

Universidade Federal de Juiz de Fora  
Instituto de Ciências Exatas  
Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação

**Felipe Rooke da Silva**

**Caracterizando Sistemas de Compartilhamento de Veículos**

Juiz de Fora

2019

**Felipe Rooke da Silva**

**Caracterizando Sistemas de Compartilhamento de Veículos**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

Orientador: Alex Borges Vieira

Coorientador: Jussara M. Almeida

Juiz de Fora

2019

Ficha catalográfica elaborada através do Modelo Latex do CDC da UFJF  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Rooke, Felipe.

Caracterizando Sistemas de Compartilhamento de Veículos / Felipe  
Rooke da Silva. – 2019.

57 f. : il.

Orientador: Alex Borges Vieira

Coorientador: Jussara M. Almeida

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto  
de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação  
, 2019.

1. Caracterização. 2. Compartilhamento de Veículos. 3. Uma via, duas  
vias e flutuante. I. Rooke, Alex Borges Vieira, orient. II. Rooke, Jussara M.  
Almeida, coorient. III. Título.

**Felipe Rooke da Silva**

**Caracterizando Sistemas de Compartilhamento de Veículos**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

Aprovada em:

**BANCA EXAMINADORA**

---

Professor Dr. Alex Borges Vieira - Orientador  
Universidade Federal de Juiz de Fora

---

Professor Dr. Jussara M. Almeida - Coorientador  
Universidade Federal de Minas Gerais

---

Professor Dr. Idilio Drago  
Politecnico di Torino

---

Professor Dr. Heder Soares Bernardino  
Universidade Federal de Juiz de Fora



## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiro, aos meus pais, José Aloísio e Cláudia, que sempre batalharam, acreditaram em mim e me incentivaram a estudar. Agradeço também a minha companheira, Patrícia, por ter tido paciência nos meus longos períodos de ausências e por toda a compreensão e afago. Obrigado Alex, sua orientação e experiência foram primordiais. Gostei muito do trabalho realizado, iniciamos como aluno e professor, e agora o tenho muito mais como um bom amigo. Obrigado Jussara, apesar de ter participado a distância, seu olhar foi muito importante nos trabalhos realizados até aqui. Não posso deixar de mencionar aqui o Victor, aluno de graduação, que desde o início do projeto foi correspondendo as expectativas e tarefas depositadas sobre ele e me ajudou em boa parte do trabalho realizado, um grande futuro o aguarda, obrigado. Obrigado também aos meus companheiros de trabalho do NTI e do CGCO, que absorveram um pouco mais de tarefas e me cobriram enquanto estava enrolado com a pesquisa. Obrigado aos meus companheiros de laboratório, Alexandre, Ana, Lucas, Luiz pelos trabalhos juntos realizados e pelos momentos de descontração. Por fim, obrigado a todos os amigos e colegas que compreenderam minhas ausências e me incentivaram a cumprir esta etapa da minha formação.

## RESUMO

As interações humanas atuais e as dinâmicas que as compreendem estão altamente relacionadas às rotinas diárias da população no contexto do cotidiano urbano. Por exemplo, durante um dia, a infraestrutura de telecomunicações de uma cidade segue as dinâmicas espaciais e temporais de seus usuários, como no caso da rede de telefonia, que durante horários de expediente laboral são mais demandadas em regiões centrais de uma cidade. Nesse sentido, a compreensão da mobilidade nos espaços urbanos é útil para a criação de cidades mais inteligentes e sustentáveis. No entanto, obter dados sobre mobilidade urbana ainda é um desafio. Em muitos casos, apenas algumas empresas têm acesso a dados precisos e atualizados. Esses dados também são sensíveis à privacidade, o que torna sua aquisição ainda mais difícil. Assim, gerar modelos que podem ditar o comportamento humano em grandes centros urbanos é importante sob duas perspectivas: primeiro, permite pesquisas sobre o tema, sem a necessidade de aquisição de dados sensíveis; segundo, permite o desenvolvimento e teste de novos sistemas para cidades inteligentes.

Assim, neste trabalho, foram caracterizados três sistemas distintos de compartilhamento de veículos que operam em Vancouver (Canadá) e regiões próximas, reunindo dados por mais de um ano. Existem hoje, três modelos de operações desses serviços que são mais conhecidos: O modelo de duas vias, onde um usuário aluga um veículo em uma estação e deve devolvê-lo na mesma estação de origem; o modelo de uma via, onde um usuário retira um veículo de uma estação base e pode deixá-lo em qualquer outra; finalmente, o modelo flutuante, onde o usuário não está atrelado a estações e pode deixar o veículo em qualquer local público dentro de uma zona delimitada da cidade. Este estudo revela padrões de uso e demanda dos usuários desses serviços. Foram destacadas características comuns e as principais diferenças desses serviços. Finalmente, acredita-se que este estudo é útil para fornecer dados para gerar cargas de trabalho sintéticas mais realistas, contribuindo para a evolução desses sistemas e para um melhor planejamento urbano.

Palavras-chave: Mobilidade urbana. Cidades Inteligentes. Compartilhamento de veículos. Caracterização. Compartilhamento em duas vias. Compartilhamento em uma via. Compartilhamento flutuante.

