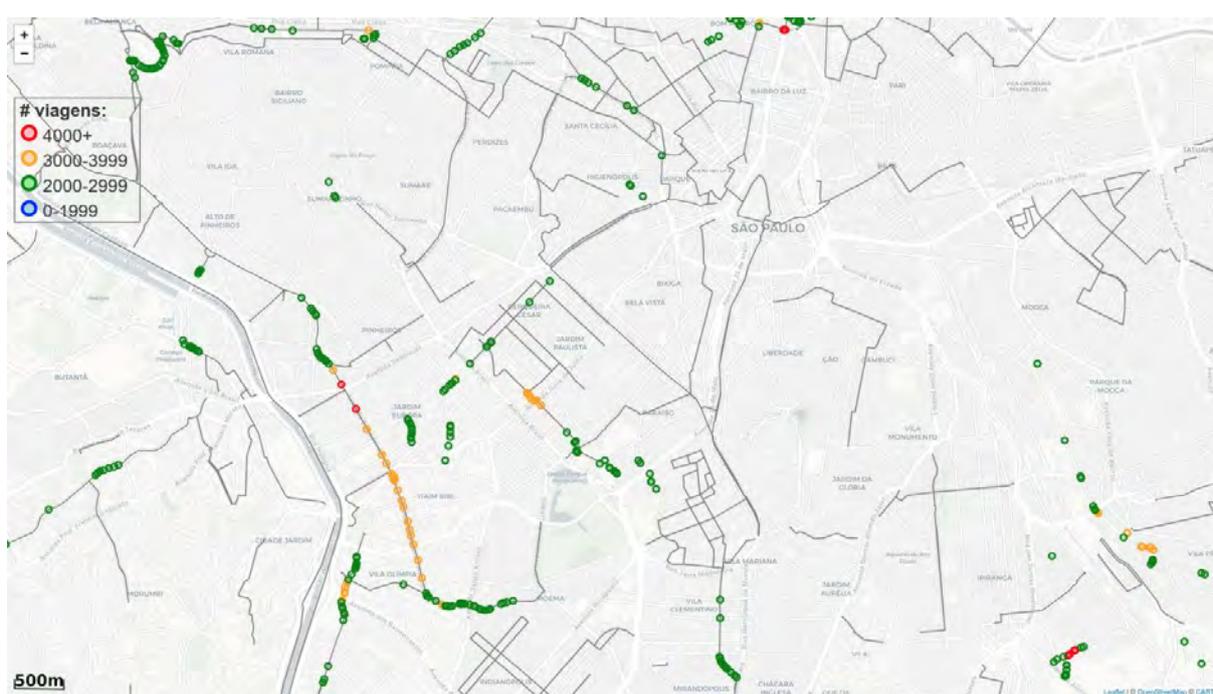


Fig. 10 - Locais com mais de 2000 viagens de acordo com as rotas OD17, incluindo a infraestrutura ciclovária.

