



Publicação  
Preliminar

## ESTIMATIVAS DE ACESSIBILIDADE A EMPREGOS E SERVIÇOS PÚBLICOS VIA TRANSPORTE ATIVO, PÚBLICO E PRIVADO NAS 20 MAIORES CIDADES DO BRASIL EM 2017, 2018, 2019

**Autores(as):** Rafael H M Pereira  
Carlos Kauê Vieira Braga  
Daniel Herszenhut  
Marcus Saraiva  
Diego Bogado Tomasiello

**Produto editorial:** Texto para Discussão  
**Cidade:** Brasília  
**Editora:** Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea)  
**Ano:** 2022  
**Edição** 1ª

O Ipea informa que este texto não foi objeto de padronização, revisão textual ou diagramação pelo Editorial e será substituído pela sua versão final uma vez que o processo de editoração seja concluído.

# ESTIMATIVAS DE ACESSIBILIDADE A EMPREGOS E SERVIÇOS PÚBLICOS VIA TRANSPORTE ATIVO, PÚBLICO E PRIVADO NAS 20 MAIORES CIDADES DO BRASIL EM 2017, 2018, 2019

Rafael H M Pereira\*  
Carlos Kauê Vieira Braga\*\*  
Daniel Herszenhut\*\*  
Marcus Saraiva\*\*  
Diego Bogado Tomasiello\*\*

## RESUMO

Um dos principais objetivos das políticas de transporte é melhorar o acesso da população a oportunidades de emprego, serviços públicos e áreas de lazer. Por isso, um número cada vez maior de agências de transporte e de financiamento tem buscado incorporar estudos de acessibilidade nos processos de planejamento e avaliação de suas políticas de transporte e investimentos em infraestrutura. No entanto, a disponibilidade de dados sobre acessibilidade urbana nas cidades brasileiras ainda é muito limitada devido a desafios computacionais e ao acesso limitado a dados de sistemas de transportes e de distribuição de oportunidades. Este Texto para Discussão apresenta a base de dados com estimativas de acessibilidade urbana criada no Projeto Acesso a Oportunidades, bem como descreve os métodos utilizados no seu desenvolvimento. A base consiste numa grade de hexágonos de alta resolução espacial que agrega estimativas de acessibilidade a empregos (de baixa, média e alta qualificação) e serviços públicos, como escolas (nível infantil, fundamental e médio), estabelecimentos de saúde (serviços hospitalares e ambulatoriais de baixa, média e alta complexidade) e centros de referência para assistência social (CRAS). Essas estimativas são calculadas usando vários indicadores de acessibilidade considerando diferentes modos de transporte (caminhada, bicicleta, transporte público e automóvel), diferentes horários do dia (pico e fora-pico) e diferentes grupos populacionais (segundo níveis de renda, raça, sexo e idade). Nesta versão, a base de dados traz essas informações para os anos de 2017, 2018 e 2019, se apoiando em uma única metodologia consistente para as 20 maiores cidades do Brasil. Esta base é publicamente disponibilizada pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea) pelo site do Projeto Acesso a Oportunidades e por meio do pacote de R *aopdata*. Espera-se que este trabalho permita que pesquisadores e gestores públicos utilizem estimativas de acessibilidade urbana na realização de pesquisas, planejamento e avaliação de políticas públicas.

**Palavras-chave:** acessibilidade urbana, transporte urbano, transporte público, caminhada, bicicleta, automóvel, empregos, saúde, educação, assistência social, serviços públicos, cidades, Brasil

---

\* Técnico de planejamento e pesquisa na Diretoria de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais (Dirur) do Ipea. E-mail: <rafael.pereira@ipea.gov.br>

\*\* Assistente de pesquisa na Dirur/Ipea

## **ABSTRACT**

One of the main goals of transportation policies is to improve the people's access to employment opportunities, public services, and amenities. For this reason, an increasing number of transportation and funding agencies have sought to incorporate accessibility studies in the planning and assessment of their transportation policies and infrastructure investments. However, there is still very limited data on urban accessibility in Brazil due to computational and methodological challenges. This Discussion Paper presents a comprehensive database with urban accessibility estimates created by the Access to Opportunities Project (Projeto Acesso a Oportunidades), and introduce the methods used in its development. The database consists of a spatial grid of hexagons of high spatial resolution that aggregates estimates of accessibility to jobs (low-, medium- and high-qualification) and public services, such as schools (early childhood, primary and high school), health facilities (hospital and ambulatory services of low, medium and high complexity) and reference centers for social assistance (CRAS). These estimates are calculated using different accessibility indicators by transport mode (walking, cycling, public transport, and car), for different times of the day (peak and off-peak) and for different population groups according to income levels, race, gender, and age. In this edition, the database brings information for different years (2017, 2018 and 2019) based on a single consistent methodology for the 20 largest cities in Brazil. This database is made publicly available by the Institute for Applied Economics Research (Ipea) through the website of the Access to Opportunities Project and through the R package aopdata. We hope this work will allow researchers and policy makers to use urban accessibility estimates to inform research as well as the planning and evaluation of public policies.

**Keywords:** urban accessibility, urban transport, public transport, walking, bicycle, automobile, jobs, health, education, social assistance, public services, cities, Brazil

**JEL code:** J00, I00, R00

# 1. INTRODUÇÃO<sup>1</sup>

Existe crescente consenso na literatura de que o conceito de acessibilidade, que trata da facilidade de pessoas acessarem oportunidades de trabalho, escolas, hospitais, entre outras, é essencial para o planejamento urbano e de transportes (Boisjoly & El-Geneidy, 2017; Levinson & King, 2020; Papa & Bertolini, 2015). No entanto, a disponibilidade de dados sobre acessibilidade urbana nas cidades brasileiras ainda é muito limitada. Isso ocorre, em parte, porque a produção de estimativas de acessibilidade é relativamente complexa, uma vez que envolve uma grande quantidade de dados e etapas não triviais. Essas etapas envolvem desde a coleta e preparação de diversos tipos de dados até atividades computacionalmente intensivas, como a modelagem de redes de transporte público e privado.

O Projeto Acesso a Oportunidades, realizado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea)<sup>2</sup>, foi criado para lidar com esse desafio. O projeto tem como objetivo produzir estimativas anuais do acesso da população a oportunidades de emprego e a serviços públicos, considerando diferentes modos de transporte nos maiores centros urbanos do Brasil. Neste trabalho nós apresentamos a metodologia utilizada para processamento e análise de dados que combina informações sociodemográficas com informações sobre as redes de transporte coletivo, individual motorizado e ativo para gerar estimativas de acessibilidade em alta resolução espacial para a população como um todo e para grupos populacionais específicos, segundo características de renda, idade e cor/raça. Esta metodologia foi utilizada no âmbito do Projeto para a produção de uma base de dados que traz estimativas de acesso a empregos, escolas, serviços de saúde e Centros de Referência da Assistência Social (CRAS) nas 20 maiores cidades do Brasil — Belém, Belo Horizonte, Brasília, Campinas, Campo Grande, Curitiba, Duque de Caxias, Fortaleza, Goiânia<sup>3</sup>, Guarulhos, Maceió, Manaus, Natal, Porto Alegre, Recife, Rio de Janeiro, Salvador, São Gonçalo, São Luiz e São Paulo (Figura 1). Juntas, essas cidades somam cerca de 25% da população do país. O objetivo deste Texto para Discussão é disponibilizar essa base de dados publicamente e apresentar em detalhes a metodologia desenvolvida. A análise dos dados, propriamente dita, será feita em outros estudos que serão em breve publicados pelo Ipea.

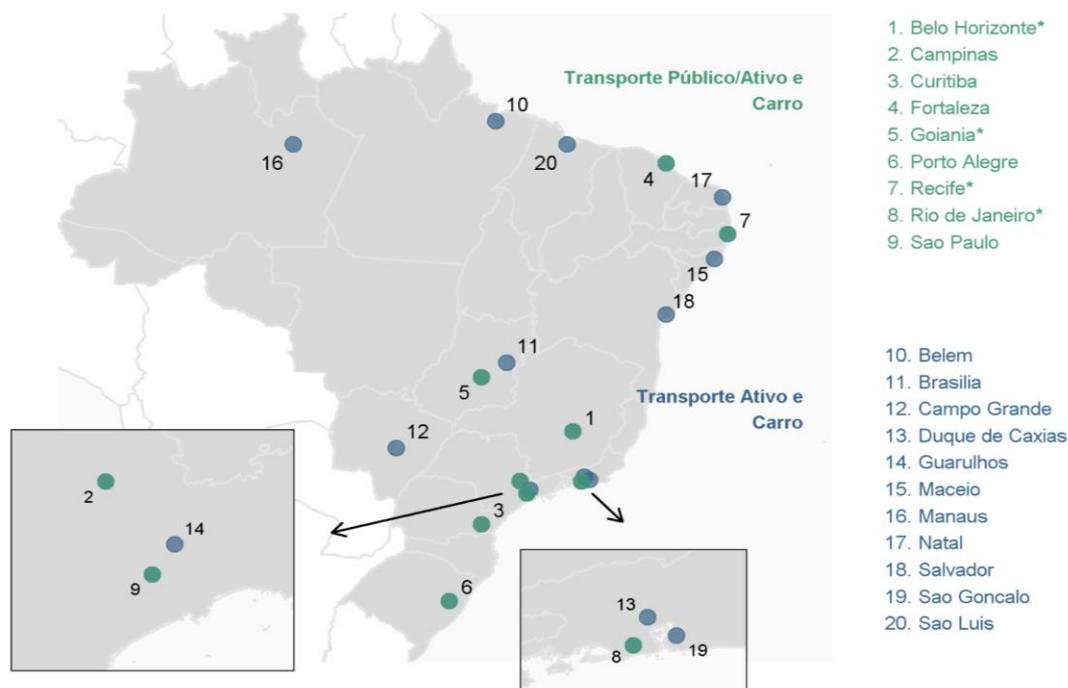
---

<sup>1</sup> Esta pesquisa faz parte do Termo de Execução Descentralizada celebrado entre o Ipea e a Secretaria Nacional de Mobilidade e Desenvolvimento Regional e Urbano (SMDRU) do Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR).