## ABSTRACT

Human interactions and its dynamics are highly related to population daily routines on urban spaces. For example, during a day, the telecommunication infrastructure demands following the spatial and temporal dynamics of the city population. For example, for a day, the telecommunications infrastructure of a city follows the spatial and temporal dynamics of its users, as the phone network, that during work hours are more demanded in city central areas. In this sense, the understanding of the mobility on urban spaces is useful for the creation of smarter and sustainable cities. However, getting data about urban mobility is still a challenge. In many cases, only a few companies have access to accurate and updated data. These data are also privacy sensitive which turns its acquisition even harder. Therefore, generating models that represent human behavior in large urban centers is important from two perspectives: first, it allows research on the subject, without the need to acquire the sensitive data, second, it allows the development and testing of new systems for smart cities.

In this work, we characterize three distinct car-sharing systems which operate in Vancouver (Canada) and nearby regions, gathering data for more than one year. There are currently three best known models of these services: The two-way model, where a user rents a vehicle at a station and must return it at the same station of origin; The one-way model where a user pickup a vehicle from a base station and leaves it on any other; Finally, the free-floating model, where the user is not attached to stations and can leave the vehicle in any public place within a delimited area of the city. Our study uncovers patterns of users' habits and demands in these services. We highlight the common characteristics and the main differences of these services. Finally, we believe our study is useful to provide data for generating realistic synthetic workloads, also contributing to the evolution of these systems and to better urban planning.

Key-words: Urban mobility. Smart Cities. Car-sharing. Characterizing. Two-way. One-way. Free-floating

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Possíveis estados de um veículo em um sistema de compartilhamento de veículos. . . . .	16
Figura 2 – Possíveis <i>status</i> de um veículo durante a coleta do Modo. Em (a) uma situação normal de reserva e uso; (b) uma situação de cancelamento; (c) uma situação de reserva consecutiva. . . . .	23
Figura 3 – <i>Home Area</i> do serviço <i>Car2Go</i> sob a cidade de Vancouver e regiões vizinhas, figura retirada do site do serviço: <a href="https://www.car2go.com/CA/en/vancouver/where/">https://www.car2go.com/CA/en/vancouver/where/</a> . . . . .	28
Figura 4 – Média (e desvio padrão superior/inferior) minuto a minuto da porcentagem de veículos ocupados (linha azul) e reservados (linha vermelha), para dias de semana e finais de semana para o serviço de duas vias. . .	30
Figura 5 – Função de Distribuição Acumulada do Tempo de Ocupação de Veículos do <i>Modo</i> . . . . .	31
Figura 6 – Demanda espaço-temporal do serviço de duas vias <i>Modo</i> . . . . .	33
Figura 7 – Função de Distribuição Acumulada das distâncias entre as estações do <i>Modo</i> e as estações dos <i>SkyTrains</i> de Vancouver. . . . .	34
Figura 8 – Função de Distribuição Acumulada dos Tempos de Ocupação dos Veículos do Serviço de Duas Vias. . . . .	35
Figura 9 – Função de Distribuição Acumulada do Tempo de Ociosidade dos Veículos do Serviço de Duas Vias. . . . .	36
Figura 10 – Média (e desvio padrão superior/inferior) minuto a minuto da porcentagem de veículos ocupados (linha azul) e reservados (linha vermelha), para dias de semana e finais de semana para o serviço de uma via. . . .	37
Figura 11 – Função de Distribuição Acumulada do Tempo de Ocupação de Veículos do <i>Evo</i> . . . . .	39
Figura 12 – Demanda espaço-temporal do serviço de duas vias <i>Evo</i> . . . . .	40
Figura 13 – Função de Distribuição Acumulada das distâncias entre as origens das viagens do <i>Evo</i> e as estações dos <i>SkyTrains</i> de Vancouver. . . . .	41
Figura 14 – Demanda espaço-temporal do serviço de uma via <i>Evo</i> . . . . .	42
Figura 15 – Função de Distribuição Acumulada dos Tempos de Ocupação dos Veículos do Serviço de Uma Via. . . . .	43
Figura 16 – Função de Distribuição Acumulada do Tempo de Ociosidade dos Veículos do Serviço de Uma Via. . . . .	44
Figura 17 – Média (e desvio padrão superior/inferior) minuto a minuto da porcentagem de veículos ocupados (linha azul) e reservados (linha vermelha), para dias de semana e finais de semana para o serviço flutuante. . . . .	45
Figura 18 – Função de Distribuição Acumulada do Tempo de Ocupação de Veículos do <i>Car2Go</i> . . . . .	46

Figura 19 – Demanda espaço-temporal do serviço flutuante <i>Car2Go</i> . . . . .	47
Figura 20 – Função de Distribuição Acumulada das distâncias entre as origens das viagens do <i>Car2Go</i> e as estações dos <i>SkyTrains</i> de Vancouver. . . . .	48
Figura 21 – Demanda espaço-temporal do serviço flutuante <i>Car2Go</i> . . . . .	49
Figura 22 – Função de Distribuição Acumulada dos Tempos de Ocupação dos Veículos do Serviço Flutuante. . . . .	50
Figura 23 – Função de Distribuição Acumulada do Tempo de Ociosidade dos Veículos do Serviço Flutuante. . . . .	51