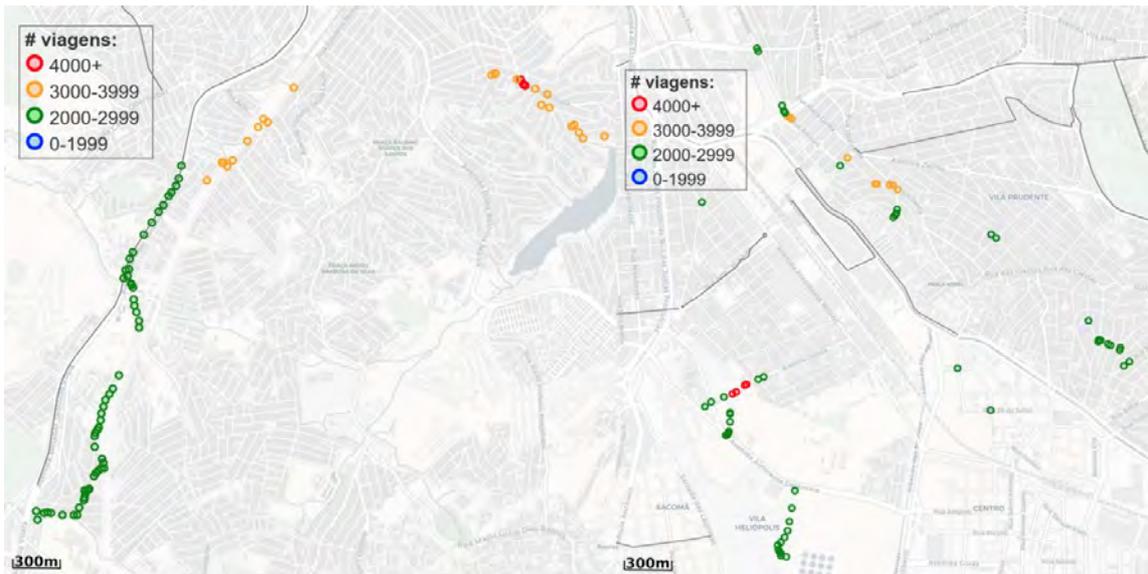


Fig. 11 - Locais com mais viagens comparados com a infraestrutura cicloviária nas regiões do Grajaú (esquerda) e Vila Prudente (direita).

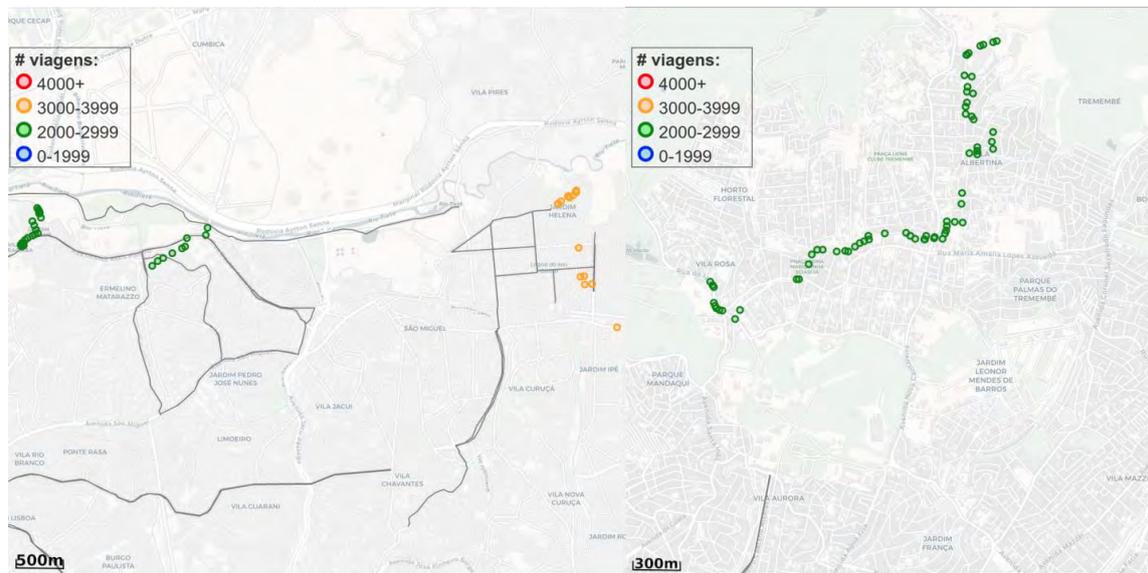


Fig. 12 - Locais com mais viagens comparados com a infraestrutura cicloviária nas regiões de São Miguel (esquerda) e Tremembé (direita).