<sup>2</sup> Mais informações sobre o projeto em <https://www.ipea.gov.br/acessoaoportunidades>.

<sup>3</sup> As estimativas em Goiânia abrangem toda a sua Região Metropolitana, e não apenas o município.

**Figura 1. Cidades incluídas nesta edição do Projeto Acesso a Oportunidades.**



\* Cidades que não possuem análise de transporte público para todos os anos. Consultar Tabela 3 para mais detalhes

A versão atual da base de dados apresentada neste trabalho passou por um tratamento ligeiramente diferente e mais rigoroso do que o aplicado à versão anterior da mesma base de dados (Pereira, Braga, et al., 2019), além de incluir dados inéditos. A base atual inclui estimativas de acessibilidade por transporte público e transporte ativo para os anos de 2017, 2018 e 2019 e estimativas de acessibilidade por automóvel que levam em consideração condições históricas de tráfego. Ao passo que a versão anterior incluía estimativas de acessibilidade apenas a empregos, escolas e hospitais, esta passa a incluir também estimativas de acesso aos CRAS e matrículas da rede pública de ensino. Foram calculados também indicadores de acessibilidade cumulativa passiva (ver detalhes na Seção 4), em adição aos indicadores já calculados anteriormente. Por fim, as análises de roteamento por transporte público e ativo foram feitas neste trabalho usando novos algoritmos de roteamento, tornados disponíveis pelo pacote computacional *r5r* (Pereira, Saraiva, et al., 2021). Este pacote substitui a ferramenta de roteamento previamente utilizada no projeto, o OpenTripPlanner.

Nesta edição, foram calculados três tipos de indicadores de acessibilidade: a) o tempo de viagem até a oportunidade mais próxima; b) o número de oportunidades acessíveis em determinado tempo de viagem por modo de transporte (acessibilidade cumulativa ativa); e c) a

quantidade de pessoas residentes na área do entorno de cada localidade em determinado tempo de viagem por modo de transporte (acessibilidade cumulativa passiva). As estimativas de acessibilidade por carro, a pé e por bicicleta foram calculadas para todas as 20 cidades. Já as estimativas para transporte público foram calculadas apenas para aquelas que disponibilizam abertamente ou que compartilharam as informações de seus sistemas de transporte público em formato padrão da Especificação Geral sobre Feeds de Transporte Público (GTFS).

A Tabela 1 resume as informações dos indicadores de acessibilidade que estão disponíveis na base de dados. Cada indicador de acessibilidade é calculado para múltiplos modos, limites de tempo de viagem e categorias de oportunidades, que são detalhadas na Tabela 2. Os dados são disponibilizados agregados numa grade espacial de hexágonos onde cada célula tem uma área de 0,11 km<sup>2</sup>.

Os códigos de processamento dos dados estão disponíveis em um repositório aberto no GitHub<sup>4</sup>. Já as bases de dados estão disponibilizadas para download no site no Projeto Acesso a Oportunidades<sup>5</sup>, e também podem ser acessadas por meio do pacote de R *aopdata* (Pereira, Herszenhut, et al., 2022)<sup>6</sup>, conforme exemplificado mais adiante na Seção 5.

**Tabela 1. Indicadores de acessibilidade calculados no Projeto Acesso a Oportunidades**

Indicador (código)	Descrição	Tipo de oportunidades	Limites de tempo de viagem
Tempo mínimo de viagem (TMI)	Tempo até a oportunidade mais próxima	Saúde Educação CRAS	A pé 60 mins  Bicicleta, Transporte público e carro 120 mins
Medida cumulativa ativa (CMA)	Quantidade de oportunidades acessíveis em um determinado limite de tempo	Trabalho Saúde Educação CRAS	A pé e bicicleta 15, 30, 45 e 60 mins  Transporte público e carro
Medida cumulativa passiva (CMP)	Quantidade de pessoas que acessam a localidade em um determinado limite de tempo	-	15, 30, 60, 90 e 120 mins

<sup>4</sup> Disponível em [https://github.com/ipeaGIT/acesso\\_oport](https://github.com/ipeaGIT/acesso_oport).

<sup>5</sup> Disponível em <https://www.ipea.gov.br/acessooportunidades>.

<sup>6</sup> Mais informações em <https://github.com/ipeaGIT/aopdata>.

**Tabela 2. Descrição e divisão das oportunidades consideradas**

<b>Acessibilidade Cumulativa Ativa e Tempo mínimo de viagem</b>		
<b>Oportunidade</b>	<b>Descrição (código)</b>	<b>Categorias (código)</b>
Trabalho	Quantidade de vínculos empregatícios formais (T)	Total (TT) Baixa escolaridade (TB) * Média escolaridade (TM) * Alta escolaridade (TA)*
Saúde	Quantidade de equipamentos de saúde (S)	Total (ST) Baixa complexidade (SB) Média complexidade (SM) Alta complexidade (SA)
Educação	Quantidade de escolas (E) e matrículas (M)	Total (ET) Ensino infantil (EI, MI) Ensino fundamental (EF, MF) Ensino médio (EM, MM)
CRAS	Quantidade de CRAS (C)	Total (CT)
<b>Acessibilidade Cumulativa Passiva</b>		
	<b>Descrição (código)</b>	<b>Categorias (código)</b>
	Quantidade de pessoas (P)	Total (PT) Homens (PH) Mulheres (PM)
	Quantidade de pessoas por cor	Branca (PB) Amarela (PA) Indígena (PI) Negra (PN)
	Quantidade de pessoas por idade	0 a 5 anos (P0005I) 6 a 14 (P0614I) 15 a 18 (P1518I) 19 a 24 (P1924I) 25 a 39 (P2539I) 40 a 69 (P4069I) 70+ (P70I)

Obs.: \* Baixa escolaridade considera até ensino fundamental completo, Média escolaridade considera até ensino médio completo, e Alta escolaridade considera ensino superior completo.

O restante deste estudo está organizado da seguinte maneira: a Seção 2 contextualiza o trabalho, com uma breve revisão da literatura sobre estudos de acessibilidade urbana no Brasil; as Seções 3 e 4 apresentam as bases de dados utilizadas e a metodologia desenvolvida para estimar os níveis de acessibilidade, bem como um detalhamento de cada indicador de

acessibilidade calculado; a Seção 5 apresenta como os dados podem ser acessados; e a Seção 6 traz algumas considerações finais com desafios para os próximos passos do projeto.

## **2. LITERATURA SOBRE ACESSIBILIDADE URBANA NO BRASIL**

Acessibilidade é a facilidade com que as pessoas conseguem alcançar lugares e oportunidades – ou, inversamente, uma característica de lugares e oportunidades em termos de quão facilmente eles podem ser alcançados pela população (Geurs & van Wee, 2004; Neutens et al., 2010). A noção de acessibilidade está relacionada tanto à co-distribuição espacial da população e de atividades econômicas e serviços públicos quanto à configuração e desempenho das redes de transporte. Nesse sentido, a acessibilidade urbana tem papel fundamental na capacidade das pessoas de se deslocarem para acessar oportunidades (como empregos, escolas, etc.).

Nas últimas décadas, o conceito de acessibilidade vem recebendo cada vez mais atenção nas áreas de transporte, geografia e planejamento urbano (Lucas, 2019; van Wee, 2016). Existe um crescente consenso nessas áreas de que um dos principais objetivos das políticas de transporte é melhorar a acessibilidade urbana da população (Martens & Ciommo, 2017; van Wee & Geurs, 2011), e diversos estudos vêm destacando como políticas focadas em acessibilidade são fundamentais para promoção de cidades mais sustentáveis (Banister, 2011; Kinigadner & Büttner, 2021) e mais justas, no sentido de reduzir problemas de exclusão social e de desigualdades de oportunidades (Cass et al., 2005; Luz & Portugal, 2021; Pereira & Karner, 2021; Preston & Rajé, 2007).

Não por acaso, um número cada vez maior de agências de transporte e de financiamento tem buscado incorporar estudos de acessibilidade nos processos de planejamento e avaliação de suas políticas de transporte e investimentos em infraestrutura (Boisjoly & El-Geneidy, 2017; Levinson & King, 2020; Papa & Bertolini, 2015).

No Brasil, ainda existem poucos estudos sobre acessibilidade urbana, embora o tema venha ganhando mais atenção nos últimos anos. Pesquisas recentes no país têm dado destaque ao tema na análise de planos diretores (Cavalcante et al., 2020), na avaliação de impacto de projetos de transporte (Freire et al., 2019; Pereira, 2019; Pereira, Banister, et al., 2019) e na avaliação de políticas habitacionais (Pacheco, 2019; Pereira & Braga, 2021).

Um dos temas mais estudados por essa literatura no Brasil é o da relação entre acessibilidade e questões de exclusão e desigualdade social. O estudo de Luz et al (2022), por

exemplo, combina dados de pesquisa origem-destino com estimativas de acesso a empregos por transporte público na cidade de São Paulo e, utilizando método de variável instrumental, encontram que o nível de acessibilidade das pessoas afeta a sua participação em atividades fora de casa. Há também diversos trabalhos que trazem análises descritivas das desigualdades socioeconômicas e espaciais de acesso a oportunidades em cidades como Fortaleza (Lima et al., 2021), Belo Horizonte (Cerqueira, 2017), Rio de Janeiro (Herszenhut et al., 2022) e Curitiba (Turbay et al., 2022). O trabalho de Bittencourt et al. (2020), em particular, mostra como desigualdades de acesso a empregos por transporte público nas cidades de São Paulo, Rio de Janeiro, Curitiba e Fortaleza resultam de uma complexa sobreposição de diversas desvantagens relacionadas a classe social, raça e segregação urbana.