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO . . . . .</b>	<b>10</b>
1.1	CONTRIBUIÇÕES . . . . .	11
1.2	ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO . . . . .	12
<b>2</b>	<b>MODELOS DE COMPARTILHAMENTO DE VEÍCULOS . .</b>	<b>13</b>
2.1	COMPARTILHAMENTO DE VEÍCULOS DE DUAS VIAS ( <i>TWO-WAY</i> ) . . . . .	14
2.2	COMPARTILHAMENTO DE VEÍCULOS DE UMA VIA ( <i>ONE-WAY</i> ) . . . . .	14
2.3	COMPARTILHAMENTO DE VEÍCULOS FLUTUANTE ( <i>FREE - FLOATING</i> ) . . . . .	15
2.4	MODELO ABSTRATO DO USO DE UM VEÍCULO . . . . .	15
<b>3</b>	<b>TRABALHOS RELACIONADOS . . . . .</b>	<b>17</b>
<b>4</b>	<b>CONJUNTO DE DADOS E METODOLOGIA DE COLETA</b>	<b>21</b>
4.1	<i>MODO</i> . . . . .	22
4.2	<i>EVO</i> . . . . .	24
4.3	<i>CAR2GO</i> . . . . .	27
<b>5</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO E MODELO DOS SERVIÇOS DE COMPARTILHAMENTOS DE VEÍCULOS . . . . .</b>	<b>29</b>
5.1	<i>MODO</i> - UM SERVIÇO DE COMPARTILHAMENTO DE VEÍCULOS DE DUAS VIAS . . . . .	29
5.1.1	Características temporais . . . . .	29
5.1.2	Características espaço-temporais . . . . .	32
5.1.3	Características de utilização dos veículos . . . . .	33
5.2	<i>EVO</i> - UM SERVIÇO DE COMPARTILHAMENTO DE VEÍCULOS DE UMA VIA . . . . .	36
5.2.1	Características temporais . . . . .	36
5.2.2	Características espaço-temporais . . . . .	39
5.2.3	Características de utilização dos veículos . . . . .	41
5.3	<i>CAR2GO</i> - UM SERVIÇO DE COMPARTILHAMENTO DE VEÍCULOS FLUTUANTE . . . . .	44
5.3.1	Características temporais . . . . .	44
5.3.2	Características espaço-temporais . . . . .	47
5.3.3	Características de utilização dos veículos . . . . .	50
5.4	COMPARAÇÃO ENTRE OS MODELOS . . . . .	52

6	CONCLUSÕES . . . . .	54
	REFERÊNCIAS . . . . .	55

## 1 INTRODUÇÃO

A compreensão da mobilidade tem sido alvo de estudos e investimentos. Especificamente, a mobilidade urbana é uma área chave para pesquisas, e vem atraindo vários estudos acadêmicos e investimentos privados. Ela está fortemente ligada a uma gama de atividades urbanas, como por exemplo a demanda por recursos de comunicação. Além disso, a massificação dos dispositivos móveis tornou o acesso à rede ubíquo e centrado no usuário. Nesse sentido, compreender a mobilidade urbana, em específico a mobilidade no trânsito, é importante para uma série de tarefas, desde planejamento das malhas viárias aos recursos de comunicação (HERRERA et al., 2010; MA et al., 2013).

O primeiro passo para compreender padrões de mobilidade urbana é a obtenção de dados. Dados deste domínio de problema podem ser obtidos de diversas maneiras, como por exemplo, observando os veículos que passam por sensores ou radares fixos/móveis, por dados de câmeras de trânsito e, até mesmo, pela participação ativa dos usuários de transporte (*crowdsourcing*). Entretanto, a obtenção de dados sobre mobilidade é um desafio. Em muitos casos, poucas empresas têm acesso a dados acurados e atuais e, na maioria das vezes, esses dados são sensíveis com relação a privacidade (CIOCIOLA et al., 2017). Nesse sentido, é importante gerar modelos que possam representar os padrões de mobilidade urbana e suas interações sociais.

Atualmente, há vários meios de transporte alternativos que contribuem com a mobilidade urbana. Entre eles, sistemas de compartilhamento de veículos (*car-sharing*) têm recebido crescente atenção da comunidade acadêmica (BOLDRINI et al., 2016; CIOCIOLA et al., 2017; BECKER et al., 2017). Em um sistema de compartilhamento de veículos, pessoas podem agendar o uso de um veículo e realizar suas tarefas diárias, sem se preocupar com manutenção, estacionamento e até mesmo taxas relacionadas à posse de um veículo. Estes sistemas apresentam grande volume de usuários e podem ser representativos quanto aos padrões de mobilidade urbana. De fato, até 2015 foram contabilizados mais de 1,5 milhão de usuários e mais de 22 mil veículos compartilhados nas Américas, com previsão de crescimento (SHAHEEN, 2016).

Existem três principais modelos de negócio para operação de serviços de compartilhamento de veículos (NOURINEJAD, 2014): serviços de uma via (*one-way*), onde existem estações bases espalhadas em uma região e o usuário pode alugar um veículo em uma estação e deixá-lo em outra; serviços de duas vias (*two-way*), onde o usuário aluga um veículo e deve deixá-lo na mesma estação que o retirou e serviços flutuantes (*free-floating*), onde não há a necessidade de estações base e o usuário fica livre para alugar um veículo e deixá-lo em qualquer região de operação do serviço (BOLDRINI et al., 2016).

Estudos recentes abordaram serviços de uma via, mostrando características espaço-temporais de utilização, até então, pouco exploradas (BOLDRINI et al., 2016; BECKER



et al., 2017). Similarmente, características de grupos de usuários e padrões de utilização em serviços flutuantes também foram abordados (KOPP et al., 2015; CIOCIOLA et al., 2017). No entanto, para o melhor do nosso conhecimento, alguns poucos trabalhos recentes surgiram caracterizando aspectos de grupos de usuários (NAMAZU; DOWLATABADI, 2018; LEMPERT et al., 2018) e padrões de utilização (ROOKE et al., 2018, 2019) de serviços de duas vias, como é caso de estudos prévios a este trabalho. Além disso, até onde sabemos não existem estudos que consideram juntos os três tipos de serviços, analisando suas características comuns e destacando suas peculiaridades.