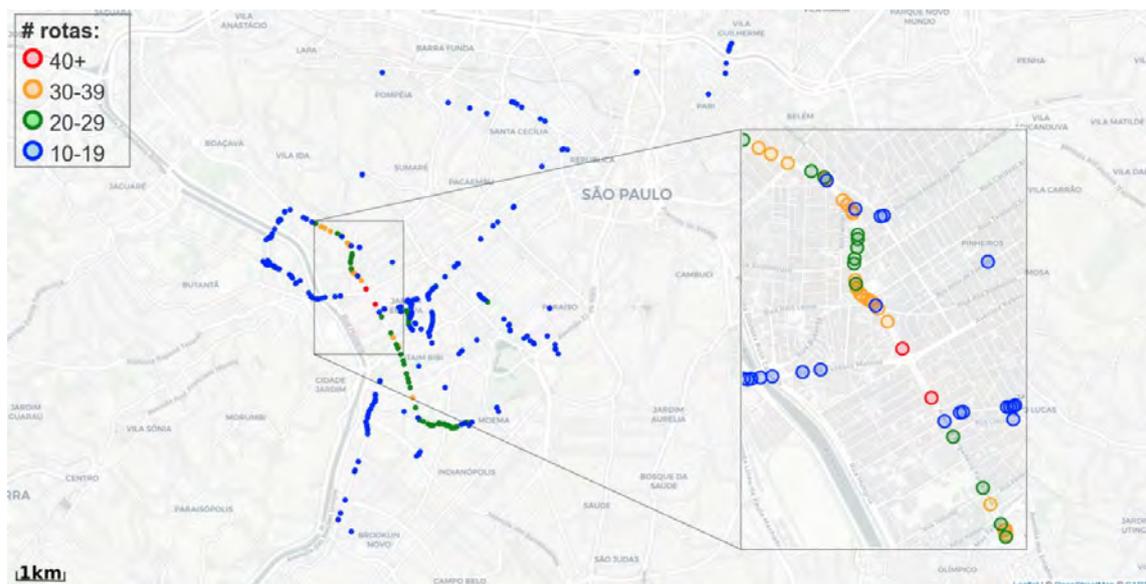


Fig. 13 - Locais com maior número de intersecções de rotas OD17.

Com base na metodologia usada para gerar os mapas das Figuras 8 a 13, listamos, na Tabela 4, as 20 vias com maior número de viagens na cidade de São Paulo e, na Tabela 5, os 20 locais que intersectam mais rotas, respectivamente. Esses são locais da cidade de São Paulo onde há atualmente as maiores concentrações de ciclistas.

Tab. 4 - Vias com mais viagens de bicicleta.

#	Via	Distrito	# Viagens
1	Av. Brig. Faria Lima	Pinheiros	4651
2	Av. Santos Dumont x R. Rodolfo Miranda	Bom Retiro	4550
3	Av. Guilherme	Vl. Guilherme	4497
4	Av. Carioca	Vl. Prudente	4030
5	R. Honduras	Jd. Paulista	3584
6	R. Venezuela	Jd. Paulista	3540
7	R. Duarte da Costa	Lapa	3523
8	R. Jequirituba	Grajaú	3420
9	R. Lagoa da Tocha	Grajaú	3420
10	R. Francesco Bartolozzi	Grajaú	3420
11	Av Sen. Teotônio Vilela	Grajaú	3420

12	R. Funchal	Itaim Bibi	3406
13	R. Poá x R. Ibitirama	Vi. Prudente	3223
14	R. Amparo	Vi. Prudente	3214
15	Av. Cruzeiro do Sul	Santana	3176
16	Pça. Craveiro do Campo	Jd. Helena	3172
17	R. Coriolano	Lapa	3137
18	R. Erva de Santa Luzia	Jd. Helena	3065
19	R. Adriano Seabra	Jd. Helena	3065
20	Av. Mal. Tito	Jd. Helena	3065

Tab. 5 - Vias com mais rotas de bicicleta.