Em linhas gerais, a maioria desses estudos foca em acesso a oportunidades de emprego (Andrade et al., 2020; Barboza et al., 2021; Boisjoly et al., 2017; Carneiro et al., 2019; Pereira, 2019; Slovic et al., 2019; Tomasiello et al., 2020). No entanto, diversos trabalhos também analisam o acesso da população a serviços de educação (Humberto et al., 2020; Moreno-Monroy et al., 2018; Pereira, Banister, et al., 2019; Pizzol et al., 2021), serviços de saúde (Benevenuto et al., 2019; Guimarães et al., 2019; Pereira, Braga, et al., 2021; Rocha et al., 2017), estabelecimentos de alimentação (Oliveira et al., 2020), parques e áreas de lazer (Macedo & Haddad, 2016; Pereira, 2018), ou utilizam um índice composto de diversos tipos de atividades (Silva & Rodrigues da Silva, 2016). A maior parte desses estudos analisa acessibilidade por transporte público. No entanto, alguns trabalhos vêm trazendo também análises para acessibilidade a pé ou de bicicleta (Liang et al., 2017; McNeil, 2011; Reyes et al., 2014), por automóveis privados (Costa et al., 2021; Liao et al., 2020) e pela integração entre transporte público e bicicleta (Hamidi et al., 2019; Pritchard, Stepniak, et al., 2019; Pritchard, Tomasiello, et al., 2019; Zuo et al., 2020).

Novos estudos vêm trazendo também análises comparativas que permitem examinar as diferenças nos níveis de acessibilidade e padrões de desigualdade entre cidades (Boisjoly et al., 2020; Giannotti et al., 2020). O trabalho de Cayo et al (2021), por exemplo, analisa em sete cidades brasileiras (Belo Horizonte, Brasília, Curitiba, Fortaleza, Manaus, Recife, Salvador) as desigualdades de tempo de viagem até o centro da cidade entre transporte público e por automóvel usando dados do API do Google Maps. Já o artigo de Wu et al (2021) fez o primeiro estudo global comparando o nível de acesso a oportunidades de trabalho por modo de transporte em 117 cidades em 16 países, incluindo 20 cidades brasileiras.

Por fim, autores brasileiros vêm dando importantes contribuições metodológicas para a literatura sobre o tema, por exemplo com a proposição de novos indicadores de acessibilidade

(Barboza et al., 2021). Estudos no Brasil têm apontado para como as avaliações de impacto de projetos de transporte sobre os níveis de acessibilidade e desigualdade são sensíveis a escolhas metodológicas espaciais e temporais (Pereira, 2019; Pereira, Banister, et al., 2019). Outros trabalhos, como o de Arbex et al (2016) e Braga et al (2019), têm discutido a importância de incorporar dados de GPS e/ou bilhetagem para melhorar estimativas de acessibilidade e considerar a variabilidade temporal dos serviços de transporte público. Mais recentemente, alguns trabalhos vêm apontando caminhos sobre como aprimorar estudos de acessibilidade considerando-se, além do tempo de viagem, o custo monetário (Bittencourt & Giannotti, 2021; Herszenhut et al., 2022) e o conforto dos passageiros devido à lotação dos veículos (R. Arbex & Cunha, 2020).

Apesar das contribuições dessa literatura, a maioria desses estudos analisa a acessibilidade de uma única cidade, considerando um único modo de transporte e com foco em um único tipo de oportunidade num único ano. Além disso, esses trabalhos, via de regra, utilizam diferentes metodologias, fazendo com que seus resultados não sejam facilmente comparáveis entre si, e não disponibilizam seus dados e resultados publicamente.

O trabalho do Projeto Acesso a Oportunidades avança essa literatura ao disponibilizar publicamente uma base de dados com estimativas de acessibilidade calculadas com diferentes indicadores para diversos tipos de atividades. Essas estimativas são disponibilizadas considerando vários modos de transporte, diferentes horários do dia e tendo como foco grupos populacionais de diversas composições sociodemográficas. As estimativas são disponibilizadas em alta resolução espacial para as 20 maiores cidades do Brasil e foram calculadas tomando diferentes anos de referência, compondo uma série histórica que abre um grande leque de possibilidades de pesquisas e aplicações no planejamento e avaliação de políticas públicas no país. Nas próximas seções nós detalhamos a metodologia e os dados utilizados no projeto.

### **3. DADOS DE ENTRADA**

O cálculo de estimativas de acessibilidade envolveu uma grande quantidade de dados de diversas naturezas, incluindo registros administrativos, pesquisas amostrais, dados de imagens de satélite e de mapeamento colaborativo. Os dados utilizados no projeto, bem como os processos empregados em seus tratamentos, são descritos a seguir.

### 3.1. Dados sociodemográficos e de oportunidades

As características sociodemográficas da população de cada cidade analisada no projeto foram obtidas do Censo Demográfico de 2010 do IBGE, informação mais recente disponível. Os dados utilizados fazem referência à contagem populacional segundo critérios de sexo, idade e cor/raça, além da média da renda domiciliar per capita. No contexto deste trabalho, essas informações são utilizadas para dois fins principais: para calcular indicadores de acessibilidade agregados para grupos populacionais específicos (por exemplo, acessibilidade média das pessoas negras na cidade de São Paulo, por transporte público), e para o cálculo dos indicadores de acessibilidade cumulativa passiva (por exemplo, quantidade de crianças em idade escolar residentes a 30 minutos de caminhada de uma escola).

Os dados sobre distribuição espacial de empregos e de serviços públicos de educação, saúde e assistência social foram coletados para os anos de 2017, 2018 e 2019 e foram obtidos através de fontes de dados específicas. A quantidade de escolas públicas segundo nível educacional (infantil, fundamental e médio) foi obtida do Censo Escolar, realizado anualmente pelo Inep. A quantidade de estabelecimentos de saúde que atendem pelo SUS segundo nível de atenção (baixa, média e alta complexidade) foi obtida do Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (CNES), do Ministério da Saúde. Já a quantidade de empregos formais segundo nível de escolaridade (ensino fundamental, médio e superior) foi obtida da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS), do Ministério da Economia. Por fim, os dados referentes aos Centros de Referência da Assistência Social (CRAS) foram obtidos dos censos anuais do Sistema Unificado de Assistência Social (Censo SUAS), disponibilizados pelo Ministério da Cidadania através da Secretaria Nacional de Assistência Social (SNAS).

Os dados tratados e geolocalizados de informações sociodemográficas e de oportunidades, por serem de amplo interesse da comunidade científica brasileira, também são disponibilizados como um dos produtos do Projeto Acesso a Oportunidades. Por isso, o processo de obtenção, tratamento e geolocalização desses dados é apresentado de forma aprofundada em outro estudo (Pereira, Braga, et al., 2022), e não será abordado neste trabalho.

### 3.2. Rede viária

Os dados de rede viária contêm informações espaciais sobre a malha de ruas, avenidas e infraestrutura cicloviária de uma cidade, com atributos adicionais como a hierarquia de vias e limite de velocidade. Esses dados são necessários para o roteamento das viagens a pé, de

bicicleta, de automóvel, e dos trechos de acesso e egresso do transporte público.

Para viagens de automóvel, foi utilizada a rede viária da base de dados StreetMap Premium<sup>7</sup>, da ESRI. Esta é uma base de dados comercial que cobre o Brasil inteiro, adquirida para o projeto. Para os outros modos de transporte, foram utilizados dados do OpenStreetMap (OSM), uma base de dados colaborativa atualizada voluntariamente por seus usuários. Os dados foram baixados através do serviço Geofabrik<sup>8</sup>, que disponibiliza recortes da malha viária do OSM para várias regiões do mundo. Uma vez feito o download da malha viária do Brasil inteiro, a rede de cada cidade foi recortada utilizando a ferramenta Osmosis<sup>9</sup>.

Embora seja possível filtrar dados do OSM por data, as mesmas se referem ao período em que cada área foi mapeada, e não necessariamente ao período em que a infraestrutura foi construída. A expansão de uma ciclovia realizada em 2017 e que foi adicionado ao OSM em 2020, por exemplo, constaria na malha viária de 2020, não na de 2017. Portanto, optamos por usar a rede viária disponível no OSM em novembro de 2020 para os 3 anos do projeto cobertos por este relatório (2017, 2018 e 2019).

### 3.3. Topografia

As características topográficas têm importante influência sobre os caminhos percorridos por pedestres e ciclistas, que tendem a buscar áreas mais planas em seu deslocamento. Para levar esta influência em consideração no processo de roteamento, é necessário utilizar dados que descrevam o perfil de elevação nas cidades analisadas no projeto.

Nós utilizamos dados de topografia da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), referentes ao ano de 2000 e com resolução espacial de 1 arco-segundo (aproximadamente 30 metros) (NASA JPL, 2013). Os dados correspondem a um modelo digital de elevação (digital elevation model - DEM), isto é, uma representação espacial da topografia da superfície terrestre em formato raster.

### 3.4. Dados de transporte público

As informações das redes de transporte público nas cidades analisadas, fundamentais para o roteamento considerando modos públicos e coletivos, são consumidas no formato General

---

<sup>7</sup> Informações em <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-streetmap-premium/overview>.

<sup>8</sup> Disponível em <https://download.geofabrik.de/south-america/brazil.html>.

<sup>9</sup> Mais informações em <https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Osmosis>.

Transit Feed Specification (GTFS). Esta é uma especificação de dados de transporte público construída de forma colaborativa e aberta, amplamente utilizada pelos mais variados *softwares* de roteamento e disponibilização de informações de transporte público.

Os dados de transporte público em formato GTFS foram obtidos junto às prefeituras e empresas operadoras de transporte público de cada cidade. Esses dados fazem referência ao serviço típico de um dia de semana entre final de setembro e início de outubro de cada ano, em 2017, 2018 e 2019. As análises de acessibilidade com base no GTFS consideram o nível de serviços de transporte público oficialmente planejado pelas autoridades de transporte, logo não consideram eventuais atrasos e mudanças de rota devido a fatores não planejados, como acidentes de trânsito e níveis de congestionamento não recorrentes. O congestionamento recorrente, no entanto, normalmente é levado em consideração pelas autoridades de transporte no planejamento dos itinerários e tempos de viagem, sendo, conseqüentemente, considerado em nossas análises.