Neste trabalho, buscamos quais padrões e características podem ser identificados em sistemas de compartilhamento de veículos. Além disso, dado que existem três tipos diferentes de serviços, buscamos também identificar quais características se aplicam aos três tipos simultaneamente.

Consideramos os três tipos de modelos de compartilhamento de veículos, todos eles presentes em Vancouver (Canadá) e regiões próximas. Nossa caracterização conta com dados obtidos por mais de 1 ano dos serviços *Modo*, *Evo* e *Car2Go*, respectivamente duas vias, uma via e flutuante. Nós caracterizamos e apresentamos modelos estatísticos que regem os padrões de mobilidade urbana, a partir da visão dos padrões de demanda e uso de um sistema de compartilhamento de veículos.

## 1.1 CONTRIBUIÇÕES

Nossa primeira contribuição é prover a caracterização de três importantes serviços de compartilhamento de veículos. Nessa linha, caracterizamos aspectos temporais e espaciais dos serviços. Como segunda contribuição, modelamos a demanda de veículos, provendo distribuições estatísticas que descrevem períodos de ocupação e ociosidade, que podem ser explorados para planejamento urbano e de redes de comunicação.

Acreditamos que nosso estudo representa um passo importante para a compreensão de todos os tipos de uso de compartilhamento de veículos. Ajudamos a descobrir situações particulares em que esses serviços são atraentes e que, juntamente com dados de outros sistemas de transporte, também podem contribuir com a descoberta de tendências e padrões de mobilidade. Além disso, também acreditamos que os dados que fornecemos e os modelos que desenvolvemos, podem ser usados para a geração de cargas de trabalho sintéticas acuradas que, por sua vez, podem ser usadas como substrato para a simulação e projeto de novos sistemas. Como consequência, podemos contribuir para o desenvolvimento de melhores modelos de planejamento para sistemas de compartilhamento de veículos e também para um melhor planejamento de sistemas de transporte público.

Partes do trabalho desenvolvido nessa dissertação foram apresentados nos seguintes eventos: II Workshop de Computação Urbana (COURB), que ocorreu juntamente ao

XXXVI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC), sob o título “Caracterização de Padrões de Demanda e Uso de um Sistema de Compartilhamento de Veículos de Duas Vias”, no dia 07 de maio de 2018; *Workshop on Big Social Data and Urban Computing* (BiDU), que ocorreu juntamente ao *44<sup>th</sup> International Conference on Very Large Data Bases* (VLDB), sob o título “*Characterizing the client usage pattern and the service demand of a two-way car sharing system*” e que posteriormente foi publicado no periódico *Communications in Computer and Information Science*.

## 1.2 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

O restante deste trabalho está organizado da seguinte forma: o capítulo 2 descreve o funcionamento dos serviços de compartilhamento de veículos existentes e explicita detalhes de cada modelo; O capítulo 3 mostra uma análise sucinta de trabalhos relacionados ao nosso estudo. No capítulo 4 apresentamos os conjuntos de dados coletados e a metodologia usada na análise. No capítulo 5 mostramos os resultados de nossas análises dos dados e inferências obtidas com o estudo dos mesmos. Por fim, o capítulo 6 conclui o trabalho discutindo os resultados obtidos e indicando trabalhos futuros que consideramos pertinentes.

## 2 MODELOS DE COMPARTILHAMENTO DE VEÍCULOS

Os primeiros conceitos de sistemas de compartilhamento de veículos datam de 1948, embora os princípios básicos de tal serviço tenham se consolidado durante a década de 1970 (HARMS; TRUFFER, 1998). A ideia principal por trás desses sistemas é que uma frota de veículos possa ser compartilhada por vários usuários. Em outras palavras, é ter a possibilidade de dirigir um carro sempre que precisar, sem a necessidade de possuí-lo. Durante a segunda parte do século passado, a queda dos preços de veículos promoveu a motorização da população, fazendo com que o compartilhamento de veículos se tornasse menos atrativo.

Anos se passaram, e apenas no início da década de 1990, juntamente aos problemas emergentes de grandes centros urbanos, como os altos preços de combustíveis, congestionamentos, alta emissão de poluentes, a ideia do compartilhamento voltou a tomar fôlego (BECKER et al., 2017). Desde então, nos últimos 20 anos, o compartilhamento de veículos vem sendo alvo de estudos da academia (MILLARD-BALL, 2005). Vários problemas e análises sobre o tema vem sendo abordados, como por exemplo, estudo de impactos ambientais, impactos na dinâmica de transporte de centros urbanos (CERVERO; TSAI, 2004; SHAHEEN; CHAN, 2016) e até a melhoria dos próprios modelos de serviços (HUANG et al., 2018).

Entender a dinâmica desses serviços fornece informações valiosas sobre a maneira como as pessoas se deslocam nos centros urbanos. Essas informações dão subsídio para um planejamento urbano mais preciso e eficiente, indo desde o planejamento de tráfego, preocupações ambientais ao dimensionamento de infraestruturas de comunicação.

Atualmente, existem aplicativos de smartfone que permitem a utilização de sistemas de compartilhamento de veículos. De maneira geral, um usuário localiza e agenda um carro através do aplicativo, se desloca até ele, e realiza seu destrancamento também pelo smartfone. Alguns serviços, solicitam que o usuário inspecione o veículo, em busca de algum tipo de dano, antes de iniciar seu uso. Quando um usuário realiza o destrancamento de um veículo, seu aluguel começa a ser contabilizado. Após a utilização, o usuário deve retornar com o veículo a uma estação ou a um estacionamento público, a depender do modelo de negócio do serviço.