#	Via	Distrito	# Rotas
1	Av. Brig. Faria Lima	Pinheiros	49
2	Av. Pedroso de Moraes	Pinheiros	30
3	Av. Hélio Pelegrino	Itaim Bibi	24
4	Rua Áustria	Jd. Paulista	22
5	Av. Afrânio Peixoto x Av. Alvarenga	Butantã	21
6	R. Venezuela	Jd. Paulista	21
7	R. Honduras x R. Maestro Elias Lobo	Jd. Paulista	20
8	R. Itália	Jd. Paulista	20
9	R. Funchal	Itaim Bibi	19
10	Av. Eng. Luis Carlos Berrini	Itaim Bibi	19
11	R. Bela Cintra x Al. Santos	Bela Vista	17
12	Pte. Cidade Universitária	Butantã	16

13	R. Abílio Soares	VI. Mariana	13
14	R. Dr. Amâncio de Carvalho	VI. Mariana	13
15	Av. Gal. Olímpio da Silveira	Sta. Cecília	13
16	R. Turiassú	Perdizes	13
17	Av. Valdemar Ferreira	Butantã	11
18	Av. Quarto Centenário	VI. Mariana	11
19	Av. Carlos de Campos	Pari	11
20	Av. Joaquina Ramalho	VI. Guilherme	10

Conclusões e trabalhos futuros

Este artigo apresenta os resultados da análise comparativa entre contagens de fluxos de bicicletas e quantidade de viagens de ciclistas da pesquisa Origem Destino 2017 (OD17). Um dos resultados obtidos foi a geração das rotas de bicicletas das viagens da OD17 usando a biblioteca GraphHopper. Essas rotas podem ser utilizadas para a análise do perfil de deslocamento dos ciclistas pela cidade e para simulações relacionadas com o deslocamento de bicicletas.

Utilizamos as rotas geradas para comparar o número de viagens da OD17 com as quantidades verificadas nas contagens realizadas pela CET. Essa comparação mostra que há vários locais em que as contagens da CET e a quantidade de viagens indicadas pela OD17 são parecidas, como visto na Tabela 1 e os mapas das Figuras 4 a 7. Também é possível observar, nas Figuras 4 e 5, as intersecções entre rotas e contadores, o que pode servir como referência para fazer ajustes nos locais das contagens futuras. Além disso, existe uma correlação moderada entre os volumes de bicicletas registrados pelos contadores e pela OD17, o que indica que os dois modos de contagem tendem a registrar uma quantidade proporcionalmente semelhante no número de viagens. Isso indica que os dados das contagens de fluxo de bicicletas podem ser usados para atualizar as viagens de bicicleta da pesquisa OD.

Utilizamos também as rotas para identificar quais são os locais que concentram o maior número de viagens na cidade e os locais por onde passam mais rotas das viagens OD17. Essas informações podem auxiliar no planejamento e na avaliação de locais que precisam de maior atenção com relação à implantação e manutenção da infraestrutura cicloviária.

Consolida-se uma base metodológica para a avaliação de caminhos cicláveis e ampliação sustentável da malha existente, oferecendo aos cidadãos alternativas saudáveis e seguras para deslocamentos na cidade com acesso ao trabalho, escola e lazer. Entre os trabalhos futuros, pretendemos usar a BikeScience para fazer a comparação entre as viagens de pedestres da OD17 com as contagens de fluxos de pedestres realizadas pela CET. Dessa forma, poderemos identificar locais da cidade que necessitem de priorização de tratamento e reforma. Iremos também utilizar a BikeScience com outros conjuntos de dados, como o caso da base de acidentes de trânsito, para identificar locais da cidade que mereçam maior atenção quanto às intervenções para melhoria da segurança dos ciclistas.

Disponibilidade dos dados, materiais e resultados da pesquisa

Os mapas apresentados neste artigo possuem uma versão interativa e estão disponíveis em : <https://intercity.org/bikescience-mapas-das-contagens-e-rotas-od>.