A acessibilidade por transporte público foi estimada para as nove cidades que disponibilizaram dados de GTFS, seja abertamente ou através de contatos diretos com as agências de transporte público: Belo Horizonte, Campinas, Curitiba, Fortaleza, Goiânia<sup>10</sup>, Porto Alegre, Recife, Rio de Janeiro e São Paulo. Algumas dessas cidades, entretanto, disponibilizaram esses dados apenas para determinados anos, e alguns dos arquivos compartilhados foram identificados como não representativos do sistema de transporte público observado na prática. As estimativas de acessibilidade por transporte público, portanto, foram realizadas para diferentes anos, a depender da cidade. A Tabela 3 relaciona as cidades, os anos para os quais as estimativas foram realizadas e as agências responsáveis pelos arquivos GTFS utilizados em cada cidade.

---

<sup>10</sup> O GTFS de Goiânia compreende não apenas o município, mas toda a sua Região Metropolitana.

**Tabela 3: Lista das cidades do projeto com dados de GTFS**

<b>Cidade</b>	<b>Agências</b>	<b>Anos</b>
Belo Horizonte	Bhtrans	2017, 2018, 2019
Campinas	EMDEC	2017, 2018, 2019
Curitiba	URBS	2017, 2018, 2019
Fortaleza	ETUFOR, METROFOR	2017, 2018, 2019
Porto Alegre	EPTC, TRENSURB	2017, 2018, 2019
Recife	Instituto da Cidade Pelópidas Silveira	2019
Rio de Janeiro	Fetranspor, Supervia	2018, 2019
Região Metropolitana de Goiania	RMTC	2019
São Paulo	SpTrans, EMTU	2017, 2018, 2019

Certas inconsistências encontradas em alguns arquivos GTFS, por serem de resolução relativamente simples, porém muito impactantes nas estimativas de acessibilidade (por afetarem principalmente linhas de média e alta capacidade), foram corrigidas. É o caso de alguns problemas identificados nos arquivos de Rio de Janeiro e São Paulo, cujas correções são descritas detalhadamente no Apêndice I. Por entender que as mudanças poderiam ser feitas em um tempo hábil, e que a qualidade do resto dos arquivos era equiparável a dos demais arquivos GTFS considerados no projeto, nós optamos por não descartar o arquivo como um todo e manter as análises de acessibilidade por transporte público nessas cidades.

### 3.5. Velocidade de automóveis

O processo de estimativa dos tempos de viagem por automóvel exige que sejam conhecidas as velocidades praticadas em cada via das cidades. Essas velocidades foram obtidas da base de dados StreetMap Premium, que traz informações históricas sobre a velocidade do tráfego na

malha viária, captadas pela empresa HERE<sup>11</sup> por meio de GPS.

Esta base traz informações sobre como a velocidade do tráfego varia a cada minuto em cada segmento de via. No entanto, essas estimativas de velocidade são calculadas considerando a média de tráfego observada para cada dia da semana num período agregado de dois anos. Os dados de tráfego utilizados neste trabalho têm como período de referência os meses entre o primeiro trimestre de 2018 e o primeiro trimestre de 2020. Assim, os dados permitem captar variações de velocidade de tráfego ao longo do dia, mas não entre meses ou anos distintos. Por isso, não foi possível analisar como a acessibilidade por automóvel teria variado entre diferentes anos.

## 4. MÉTODOS

O cálculo dos níveis de acessibilidade em cada uma das cidades do projeto é constituído por três etapas principais, descritas nesta seção: a) seleção de pontos de origem e destino; b) estimativa das matrizes de tempo de viagem entre esses pontos; e c) cálculo dos indicadores de acessibilidade.

### 4.1. Unidades espaciais e pontos de origem e destino

As análises e estimativas deste projeto foram realizadas tomando como referência uma grade espacial de hexágonos. Optou-se pelo formato hexagonal porque esse formato tem propriedades topológicas que trazem vantagens para o estudo de fenômenos espaciais com importante componente de vizinhança e conectividade (Birch et al., 2007). Além disso, o uso de grades de hexágonos facilita a interpretação e compreensão de resultados em visualizações espaciais (Langton & Solymosi, 2021). Neste trabalho, a grade hexagonal foi construída a partir do índice hierárquico espacial H3 na resolução 9, na qual cada hexágono tem uma área de 0,11 km<sup>2</sup>, o que equivale ao tamanho de um quarteirão, aproximadamente<sup>12</sup>.

Como pontos de origem e destino das matrizes de tempo de viagem, nós utilizamos os centróides das células hexagonais contidas nas 20 cidades do projeto. Visando diminuir o tempo de processamento e melhorar a qualidade das estimativas, no entanto, nós consideramos apenas um subconjunto da grade no processo de cálculo das matrizes. Hexágonos desocupados

---

<sup>11</sup> Mais informações em <https://www.here.com/>.

<sup>12</sup> Mais informações sobre o índice hierárquico H3 em <https://eng.uber.com/h3/>.

(isto é, sem população residente e sem oferta de nenhum tipo de oportunidade) foram excluídos, pois não impactam nos níveis de acessibilidade da cidade. Foram mantidos, entretanto, hexágonos vazios cuja distância de seu centróide à via mais próxima fosse de até 452 metros, uma vez que estes impactam na correção das matrizes (detalhes mais à frente). Essa distância cobre hexágonos diretamente conectados ao sistema viário e hexágonos cujos vizinhos são atendidos por esse sistema.

## 4.2. Estimativa das matrizes de tempo de viagem

Foram estimadas matrizes de tempo de viagem para diferentes modos de transporte: caminhada, bicicleta, transporte público e automóvel. Tempos de viagem a pé, de bicicleta e por transporte público foram estimados utilizando o pacote r5r (Pereira et al, 2021), que permite acessar o *software* de roteamento multimodal R5 (Conway et al., 2017) a partir da linguagem de programação R. Os tempos de viagem por automóvel foram calculados utilizando o software ArcGIS Pro. O cálculo do tempo de viagem para cada modo de transporte tem seus aspectos específicos, detalhados nesta seção a seguir.

### Automóvel

O Network Analyst do ArcGIS Pro toma como ponto de partida de uma viagem o ponto da malha viária mais próximo do centróide de cada hexágono, e não necessariamente o próprio centróide. No caso das matrizes por automóvel, no entanto, foram desconsiderados pontos de partida localizados em vias de alta hierarquia, como rodovias e vias de trânsito rápido. Com esta mudança buscou-se manter os tempos de viagem mais fidedignos, pois a maior parte dessas vias possuem poucos pontos de acesso, sendo raros os casos de viagens que se iniciam diretamente nessas vias.

Os tempos de viagem por automóvel foram calculados considerando tanto o tempo de deslocamento quanto um tempo necessário para estacionar o veículo. O tempo de deslocamento foi estimado tomando como referência as velocidades médias nas vias em uma quarta-feira, buscando evitar flutuações de velocidade derivadas de tráfego não rotineiro (como voltas de feriados no começo e no final das semanas, por exemplo). Assim como no caso do roteamento por transporte público, os tempos de viagem foram estimados para uma janela de pico e de fora-pico, sendo utilizado no cálculo da acessibilidade a mediana do tempo de viagem em cada janela. Por questões de tempo de processamento, no entanto, os tempos de partida foram

distribuídos de 15 em 15 minutos. Os tempos de deslocamento por automóvel foram calculados utilizando scripts em Python que faziam chamadas automatizadas à extensão *Network Analyst* do software ArcGIS Pro.

Em cima do tempo de deslocamento, nós adicionamos ainda um tempo necessário para procurar vaga e estacionar o veículo. Como não existem informações sobre como esse valor varia entre diferentes regiões da cidade, nós consideramos um tempo adicional de 2 minutos para todos os pares de origem-destino, conforme utilizado Allen e Farber no estudo de 2018).

## Caminhada e bicicleta

O *software* de roteamento R5 e o pacote *r5r* permitem combinar a rede viária do OpenStreetMap com dados de topografia para calcular tempos de viagem a pé e por bicicleta. O roteamento leva em conta apenas segmentos de via que podem ser utilizados por cada modo: rodovias de alto tráfego e sem calçadas, por exemplo, são ignoradas no roteamento de pedestres, enquanto galerias comerciais, passarelas elevadas e caminhos através de parques e praças são levados em consideração. A velocidade de caminhada foi definida em 3,6 km/h, equivalente a 1 m/s, valor ligeiramente abaixo da velocidade mediana reportada em outros estudos (Millward et al., 2013; Novaes et al., 2011), porém mais representativo da diversidade de pedestres com diferentes condições de locomoção (Duum et al., 2017; Fitzpatrick et al., 2006). Essa velocidade varia exponencialmente de acordo com a declividade da via, conforme a função de Tobler (1993).

Para o roteamento por bicicleta, a velocidade padrão foi definida em 12 km/h, equivalente a 3,33 m/s, valor abaixo da média reportada em outros estudos (Schleinitz et al., 2017), porém mais representativo da diversidade de ciclistas com diferentes condições de locomoção e circulando em ruas com precária ou nenhuma infra-estrutura cicloviária (Cherry & Cervero, 2007; Langford et al., 2015). Essa velocidade também varia de acordo com a topografia, seguindo uma função quadrática desenvolvida para uso no sistema de roteamento OpenTripPlanner e implementado no *r5r*. Ciclovias e ciclofaixas exclusivas para ciclistas, quando mapeadas no OpenStreetMap, são priorizadas no roteamento, porém outras vias, não exclusivas, também podem ser utilizadas. A seleção de quais vias não exclusivas são priorizadas pelos ciclistas também é influenciada pelo Nível de Estresse de Tráfego (do original Level of Traffic Stress – LTS), desenvolvido para quantificar o nível máximo de tolerância de ciclistas quando dividem o tráfego com outros veículos e implementado no R5 (Mekuria et al., 2012). Para o cálculo dos tempos de viagem por bicicleta, nós consideramos o nível 2 de LTS,

que representa ciclistas adultos não-entusiastas, e que, portanto, utilizam vias compartilhadas de trânsito leve e ciclovias/ciclofaixas em vias de trânsito pesado. Neste cenário, vias não exclusivas de trânsito pesado, como rodovias e avenidas com 4 pistas ou mais, não são utilizadas.