De forma ampla, existem dois modelos de negócios de compartilhamento de veículos: os baseados em estações e os flutuantes. Nos modelos baseados em estações, o usuário, para utilizar um veículo, deve se dirigir a um local específico onde se encontram os veículos. Já no modelo flutuante, os veículos não tem localização específica e se encontram espalhados por uma zona de atuação do serviço (*home zone*). Dentre os baseados em estações, existem ainda duas divisões: os serviços de uma via e os serviços de duas vias. A seguir, detalharemos esses modelos de negócios. Na Seção 2.1, apresentamos o modelo de duas

vias e detalhamos seu funcionamento. O modelo de uma via é apresentado na seção 2.2 e o modelo flutuante, na seção 2.3. Finalmente, na seção 2.4, apresentamos uma proposta de modelo abstrato que descreve os possíveis estados de um veículo em qualquer um dos três serviços de compartilhamento.

## 2.1 COMPARTILHAMENTO DE VEÍCULOS DE DUAS VIAS (*TWO-WAY*)

O sistema de compartilhamento de duas vias (*two-way*) é um tipo específico de sistema baseado em estações. Nesse sistema, existem várias estações espalhadas pela cidade onde os carros permanecem estacionados quando não estão em uso. Também conhecido como *round-trip model*, é parecido com o modelo tradicional de aluguel de veículos. Nesse modelo de negócio, o usuário faz a retirada do veículo para utilização na estação base onde se encontra o carro reservado, e ao final do período de reserva o mesmo deve retornar com o veículo à estação de origem da viagem (SHAHEEN et al., 1999).

Existem várias características que distinguem este tipo de aluguel, para um aluguel tradicional: Os usuários desses serviços necessitam ser membros de um serviço de compartilhamento de veículos; Todos os pagamentos são realizados online ou via cartão de crédito; O serviço é baseado no autoatendimento, existem menos interações entre o usuário e a organização responsável pelo serviço, por exemplo, não é necessária interação humana para pegar ou deixar um veículo; Os usuários são cobrados por unidades de tempo menores, como minutos ou horas, em vez de períodos mais longos, como dias ou semanas. Em alguns casos, existem custos adicionais cobrados por quilômetros (NAMAZU, 2017). Essas características se sobressaem ao aluguel tradicional incorrendo em um menor custo de operação do sistema e provendo mais flexibilidade aos usuários.

## 2.2 COMPARTILHAMENTO DE VEÍCULOS DE UMA VIA (*ONE-WAY*)

O sistema de compartilhamento de uma via também é um modelo baseado em estações. Nesse serviço o usuário faz a retirada do veículo em uma estação e tem a opção de deixar o carro em qualquer outra estação espalhada pela região de cobertura do serviço. Diferente do serviço de duas vias, nesse serviço não há a necessidade de retornar a estação de origem (NAMAZU, 2017).

Notadamente, se há uma estação próxima ao local de destino, torna-se vantajoso a utilização do serviço de uma via, uma vez que o tempo em que o veículo se encontra estacionado na estação, não incorre em custo para o usuário. No entanto, a dinâmica da demanda do sistema pode, em alguns casos, tornar os veículos escassos em algumas estações. Por exemplo, em uma situação onde um usuário queira fazer um trajeto de ida e volta. Nesse caso ele deve realizar dois alugueis, contudo, ao realizar uma nova reserva para a volta, existe a possibilidade de que o mesmo veículo utilizado no primeiro

trajeto, não esteja mais disponível, seja por uma reserva de outro usuário ou manutenção do mesmo.

Comparado ao modelo de compartilhamento em duas vias, esse modelo também é baseado no autoatendimento, ou seja, através de recursos tecnológicos (um aplicativo de *smartphone* por exemplo), o usuário consegue realizar todo o processo de aluguel de um veículo sem nenhum contato com outra pessoa (inclusive destrancar e ligar o veículo através de um aplicativo). Devido a não necessidade do retorno a estação de origem, de tempos em tempos pode ocorrer um desbalanceamento da disponibilidade de veículos em determinadas regiões da área de cobertura do serviço (por exemplo, pessoas utilizando o serviço para ir das periferias ao centro, mas retornando por outros meios de transporte) (KEK et al., 2009), o que demanda um maior planejamento e infraestrutura de operação caso haja a necessidade de balancear.

### 2.3 COMPARTILHAMENTO DE VEÍCULOS FLUTUANTE (*FREE -FLOATING*)

No modelo flutuante não há estações fixas para os veículos. O usuário pode reservar o carro mais próximo e deixá-lo ao fim da viagem em qualquer localização de uma área pré-definida (SHAHEEN et al., 2015). Esse modelo elimina as limitações que os modelos baseados em estações detêm, tornando a experiência mais flexível e parecida com a de um veículo pessoal (CIARI et al., 2014). Porém, existem alguns problemas, tais como a incerteza de se encontrar carros próximos, ou até mesmo, na realização de um trajeto de ida e volta, ao término do percurso de ida, a realização de uma nova reserva para a volta pode ficar comprometida devido ao carro não estar mais disponível, ou mesmo em um local diferente, semelhante ao que ocorre com o modelo de uma via.