Os dados da pesquisa Origem Destino 2017 do metrô podem ser acessados em <http://www.metro.sp.gov.br/pesquisa-od>.

Os dados sobre as contagens de fluxos de bicicleta estão acessíveis em <http://www.cetsp.com.br/sobre-a-cet/relatorios-corporativos.aspx>.

O arquivo com as rotas de bicicletas OD geradas pode ser acessado em https://intercity.org/open_data.

Bibliografia

BATISTA, Daniel M., GOLDMAN, Alfredo, HIRATA JR., Roberto, KON, Fabio, COSTA, Fabio, ENDLER, Markus. **InterSCity: Addressing Future Internet Research Challenges for Smart Cities**. Proceedings of the 7th IEEE International Conference on Network of the Future, 2016.

BONGIORNO, Christian, SANTUCCI, Daniele, KON, Fabio, SANTI, Paolo, RATTI, Carlo. **Comparing bicycling and pedestrian mobility: Patterns of non-motorized human mobility in Greater Boston**. Journal of Transport Geography. Volume 80, pp. 102501. 2019.

COHEN, Jacob. **Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences**. Academic Press, 2013.

Companhia de Engenharia de Tráfego (CET - SP). **Plano Cicloviário do Município de São Paulo**, 2019.
URL: www.cetsp.com.br/media/866356/planocicloviariodesaopaulo_2019.pdf, acesso em 05/11/2020.

Companhia de Engenharia de Tráfego (CET - SP). **Informações sobre as políticas municipais para bicicletas**, 2020a.
URL: <http://www.cetsp.com.br/consultas/bicicleta.aspx>, acesso em 20/10/2020.

Companhia de Engenharia de Tráfego (CET - SP). **Mapa de Infraestrutura Cicloviária**, 2020b.
URL: www.cetsp.com.br/consultas/bicicleta/mapa-de-infraestrutura-cicloviaria.aspx, acesso em 05/11/2020.

Companhia de Engenharia de Tráfego (CET - SP). **Relatórios Anuais de Desempenho de Mobilidade no Sistema Viário Municipal (MSVP)**, 2020c.
URL: www.cetsp.com.br/consultas/bicicleta/contadores-de-bicicletas.aspx, acesso em 05/11/2020.

Companhia do Metropolitano de São Paulo. **Pesquisa Origem Destino 2017**.
URL: www.metro.sp.gov.br/pesquisa-od/arquivos/Ebook%20Pesquisa%20OD%202017_final_240719_versao_4.pdf

KON, Fabio, FERREIRA, Éderson C., SOUZA, Higor A. de, DUARTE, Fábio, SANTI, Paolo, RATTI, Carlo. **Abstracting Mobility Flows from Bike-Sharing Systems**. Artigo aceito para publicação na revista Public Transport, 2020.

KRISMER, Nikolaus; SILBERNAGL, Doris; MALFERTHEINER, Martin; SPECHT, Günther. **Elevation Enabled Bicycle Router Supporting User-Profiles**. Proceedings of the 28th Workshop on Foundations of Databases, *GvD*, pp. 74-79, 2016.

MALATESTA, Maria E. B.. **A bicicleta nas viagens cotidianas do Município de São Paulo**. 2014. Tese (Doutorado em Planejamento Urbano e Regional) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

OJA, P.; TITZE, S.; BAUMAN, A.; GEUS, B. de; KRENN, P.; REGER-NASH, B.; KOHLBERGER, T.. **Health benefits of cycling: A systematic review**. Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports 21(4):496-509, 2014.

SÆLENSMINDE, K.. **Cost-benefit analyses of walking and cycling track networks taking into account insecurity, health effects and external costs of motorized traffic**. Transportation Research Part A: Policy and Practice 38(8):593-606, 2014.

VALE, Ricardo C. C.. **The welfare costs of traffic congestion in São Paulo Metropolitan Area**. 2018. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2018.