## Transporte público

As matrizes de tempo de viagem por transporte público geradas pelo r5r levam em consideração viagens porta-a-porta. Assim, o tempo total de viagem inclui a) o tempo de caminhada até a parada de transporte público; b) o tempo de espera pelo veículo na parada; c) o tempo de deslocamento dentro do veículo; e d) o tempo de viagem a pé da parada de desembarque até o destino. Em casos em que mais de uma rota de transporte público é utilizada, o r5r também contabiliza o tempo gasto nas conexões, considerando a caminhada entre paradas e o tempo de espera pelo próximo veículo.

Foram estimados tempos de viagem no horário de pico (entre 6h e 8h) e fora do horário de pico (entre 14h e 16h). Para evitar vieses estatísticos que poderiam afetar os resultados devido a variações de velocidade e de disponibilidade de serviços de transporte público ao longo de cada uma das janelas, nós consideramos, no cálculo dos indicadores de acessibilidade, o tempo de viagem mediano em cada janela, distribuindo horários de partida de um em um minuto (para o horário de pico, por exemplo, 6:00, 6:01, 6:02, ..., 7:58, 7:59, 8:00).

## Correção da matriz de tempo de viagem dos modos a pé, bicicleta e transporte público

As matrizes calculadas para transporte público e modos ativos apresentam algumas inconsistências causadas por características do roteamento do R5 e atributos das vias do OpenStreetMap. Isso acontece quando um ponto de roteamento é inserido em uma área isolada do restante da malha viária do OSM - cemitérios e campus universitários, por exemplo. A partir desses pontos é possível acessar somente os hexágonos que estão dentro da própria área isolada, destoando de forma significativa dos seus vizinhos que permitem o acesso às demais localidades da cidade.

Para corrigir essa inconsistência, nós fizemos uma correção da matriz de tempo de viagem desses pontos problemáticos que se baseia na matriz de seus vizinhos. O primeiro passo dessa correção exige identificar os pontos problemáticos. Para isso, nós calculamos quantos

hexágonos cada hexágono de origem consegue acessar em até 90 minutos de viagem por bicicleta (um modo comum a todas as cidades). Sendo este um tempo limite alto, espera-se que, em condições normais, um número considerável de hexágonos seja acessado a partir de cada origem. Assim, nós definimos como problemáticas as origens que não conseguem acessar mais do que 20 hexágonos, um ponto de corte arbitrário e deliberadamente baixo. Para cada um desses pontos problemáticos, nós corrigimos sua matriz de tempo de viagem com base nos seus 6 vizinhos imediatos. Para isso, nós substituímos os tempos de viagem dos pontos problemáticos pela média dos tempos de viagem dos seus 6 vizinhos a todos os demais hexágonos da cidade.

### 4.3. Cálculo dos indicadores de acessibilidade

Diversos indicadores buscam traduzir o conceito de acessibilidade em uma medida quantitativa que possa ser utilizada no planejamento de sistemas de transporte e de uso do solo. A opção por utilizar uma medida em lugar das demais passa por critérios que levam em consideração sua facilidade de operacionalização, interpretação e comunicação (Geurs & van Wee, 2004; Miller, 2018). Em nosso projeto, nós optamos por utilizar três diferentes métricas: o tempo mínimo de viagem até um determinado tipo de atividade, uma medida cumulativa ativa e uma medida cumulativa passiva. Essas medidas são descritas a seguir.

- Tempo mínimo de viagem

Uma das métricas de acessibilidade mais simples, esta medida estima o tempo mínimo necessário para alcançar um tipo de atividade e é descrita conforme a Equação 1.

$$TMI_{io} = \min(t_{ij}) \forall j \text{ onde } O_j > 0 \quad (1)$$

Onde:

$TMI_{io}$  é o tempo mínimo de viagem da origem  $i$  até a oportunidade de tipo  $o$ ;

$t_{ij}$  é o tempo de viagem entre a origem  $i$  e o destino  $j$ ; e

$O_j$  é o número de oportunidades do tipo  $o$  no destino  $j$ .

- Medida cumulativa ativa

A medida de acessibilidade mais amplamente utilizada na literatura de planejamento de transportes, também é conhecida por medida de oportunidades cumulativas. Pode ser entendida como o número de oportunidades que podem ser alcançadas a partir de uma determinada origem dentro de um limite de tempo de viagem, como apresentado nas

Equações 2 e 3.

$$CA_{io} = \sum_{j=1}^n O_j \times f(t_{ij}) \quad (2)$$

$$f(t_{ij}) = 1, \text{ se } t_{ij} \leq T; 0, \text{ se } t_{ij} > T \quad (3)$$

Onde:

$CA_{io}$  é acessibilidade cumulativa ativa a partir da origem  $i$  a oportunidades do tipo  $o$ ;

$n$  é o total de destinos na área de estudo;

$O_j$  é o número de oportunidades do tipo  $o$  no destino  $j$ ;

$t_{ij}$  é o tempo de viagem entre a origem  $i$  e o destino  $j$ ;

$T$  é o limite de tempo de viagem; e

$f(t_{ij})$  é uma função binária que assume os valores de 0 ou 1, dependendo do tempo de viagem.

- Medida cumulativa passiva

Análoga à medida cumulativa ativa, mas tendo o destino como ponto de vista: um determinado destino consegue ser acessado por quantas pessoas dentro de um limite de tempo de viagem. É descrita conforme a Equação 4.

$$CP_j = \sum_{i=1}^n P_i \times f(t_{ij}) \quad (4)$$

Onde:

$CP_j$  é acessibilidade cumulativa passiva do destino  $j$ ;

$n$  é o total de destinos na área de estudo;

$P_i$  é o número de pessoas na origem  $i$ ;

$t_{ij}$  é o tempo de viagem entre a origem  $i$  e o destino  $j$ ; e

$f(t_{ij})$  é uma função binária que assume os valores de 0 ou 1, dependendo do tempo de viagem, descrita na Equação 3.

## 5. DISPONIBILIZAÇÃO DA BASE DE DADOS

As bases de dados estão disponibilizadas publicamente para download no site do Projeto Acesso a Oportunidades<sup>13</sup>, e também por meio do pacote de R *aopdata*<sup>14</sup>. A função `read_access()` permite fazer o download dos dados de acessibilidade das 20 maiores cidades do Brasil, analisadas no projeto (Código 1).

---

<sup>13</sup> Disponível em <https://www.ipea.gov.br/acessoopportunidades>.

<sup>14</sup> Mais informações em <https://github.com/ipeaGIT/aopdata>.

### **Código 1. Download dos dados de acessibilidade cumulativa e tempo mínimo de viagem até a oportunidade mais próxima.**

```
# carregar biblioteca
library(aopdata)

# download dos dados de São Paulo
df_spo <- read_access(city="Sao Paulo", mode='public_transport', peak=TRUE, year=2019)

# download de todas as cidades
df_all <- read_access(city="all", mode='public_transport', peak=TRUE, year=2019)
```

O dicionário de dados de acessibilidade pode ser acessado por meio da linha de comando ou a partir de um link para o site do pacote. O dicionário contém o nome de cada uma das colunas com as estimativas de acessibilidade e permite distinguir, por exemplo, as colunas com informações de acessibilidade a escolas por nível de ensino e a equipamentos de saúde por nível de complexidade, considerando diferentes tempos de viagem. Pela linha de comando, ele pode ser acessado com os comandos `help(read_access)` ou `?read_access`. O dicionário também pode ser encontrado online no link << <https://ipeagit.github.io/aopdata/index.html> >>.

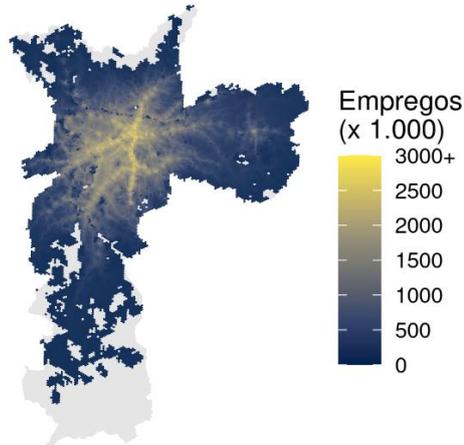
A função `read_access()` possui um parâmetro chamado `geometry`. Quando o usuário executa essa função com o parâmetro `geometry = TRUE`, seu resultado vem acompanhado das informações espaciais da geometria da grade de hexágonos H3, o que permite a criação de mapas para visualizar a distribuição espacial dos dados. A Figura 2 apresenta os mapas de diferentes indicadores de acessibilidade por modo de transporte e tipo de atividades na cidade de São Paulo.