Devido à flexibilidade, o modelo flutuante, assim como o de uma via tem um custo de gerenciamento mais alto devido a complexidade das operações. Alguns locais nesses modelos acabam sendo mais populares que outros (*hotspots* x pontos frios), levando a uma normal escassez de veículos em *hotspots* e carros ociosos em pontos frios. Quando isso acontece, o operador dos serviços podem recorrer a uma redistribuição dos veículos, ou seja, mover veículos de onde eles não são necessários (levando em conta a demanda esperada em um futuro próximo) para *hotspots* (WEIKL; BOGENBERGER, 2013). Claramente, isso tem um custo para o operador, portanto, a redistribuição deve ser realizada somente quando economicamente viável.

### 2.4 MODELO ABSTRATO DO USO DE UM VEÍCULO

Em trabalhos anteriores a este, modelos que descrevem os estados de um veículo em um sistema de compartilhamento de veículos foram apresentados (ROOKE et al., 2018, 2019). Neste trabalho, na Figura 1, apresentamos um modelo abstrato semelhante,

que descreve os possíveis estados de um veículo em qualquer um dos três sistemas de compartilhamento de veículos. Intuitivamente, um carro pode estar em uso (isto é, **ocupado**) ou **ocioso**. Um veículo **ocupado** é considerado **alugado**, quando existe uma cobrança associada, ou seja, alguém pagando por ele durante algum período. Por outro lado, um veículo **ocioso** pode estar **indisponível** (por exemplo, durante um processo de manutenção), **disponível**, que significa que alguém pode reserva-lo, ou **reservado**.

Mais precisamente, quando um veículo está **disponível** em um sistema de compartilhamento e um usuário inicia sua viagem (ou seja, inicia seu aluguel), seu estado muda de **disponível** para **alugado**. Caso um usuário reserve um veículo, seu estado muda de **disponível** para **reservado**. Note que, geralmente, a reserva de um veículo não é cobrada e, por isso, consideramos este veículo **ocioso**. Quando **reservado**, o usuário pode iniciar o uso do veículo, e o *status* muda de **reservado** para **alugado**. No entanto, o usuário também pode cancelar a reserva e assim, o *status* do veículo volta a ser **disponível**. Sem perda de generalidade, consideramos que um veículo está **indisponível** quando está em manutenção ou fora de serviço. Note que um veículo também pode transitar de um estado **alugado** para **indisponível**, nesse caso, o estado muda devido a algum sinistro ou manutenção repentina. Apresentaremos na metodologia de coleta, capítulo 4, como inferimos esses estados a partir dos dados coletados.

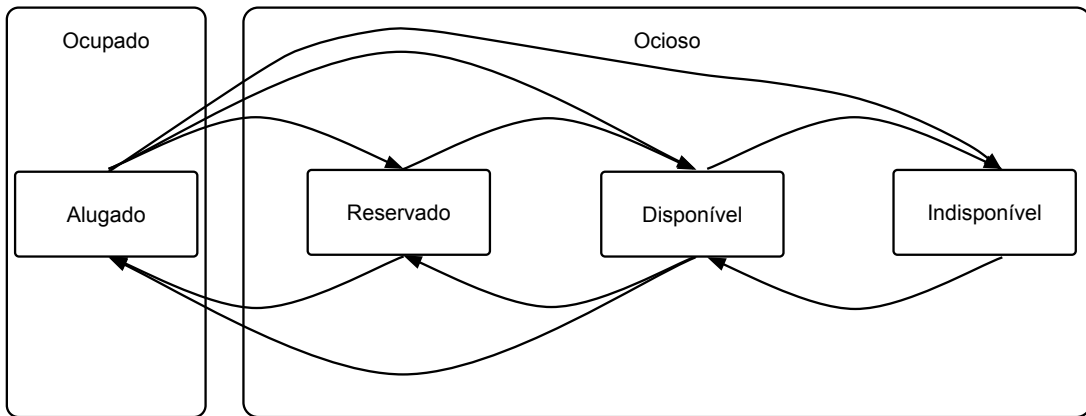


Figura 1 – Possíveis estados de um veículo em um sistema de compartilhamento de veículos.

### 3 TRABALHOS RELACIONADOS

Trabalhos anteriores sobre serviços de compartilhamento de veículos em uma via revelaram características importantes a respeito desses serviços, como seus padrões de utilização e seu impacto nos centros urbanos (NAMAZU; DOWLATABADI, 2018; BECKER et al., 2017; BOLDRINI et al., 2016; CIARI et al., 2014; MARTIN; SHAHEEN, 2011). Por exemplo, sistemas de compartilhamento em uma via são mais usados em áreas urbanas densas e que apresentam um bom sistema de transporte público (STILLWATER et al., 2009). Jovens com um maior nível de escolaridade também são mais atraídos por esses serviços (BURKHARDT; MILLARD-BALL, 2006). Além disso, vários trabalhos também confirmam impactos positivos no sistema de transportes, como a redução do tráfego e a emissão de poluentes (CERVERO; TSAI, 2004; MARTIN; SHAHEEN, 2011), o aumento de vagas em estacionamentos públicos gratuitos e aumento do uso de transportes públicos (SHAHEEN et al., 2010). Alguns trabalhos revelam que serviços de compartilhamento de uma via são bastante utilizados para compras e viagens longas (CIARI et al., 2014), e que na maioria das vezes, há pelo menos dois passageiros utilizando um veículo (BECKER et al., 2017). Por fim, esses trabalhos também revelam características interessantes sobre a frota de veículos elétricos. Por exemplo, os veículos permanecem estacionados nas regiões centrais por períodos mais curtos do que nas regiões suburbanas, impactando diretamente na autonomia dos veículos (BOLDRINI et al., 2016).

Trabalhos anteriores também apontam as diferenças entre os serviços de modelo flutuante e os serviços de modelo de uma via. De fato, os veículos do modelo flutuante são em sua maioria, usados por períodos mais curtos, apresentando movimentos pendulares, viagens de ida e volta, e um número considerável de viagens à aeroportos (CIARI et al., 2014; BECKER et al., 2017; CIOCIOLA et al., 2017). Normalmente, veículos desse modelo carregam apenas um usuário (BECKER et al., 2017) e também foi identificado que o usuário desse modelo apresenta hábitos de direção mais rápidos (CIOCIOLA et al., 2017). Por fim, o modelo flutuante também apresenta um uso periódico: durante as manhãs, as áreas centrais da cidade são o principal destino, enquanto que durante a noite, as áreas suburbanas são mais alcançadas (CIOCIOLA et al., 2017).

Apesar da flexibilidade do modelo flutuante e de uma via, os trabalhos anteriores não observaram uma diferença clara nas preferências dos usuários entre os serviços (CIARI et al., 2014). Por outro lado, alguns trabalhos identificaram que esses serviços atraem diferentes classes de usuários, expondo o fato de que modelos flutuantes e modelos baseados em estações devem ser tratados separadamente (BECKER et al., 2017).

Para o melhor de nosso conhecimento, existem poucos trabalhos que caracterizam modelos de duas vias e dentre eles temos os trabalhos que deram origem a este. Trabalhos anteriores evidenciam características espaço-temporais para serviços de duas vias, como a

longa duração de viagens e um número significativo de cancelamentos, que produzem uma subutilização desses serviços (ROOKE et al., 2018). Identificou-se também que o uso desse modelo apresenta forte relação de proximidade com o sistemas de transporte público, bem como com regiões próximas a pontos de interesse, como universidades públicas e centros comerciais (ROOKE et al., 2019). Além disso, em estudos direcionados a características de usuários, foi identificado que seus membros são adeptos a fazer trajetos caminhando e de bicicleta (LEMPERT et al., 2018). Segundo os estudos, usuários de serviços de duas vias, enxergam o compartilhamento de veículos como uma forma de viver mais eficiente, com um menor custo e ecologicamente correta, enquanto que usuários de modelos de uma via e flutuantes, enxergam os respectivos serviços mais como uma alternativa conveniente a táxis e empresas de transporte de aplicativos (*hide-railing*) (LEMPERT et al., 2018; NAMAZU, 2017; NAMAZU; DOWLATABADI, 2018).

Na Tabela 1, resumimos alguns dos principais temas observados na revisão bibliográfica deste trabalho. Evidenciamos os trabalhos que apresentam aspectos relacionados a sistemas de uma via, duas vias e flutuantes. Além disso, agrupamos os trabalhos pelos principais assuntos abordados: caracterização de usuários; impactos ambientais; impactos no trânsito; estratégias de alocação e caracterização da demanda. Trabalhos que apresentam o tema “caracterização de usuários”, discutem qual o perfil do usuário que utiliza os sistemas de compartilhamento de veículos. A maioria dos trabalhos, utilizam *surveys* para a coleta de dados de pesquisa e buscam identificar características dos usuários, por exemplo características sociais, econômicas e de hábitos. Trabalhos do grupo “impactos ambientais”, abordam assuntos relacionados ao impacto que a implantação de sistemas de compartilhamento de veículos insidiaram sobre a emissão de poluentes. O tema “impactos no trânsito”, também é abordado em vários trabalhos, normalmente apontando a redução da aquisição de veículos próprios, aumento da utilização de transportes públicos e promoção de políticas públicas para inclusão dos sistemas de compartilhamento de veículos nas cidades. Alguns trabalhos se destinam a tratar do tema “estratégias de alocação”, que discutem estratégias para promover o reposicionamento espacial de veículos dado determinadas condições. Por exemplo, uma estratégia de realocação de veículos de zonas periféricas com menor demanda de uso, para zonas centrais, com maior demanda. Finalmente, o grupo “caracterização da demanda”, englobam trabalhos que caracterizam a utilização do serviço, observando variados aspectos, por exemplo, características temporais, espaciais, características de ocupação, entre outras.

Neste trabalho, fornecemos uma caracterização detalhada dos serviços de compartilhamento de veículos, incluindo características temporais, espaço-temporais e características de comportamento dos usuários. Trabalhos similares foram realizados comparando serviços de compartilhamento, no entanto seus objetivos permaneceram unicamente em traçar características dos usuários (LEMPERT et al., 2018; NAMAZU, 2017; NAMAZU; DOWLATABADI, 2018). Nossa análise se estende a aspectos temporais e espaciais, e



que também podem ser utilizados para estudos de mobilidade sob centros urbanos. Por fim, estudando conjuntamente todos esses três tipos de serviços em uma mesma cidade, destacamos suas características comuns e suas particularidades.

Trabalhos	Uma Via	Duas Via	Flutuante	Caracterização de Usuários	Impactos Ambientais	Impactos no Trânsito	Estratégias de Alocação	Caracterização da Demanda
HARMS; TRUFFER (1998)				✓		✓		
SHAHEEN et al. (1999)				✓				
CERVERO; TSAI (2004)	✓							
MILLARD-BALL (2005)				✓				
KEK et al. (2009)				✓			✓	
STILLWATER et al. (2009)				✓		✓		
SHAHEEN et al. (2010)						✓		
MARTIN; SHAHEEN (2011)					✓	✓		
CIARI et al. (2014)	✓		✓					✓
NOURINEJAD (2014)	✓						✓	✓
KOPP et al. (2015)			✓	✓				✓
SHAHEEN et al. (2015)	✓	✓						
BOLDRINI et al. (2016)	✓							✓
BECKER et al. (2017)	✓		✓	✓				
CIOCIOLA et al. (2017)			✓					✓
NAMAZU (2017)	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
HUANG et al. (2018)	✓						✓	
LEMPERT et al. (2018)	✓	✓	✓	✓				
NAMAZU; DOWLATABADI (2018)		✓	✓	✓				
ROOKE et al. (2018)		✓	✓	✓				✓
ROOKE et al. (2019)		✓	✓	✓				✓

Tabela 1 – Sumarização dos principais aspectos dos artigos relacionados.