### **Código 2. Download dos dados de acessibilidade com geometria dos polígonos H3.**

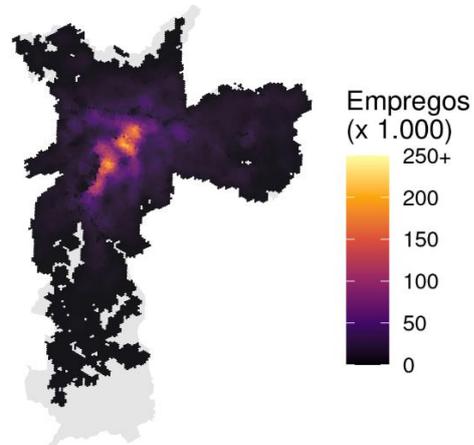
```
# download dos dados de São Paulo
df_spo <- read_access(city="Sao Paulo", mode='public_transport', peak=TRUE, year=2019,
geometry = TRUE)
```

**Figura 2. Mapa de indicadores de acessibilidade a empregos, saúde, educação e CRAS na cidade de São Paulo, em 2019.<sup>15</sup>**

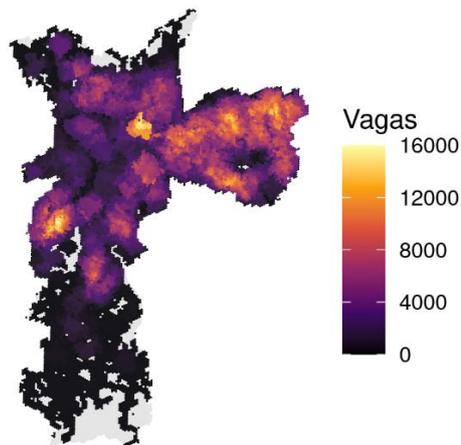
Empregos acessíveis em até 60 minutos de viagem por transporte público



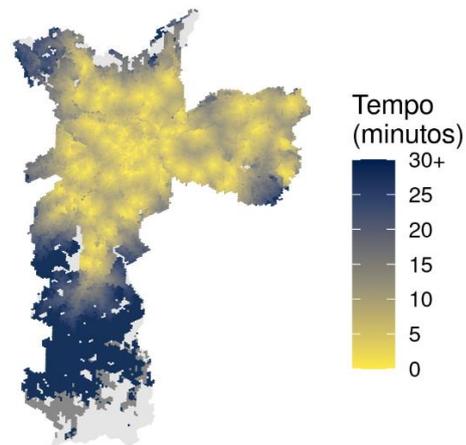
Empregos acessíveis em até 30 minutos de caminhada



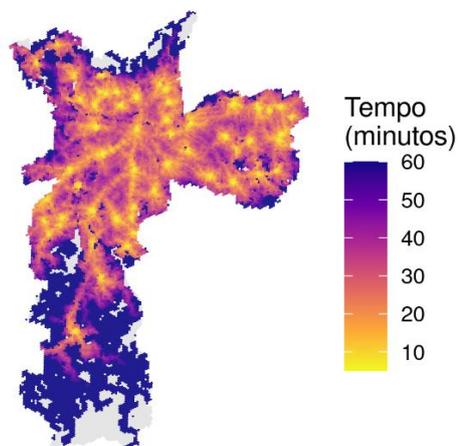
Vagas de ensino médio em até 30 minutos de viagem de bicicleta



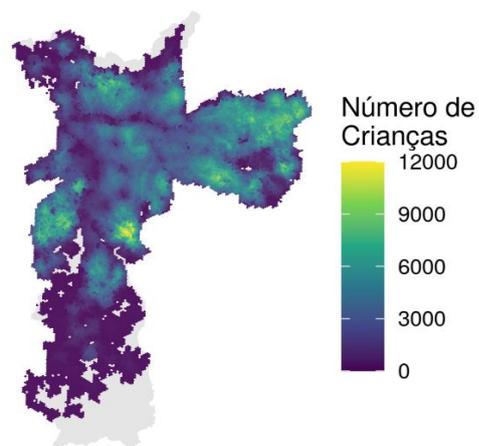
Tempo de viagem até o hospital mais próximo de carro



CRAS mais próximo por transporte público



Crianças de 0 a 5 anos de idade em até 30 minutos de caminhada



<sup>15</sup> Código para reproduzir figura em R disponível em <<[https://github.com/ipeaGIT/aopdata/tree/main/papers/td\\_uso\\_do\\_solo2022](https://github.com/ipeaGIT/aopdata/tree/main/papers/td_uso_do_solo2022)>>

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho nós apresentamos uma nova base de dados pública, com diversas estimativas de acesso a oportunidades de empregos, serviços de educação, saúde e assistência social por modo de transporte e em alta resolução espacial para as 20 maiores cidades do Brasil. Os métodos utilizados no desenvolvimento da base, bem como suas limitações, também foram descritos. Esses dados estão disponíveis para *download* no site do Projeto Acesso a Oportunidades, e também podem ser baixados por meio do pacote de R *aopdata*.

Na atual versão, a base de dados inclui estimativas de acessibilidade considerando as características dos sistemas de transporte e a distribuição espacial de atividades econômicas e de serviços públicos nos anos de 2017, 2018 e 2019. Essa base, no entanto, poderá ser expandida e aprimorada em edições futuras com a atualização de resultados para outros anos. É possível também incluir tanto estimativas que usam novos indicadores de acessibilidade (como medidas gravitacionais ou indicadores que consideram competição) quanto estimativas de acesso a outros tipos de oportunidade, como áreas verdes e atividades culturais (bibliotecas, teatros, museus, cinemas, etc.). A base também pode ser expandida de forma a incluir um maior número de cidades, o que depende, em grande medida, de prefeituras compartilharem seus dados de transporte público em formato GTFS. Para uma agenda de pesquisa de mais longo prazo, é importante incorporar ao Projeto Acesso a Oportunidades estimativas de acessibilidade que levem em consideração informações das velocidades de fato praticadas pelo transporte público (por exemplo com dados de GPS e GTFS Realtime) e dos custo monetário das viagens.

Por ora, este trabalho visa contribuir com a criação e divulgação desta base pública. Esperamos que essa iniciativa facilite o acesso de pesquisadores e gestores públicos a esses dados, conseqüentemente incentivando o uso de dados de alta qualidade no processo de tomada de decisões de planejamento e política públicas.

## REFERÊNCIAS

- Allen, J., & Farber, S. (2018). *Generating measures of access to employment for Canada's eight largest urban regions*. SocArXiv. <https://doi.org/10.31235/osf.io/pvrd9>
- Andrade, B. R., Loureiro, C. F. G., Sousa, F. F. L. de M., & Lopes, A. S. (2020). Efeitos da periferação nos níveis de acessibilidade aos empregos da população de baixa renda em Fortaleza. *TRANSPORTES*, 28(3), 46–60. <https://doi.org/10.14295/transportes.v28i3.1810>
- Arbex, R., & Cunha, C. B. (2020). Estimating the influence of crowding and travel time variability on accessibility to jobs in a large public transport network using smart card big data. *Journal of Transport Geography*, 85, 102671. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2020.102671>
- Arbex, R. O., Alves, B. B., & Giannotti, M. A. (2016). Comparing Accessibility in Urban Slums Using Smart Card and Bus GPS Data. *TRB 95th Annual Meeting Compendium of Papers*. Transportation Research Board 95th Annual Meeting. </view.aspx?id=1394074>
- Banister, D. (2011). The trilogy of distance, speed and time. *Journal of Transport Geography*, 19(4), 950–959. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2010.12.004>
- Barboza, M. H. C., Carneiro, M. S., Falavigna, C., Luz, G., & Orrico, R. (2021). Balancing time: Using a new accessibility measure in Rio de Janeiro. *Journal of Transport Geography*, 90, 102924. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2020.102924>
- Benevenuto, R. G., Azevedo, I. C. C., & Caulfield, B. (2019). Assessing the spatial burden in health care accessibility of low-income families in rural Northeast Brazil. *Journal of Transport & Health*, 14, 100595. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2019.100595>
- Birch, C. P. D., Oom, S. P., & Beecham, J. A. (2007). Rectangular and hexagonal grids used for observation, experiment and simulation in ecology. *Ecological Modelling*, 206(3), 347–359. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.03.041>
- Bittencourt, T. A., & Giannotti, M. (2021). The unequal impacts of time, cost and transfer accessibility on cities, classes and races. *Cities*, 116, 103257. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103257>
- Bittencourt, T. A., Giannotti, M., & Marques, E. (2020). Cumulative (and self-reinforcing) spatial inequalities: Interactions between accessibility and segregation in four Brazilian metropolises. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 2399808320958426. <https://doi.org/10.1177/2399808320958426>
- Boisjoly, G., & El-Geneidy, A. M. (2017). How to get there? A critical assessment of accessibility objectives and indicators in metropolitan transportation plans. *Transport Policy*, 55, 38–50. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2016.12.011>
- Boisjoly, G., Moreno-Monroy, A. I., & El-Geneidy, A. (2017). Informality and accessibility to jobs by public transit: Evidence from the São Paulo Metropolitan Region. *Journal of Transport Geography*, 64, 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2017.08.005>
- Boisjoly, G., Serra, B., Oliveira, G. T., & El-Geneidy, A. (2020). Accessibility measurements in São Paulo, Rio de Janeiro, Curitiba and Recife, Brazil. *Journal of Transport Geography*, 82, 102551. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.102551>
- Braga, C. K. V., Loureiro, C. F. G., & Pereira, R. H. M. (2019). *Analisando a Variabilidade de Estimativas de Acessibilidade por Transporte Público a Partir de Dados de GPS* [Preprint]. Open Science Framework. <https://doi.org/10.31219/osf.io/fyhpc>
- Carneiro, M., Toledo, J., Aurélio, M., Orrico, R., Carneiro, M., Toledo, J., Aurélio, M., & Orrico, R. (2019). Espreadimento urbano e exclusão social. Uma análise da acessibilidade dos moradores da cidade do Rio de Janeiro ao mercado de trabalho.

- EURE* (Santiago), 45(136), 51–70. <https://doi.org/10.4067/S0250-71612019000300051>
- Cass, N., Shove, E., & Urry, J. (2005). Social exclusion, mobility and access. *The Sociological Review*, 53(3), 539–555. <https://doi.org/10.1111/j.1467-954X.2005.00565.x>
- Cavalcante, C. B., Lopes, A. S., Capasso, M. M., & Loureiro, C. F. G. (2020). Análise dos planos diretores de Fortaleza sob o paradigma do planejamento da acessibilidade e mobilidade da Urbe Sustentável. *urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 12. <http://www.scielo.br/j/urbe/a/SNJpNNnQc5hn6dGS4sX9FmL/abstract/?lang=pt>
- Cerqueira, E. V. (2017). Les inégalités d'accès aux ressources urbaines dans les franges périphériques de Belo Horizonte (Brésil): Quelles évolutions? *EchoGéo*, 39, Article 39. <https://doi.org/10.4000/echogeo.14856>
- Cherry, C., & Cervero, R. (2007). Use characteristics and mode choice behavior of electric bike users in China. *Transport Policy*, 14(3), 247–257. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2007.02.005>
- Conway, M. W., Byrd, A., & van der Linden, M. (2017). Evidence-Based Transit and Land Use Sketch Planning Using Interactive Accessibility Methods on Combined Schedule and Headway-Based Networks. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2653, 45–53. <https://doi.org/10.3141/2653-06>
- Costa, C., Ha, J., & Lee, S. (2021). Spatial disparity of income-weighted accessibility in Brazilian Cities: Application of a Google Maps API. *Journal of Transport Geography*, 90, 102905. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2020.102905>
- Duim, E., Lebrão, M. L., & Antunes, J. L. F. (2017). Walking speed of older people and pedestrian crossing time. *Journal of Transport & Health*, 5, 70–76. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2017.02.001>
- Fitzpatrick, K., Brewer, M. A., & Turner, S. (2006). Another Look at Pedestrian Walking Speed. *Transportation Research Record*, 1982(1), 21–29. <https://doi.org/10.1177/0361198106198200104>
- Freire, R. M. C., Loureiro, C. F. G., Lopes, A. S., & Sousa, F. F. L. de M. (2019). Avaliação dos impactos do metrô na acessibilidade da população de baixa renda aos postos de trabalho em Fortaleza. *TRANSPORTES*, 27(3), 144–156. <https://doi.org/10.14295/transportes.v27i3.2022>
- Geurs, K., & van Wee, B. (2004). Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: Review and research directions. *Journal of Transport Geography*, 12(2), 127–140. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2003.10.005>
- Giannotti, M., Barros, J., Tomasiello, D. B., Smith, D., Pizzol, B., Santos, B. M., Zhong, C., Shen, Y., Marques, E., & Batty, M. (2020). Inequalities in transit accessibility: Contributions from a comparative study between Global South and North metropolitan regions. *Cities*, 103016. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.103016>
- Guimarães, T., Lucas, K., & Timms, P. (2019). Understanding how low-income communities gain access to healthcare services: A qualitative study in São Paulo, Brazil. *Journal of Transport & Health*, 15, 100658. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2019.100658>
- Hamidi, Z., Camporeale, R., & Caggiani, L. (2019). Inequalities in access to bike-and-ride opportunities: Findings for the city of Malmö. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 130, 673–688. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.09.062>
- Herszenhut, D., Pereira, R. H. M., Portugal, L. da S., & Oliveira, M. H. de S. (2022). The impact of transit monetary costs on transport inequality. *Journal of Transport Geography*, 99, 103309. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2022.103309>
- Humberto, M., Pizzol, B., Moura, F., Giannotti, M., & Lucca-Silveira, M. P. de. (2020). Investigating the Mobility Capabilities and Functionings in Accessing Schools Through Walking: A Quantitative Assessment of Public and Private Schools in São Paulo

- (Brazil). *Journal of Human Development and Capabilities*, 0(0), 1–22. <https://doi.org/10.1080/19452829.2020.1745163>
- Kinigadner, J., & Büttner, B. (2021). How accessibility instruments contribute to a low carbon mobility transition: Lessons from planning practice in the Munich region. *Transport Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2021.07.019>
- Langford, B. C., Chen, J., & Cherry, C. R. (2015). Risky riding: Naturalistic methods comparing safety behavior from conventional bicycle riders and electric bike riders. *Accident Analysis & Prevention*, 82, 220–226. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.05.016>
- Langton, S. H., & Solymosi, R. (2021). Cartograms, hexograms and regular grids: Minimising misrepresentation in spatial data visualisations. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 48(2), 348–357. <https://doi.org/10.1177/2399808319873923>
- Levinson, D., & King, D. (2020). *Transport Access Manual: A Guide for Measuring Connection between People and Places*. <https://ses.library.usyd.edu.au/handle/2123/23733>
- Liang, H., Chen, D., & Zhang, Q. (2017). Walking accessibility of urban parks in a compact megacity. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Urban Design and Planning*, 170(2), 59–71. <https://doi.org/10.1680/jurdp.16.00030>
- Liao, Y., Gil, J., Pereira, R. H. M., Yeh, S., & Verendel, V. (2020). Disparities in travel times between car and transit: Spatiotemporal patterns in cities. *Scientific Reports*, 10(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61077-0>
- Lima, L. S., Loureiro, C. F. G., Sousa, F. F. L. de M., & Lopes, A. S. (2021). Espraçamento urbano e seus impactos nas desigualdades socioespaciais da acessibilidade ao trabalho em Fortaleza. *TRANSPORTES*, 29(1), 229–246. <https://doi.org/10.14295/transportes.v29i1.2348>
- Lucas, K. (2019). A new evolution for transport-related social exclusion research? *Journal of Transport Geography*, 81, 102529. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.102529>
- Luz, G., Barboza, M. H. C., Portugal, L. da S., Giannotti, M., & Wee, B. van. (2022). Does better accessibility help to reduce social exclusion? Evidence from the City of São Paulo, Brazil. SocArXiv. <https://doi.org/10.31235/osf.io/2p896>
- Luz, G., & Portugal, L. (2021). Understanding transport-related social exclusion through the lens of capabilities approach. *Transport Reviews*. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01441647.2021.2005183>
- Macedo, J., & Haddad, M. A. (2016). Equitable distribution of open space: Using spatial analysis to evaluate urban parks in Curitiba, Brazil. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 43(6), 1096–1117. <https://doi.org/10.1177/0265813515603369>
- Martens, K., & Ciommo, F. D. (2017). Travel time savings, accessibility gains and equity effects in cost–benefit analysis. *Transport Reviews*, 37(2), 152–169. <https://doi.org/10.1080/01441647.2016.1276642>
- McNeil, N. (2011). Bikeability and the 20-min Neighborhood: How Infrastructure and Destinations Influence Bicycle Accessibility. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2247(1), 53–63. <https://doi.org/10.3141/2247-07>
- Mekuria, M., Furth, P., & Nixon, H. (2012). *Low-Stress Bicycling and Network Connectivity (CA-MTI-12-1005)*. Mineta Transportation Institute. <https://transweb.sjsu.edu/research/Low-Stress-Bicycling-and-Network-Connectivity>
- Miller, E. J. (2018). Accessibility: Measurement and application in transportation planning. *Transport Reviews*, 38(5), 551–555. <https://doi.org/10.1080/01441647.2018.1492778>
- Millward, H., Spinney, J., & Scott, D. (2013). Active-transport walking behavior: Destinations,

- durations, distances. *Journal of Transport Geography*, 28, 101–110. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.11.012>
- Moreno-Monroy, A. I., Lovelace, R., & Ramos, F. R. (2018). Public transport and school location impacts on educational inequalities: Insights from São Paulo. *Journal of Transport Geography*, 67, 110–118. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2017.08.012>
- NASA JPL. (2013). NASA Shuttle Radar Topography Mission Global 1 arc second [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. <https://doi.org/10.5067/MEaSUREs/SRTM/SRTMGL1.003>
- Neutens, T., Schwanen, T., Witlox, F., & Maeyer, P. D. (2010). Equity of urban service delivery: A comparison of different accessibility measures. *Environment and Planning A*, 42(7), 1613–1635. <https://doi.org/10.1068/a4230>
- Novaes, R. D., Miranda, A. S., & Dourado, V. Z. (2011). Velocidade usual da marcha em brasileiros de meia idade e idosos. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 15, 117–122. <https://doi.org/10.1590/S1413-35552011000200006>
- Oliveira, R. L. M. de, Garcia, C. S. H. F., & Góes Pinto, P. H. (2020). Accessibility to Food Retailers: The Case of Belo Horizonte, Brazil. *Sustainability*, 12(7), 2654. <https://doi.org/10.3390/su12072654>
- Pacheco, T. S. (2019). *Moradia, localização e o programa habitacional “Minha Casa Minha Vida” no município do Rio de Janeiro* [FGV]. <http://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/27253>
- Papa, E., & Bertolini, L. (2015). Accessibility and Transit-Oriented Development in European metropolitan areas. *Journal of Transport Geography*, 47, 70–83. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2015.07.003>
- Pereira, R. H. M. (2018). Transport legacy of mega-events and the redistribution of accessibility to urban destinations. *Cities*, 81, 45–60. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.03.013>
- Pereira, R. H. M. (2019). Future accessibility impacts of transport policy scenarios: Equity and sensitivity to travel time thresholds for Bus Rapid Transit expansion in Rio de Janeiro. *Journal of Transport Geography*, 74, 321–332. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.12.005>
- Pereira, R. H. M., Banister, D., Schwanen, T., & Wessel, N. (2019). Distributional effects of transport policies on inequalities in access to opportunities in Rio de Janeiro. *Journal of Transport and Land Use*, 12(1). <https://doi.org/10.5198/jtlu.2019.1523>
- Pereira, R. H. M., & Braga, C. K. V. (2021). *As Condições de acessibilidade urbana dos terrenos vazios da União nos centros urbanos* [Nota Técnica n. 24 Dirur]. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/10571>
- Pereira, R. H. M., Braga, C. K. V., Herszenhut, D., Bazzo, J. P., Oliveira, J. L. A., Parga, J. P., Saraiva, M., Silva, L. P., Tomasiello, D. B., & Warwar, L. (2022). *Distribuição espacial de características sociodemográficas e localização de empregos e serviços públicos das 20 maiores cidades do Brasil* (NNNN; Texto para Discussão IPEA). Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - Ipea.
- Pereira, R. H. M., Braga, C. K. V., Serra, B., Nadalin, V., & Nadalin, V. (2019). *Desigualdades socioespaciais de acesso a oportunidades nas cidades brasileiras, 2019* (Texto para Discussão N° 2535). Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/9586>
- Pereira, R. H. M., Braga, C. K. V., Servo, L. M., Serra, B., Amaral, P., Gouveia, N., & Paez, A. (2021). Geographic access to COVID-19 healthcare in Brazil using a balanced float catchment area approach. *Social Science & Medicine*, 273, 113773. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2021.113773>

- Pereira, R. H. M., Braga, C. K. V., et al. (2022) Distribuição espacial de características sociodemográficas e localização de empregos e serviços públicos das vinte maiores cidades do Brasil. Texto para Discussão 2772. Ipea - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Disponível em <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/11225>
- Pereira, R. H. M., Herszenhut, D., & Braga, C. K. V. (2022). *aopdata: Data from the Access to Opportunities Project* (R package version 0.3.0) [R]. <https://cran.r-project.org/package=aopdata>
- Pereira, R. H. M., & Karner, A. (2021). Transportation equity. Em R. Vickerman, *International Encyclopedia of Transportation* (1st Edition, Vol. 1, p. 271–277). Elsevier. <https://www.elsevier.com/books/international-encyclopedia-of-transportation/vickerman/978-0-08-102671-7>
- Pereira, R. H. M., Saraiva, M., Herszenhut, D., Braga, C. K. V., & Conway, M. W. (2021). r5r: Rapid Realistic Routing on Multimodal Transport Networks with R<sup>5</sup> in R. *Transport Findings*, 21262. <https://doi.org/10.32866/001c.21262>
- Pizzol, B., Giannotti, M., & Tomasiello, D. B. (2021). Qualifying accessibility to education to investigate spatial equity. *Journal of Transport Geography*, 96, 103199. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2021.103199>
- Preston, J., & Rajé, F. (2007). Accessibility, mobility and transport-related social exclusion. *Journal of Transport Geography*, 15(3), 151–160. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2006.05.002>
- Pritchard, J. P., Stępnia, M., & Geurs, K. T. (2019). Equity analysis of dynamic bike-and-ride accessibility in the Netherlands. Em *Measuring Transport Equity* (p. 73–83). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814818-1.00005-6>
- Pritchard, J. P., Tomasiello, D. B., Giannotti, M., & Geurs, K. (2019). Potential impacts of bike-and-ride on job accessibility and spatial equity in São Paulo, Brazil. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 121, 386–400. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.01.022>
- Reyes, M., Páez, A., & Morency, C. (2014). Walking accessibility to urban parks by children: A case study of Montreal. *Landscape and Urban Planning*, 125, 38–47. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.02.002>
- Rocha, T. A. H., da Silva, N. C., Amaral, P. V., Barbosa, A. C. Q., Rocha, J. V. M., Alvares, V., de Almeida, D. G., Thumé, E., Thomaz, E. B. A. F., de Sousa Queiroz, R. C., de Souza, M. R., Lein, A., Lopes, D. P., Staton, C. A., Vissoci, J. R. N., & Facchini, L. A. (2017). Addressing geographic access barriers to emergency care services: A national ecologic study of hospitals in Brazil. *International Journal for Equity in Health*, 16(1), 149. <https://doi.org/10.1186/s12939-017-0645-4>
- Schleinitz, K., Petzoldt, T., Franke-Bartholdt, L., Krems, J., & Gehlert, T. (2017). The German Naturalistic Cycling Study – Comparing cycling speed of riders of different e-bikes and conventional bicycles. *Safety Science*, 92, 290–297. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.07.027>
- Silva, D. C. da, & Rodrigues da Silva, A. N. (2016). Acessibilidade estrutural na cidade de São Carlos, SP, Brasil. *Transportes*, 24(3), 64–71. <https://doi.org/10.14295/transportes.v24i3.1082>
- Slovic, A. D., Tomasiello, D. B., Giannotti, M., Andrade, M. de F., & Nardocci, A. C. (2019). The long road to achieving equity: Job accessibility restrictions and overlapping inequalities in the city of São Paulo. *Journal of Transport Geography*, 78, 181–193. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.06.003>
- Tobler, W. (1993). *Three presentations on geographical analysis and modeling: Non-isotropic geographic modeling speculations on the geometry of geography global spatial analysis* (Nº 93–1; p. 26). National center for geographic information and analysis,

University of California.

- Tomasiello, D. B., Giannotti, M., & Feitosa, F. F. (2020). ACCESS: An agent-based model to explore job accessibility inequalities. *Computers, Environment and Urban Systems*, *81*, 101462. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2020.101462>
- Turbay, A. L. B., Pereira, R. H. M., & Firmino, R. (2022). *The equity implications of TOD in Curitiba*. SocArXiv. <https://doi.org/10.31235/osf.io/cj87q>
- van Wee, B. (2016). Accessible accessibility research challenges. *Journal of Transport Geography*, *51*, 9–16. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2015.10.018>
- van Wee, B., & Geurs, K. (2011). Discussing equity and social exclusion in accessibility evaluations. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, *11*(4). [http://www.ejtir.tbm.tudelft.nl/issues/2011\\_04/abstracts/2011\\_04\\_01.asp](http://www.ejtir.tbm.tudelft.nl/issues/2011_04/abstracts/2011_04_01.asp)
- Wu, H., Avner, P., Boisjoly, G., Braga, C. K. V., El-Geneidy, A., Huang, J., Kerzhner, T., Murphy, B., Niedzielski, M. A., Pereira, R. H. M., Pritchard, J. P., Stewart, A., Wang, J., & Levinson, D. (2021). Urban access across the globe: An international comparison of different transport modes. *Npj Urban Sustainability*, *1*(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s42949-021-00020-2>
- Zuo, T., Wei, H., Chen, N., & Zhang, C. (2020). First-and-last mile solution via bicycling to improving transit accessibility and advancing transportation equity. *Cities*, *99*, 102614. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.102614>

## APÊNDICE A

### MODIFICAÇÕES FEITAS NOS ARQUIVOS GTFS

**GTFS São Paulo:** Foi confirmado junto à CPTM e METRÔ que algumas linhas estavam com informações incorretas de frequência e velocidade. As agências forneceram as informações corretas, e estas foram devidamente implementadas no GTFS dos anos de 2017 a 2019. A Tabela A1, abaixo, mostra as correções de frequência que foram realizadas para linhas da CPTM.

**Tabela A1: Lista de correções de frequência realizadas para linhas da CPTM.**

Linha (0 = ida, 1 = volta)	Headway (em segundos) no pico manhã
CPTM L07-0	660 (2017 e 2018)
	802 (2019)
CPTM L07-1	360
CPTM L08-0	1800
CPTM L08-1	300
CPTM L09-0	240
CPTM L09-1	240
CPTM L10-0	300
CPTM L10-1	300
CPTM L11-0	240
CPTM L11-1	240
CPTM L12-0	360
CPTM L12-1	360
CPTM L13-0	1200
CPTM L13-1	1200

Ainda, foram feitas correções de velocidade para as linhas L07 e L08 da CPTM e para as linhas L05 e L15 do Metrô. No caso das correções das linhas da CPTM, tabelas com os tempos de viagem em cada trecho das linhas foram enviadas, e esses tempos foram utilizados para substituir os tempos originais no GTFS. No caso das linhas do Metrô, a velocidade operacional de 37 km/h foi utilizada para calcular o tempo de viagem em cada trecho, em seguida sendo feita a substituição no GTFS.

**GTFS Rio de Janeiro:** Os arquivos GTFS de 2017 referentes à cidade do Rio de Janeiro foram descartados. Durante uma fase de investigação dos arquivos, nós identificamos que a oferta de serviços nos GTFS de 2017 era muito menor do que nos GTFS de 2018 e 2019, refletindo em níveis de acessibilidade muito maiores nesses anos em comparação ao primeiro. A magnitude dessa diferença, no entanto, não poderia ser explicada pela diminuição na oferta de serviços ou por mudanças no sistema de transporte público da cidade como um todo, pois não houveram entre esses anos mudanças que justificassem tal diferença. Os arquivos foram descartados, portanto, por terem sido identificados como não representativos do sistema de transporte público vigente naquele ano.

Além disso, diversas inconsistências foram observadas nas viagens da Linha 1 e Linha 4 do metrô da cidade nos anos de 2018 e 2019. Em primeiro lugar, os arquivos GTFS apresentavam versões duplicadas de viagens que percorriam as estações da Linha 4. Esta redundância foi tratada de forma a manter apenas um registro de viagem por estação. Adicionalmente, diversas estações da Linha 1 estavam sendo omitidas: no sentido Jardim Oceânico, não foram listadas as estações Uruguai, Saens Peña, Central, Glória, Catete, Flamengo e General Osório, e no sentido Uruguai a estação General Osório também não foi listada. Por fim, o tempo de chegada e saída em cada estação estava descrito de forma que a velocidade operacional da linha era de aproximadamente 14 km/h, muito abaixo da velocidade de operação real do metrô.

Para corrigir todos esses erros, nós decidimos substituir os registros relacionados a essas linhas pelos registros referentes às mesmas linhas descritos no arquivo GTFS de Outubro de 2017. A operação do metrô neste ano era muito similar à dos anos analisados, porém a Linha 4 ainda operava de forma segregada à Linha 1, e não de forma sequencial, com ligação direta entre as estações General Osório e Nossa Senhora da Paz, como já acontecia em 2018 e 2019. Nós fizemos também, portanto, uma pequena edição nesses registros para que os nossos arquivos GTFS refletissem essa mudança. O processo de tratamento elevou a velocidade operacional das linhas 1

e 4 para aproximadamente 32 km/h, valor próximo do listado nos arquivos antigos e mais alinhado às velocidades de fato praticadas pelo metrô.

Nós também observamos que todas as viagens de VLT dos arquivos de 2018 e 2019 estavam alocadas apenas nos sábados, embora o VLT já operasse normalmente durante a semana nesses anos. Os arquivos GTFS descreviam, ao total, 6 diferentes viagens de VLT (3 rotas distintas operando em 2 direções), sem fazer distinção entre as que deveriam operar durante a semana e as que deveriam operar no fim de semana. Todas as viagens apresentavam um headway de 15 minutos, o que, na experiência dos autores, se aproximava ao headway praticado nos dias de semana à época. A solução escolhida, portanto, foi alocar todas as viagens para os dias de semana, mantendo os serviços operantes também aos sábados.