## 4 CONJUNTO DE DADOS E METODOLOGIA DE COLETA

Neste capítulo, apresentamos os serviços avaliados, os conjuntos de dados analisados e as metodologias usadas para obtenção dos mesmos. Este estudo se baseia em dados de utilização de três serviços de compartilhamento de veículos: *Modo*<sup>1</sup>, *Car2Go*<sup>2</sup> e *Evo*<sup>3</sup>. Esses, são serviços conhecidos e que operam em várias cidades e países. No entanto, concentramos nosso estudo apenas sob a cidade de Vancouver (Canadá) e regiões próximas, onde todos os três serviços operam concorrentemente.

Vancouver tem uma longa história relacionada a serviços de compartilhamento. Desde 1996, quando o primeiro serviço foi implantado na cidade, políticas públicas vem sendo implementadas para incentivar o uso e a adoção desses serviços. Por exemplo, foi criada uma lei<sup>4</sup> que reduz os requisitos de regulamentação de estacionamentos para edifícios que cedam algumas de suas vagas à veículos de serviços de compartilhamento. Atualmente, Vancouver é a segunda cidade com maior número de veículos compartilhados considerando todo o território do Canadá e Estados Unidos, apresentando 2.373 carros e ficando atrás apenas de Nova York, com 3.757 veículos (NAMAZU, 2017).

Para todos os três serviços, nós coletamos o *status* dos veículos minuto a minuto através de suas *application programming interfaces* (APIs) ou, diretamente através de suas páginas *web*. Resumidamente, através da API do *Modo*<sup>5</sup> podemos obter a estação de um veículo, sua placa, ID e o período em que está reservado, disponível ou ocupado. Os dados que podemos obter através da página *web* do *Evo* nos permite verificar a porcentagem de combustível em cada veículo, sua placa e também sua localização. Quanto à API do *Car2go*<sup>6</sup> podemos ter informações similares ao *Evo*.

Os dados coletados do *Evo* e do *Modo* compreendem um período de 5 meses de coleta, indo de 1º de Março de 2018 a 16 de Julho de 2018. Já os dados do *Car2Go* compreende treze meses, indo de 31 de dezembro de 2016 a 31 de Janeiro de 2018. É importante observar que, para não violar a privacidade dos usuários, os provedores dos serviços não expuseram nenhuma informação pessoal dos mesmos. Além disso, nenhuma das companhias fornecem o rastreamento dos veículos durante as viagens, então não é possível saber exatamente o caminho percorrido, apenas as estações, pontos de início e fim, e a duração das viagens.

Nas Seções 4.1, 4.2 e 4.3, apresentaremos brevemente o serviço, a metodologia de coleta e os dados usados em nossas análises.

<sup>1</sup> <https://www.modocoop.com>

<sup>2</sup> <https://www.car2go.com>

<sup>3</sup> <https://www.evo.ca>

<sup>4</sup> <https://vancouver.ca/your-government/parking-by-law.aspx>

<sup>5</sup> <http://modo.coop/api/v2>

<sup>6</sup> <https://www.car2go.com/api/tou.htm>

#### 4.1 *MODO*

*Modo* foi o primeiro serviço de compartilhamento de veículos em países de língua inglesa do mundo. Foi lançado em 1997, na época com o nome *Cooperative Auto Network* (CAN) (NAMAZU, 2017). Atualmente, o *Modo* funciona como um serviço de duas vias, como visto na seção 2.1. A taxa cobrada para sua utilização inclui gastos como combustível, seguro, manutenção e estacionamentos privilegiados. O serviço permite a reserva de um veículo com até um ano de antecedência, essas reservas são realizadas em frações de 15 minutos. Além disso, o serviço fica disponível 24 horas por dia, 7 dias por semana e pode ser acessado através de sua plataforma online e aplicativo de celular. Sua frota, em 2018, apresentava cerca de 600 veículos distribuídos entre carros movidos a combustíveis fósseis, híbridos e elétricos. Além disso, este sistema cobre cerca de 18000 usuários, por uma área de aproximadamente 133 km<sup>2</sup>.

O processo de coleta de dados foi conduzido por meio de um programa robô de coleta (*crawler*), utilizando a API REST disponibilizada pela plataforma. O objetivo da coleta foi obter dados sobre a disponibilidade dos veículos da plataforma. Tais dados nos possibilitaram estudar a distribuição da oferta e demanda por veículos no tempo e no espaço.

Para obter os dados, o primeiro passo é requisitar à API do serviço uma lista de todos os veículos. Depois, minuto a minuto requisitamos a disponibilidade de cada veículo. Cada requisição informa quando o veículo estará disponível nas próximas 24 horas. Além disso, a API também informa a estação onde o veículo está localizado e também se está em manutenção. Neste trabalho, não consideramos veículos em manutenção e fora de serviço.

É importante observar que a API do *Modo* não retorna *status* específicos de veículos e nem informações que possam ser utilizadas para a identificação de usuários do sistema. Nós inferimos se um veículo está ocupado ou ocioso baseado em seu período de reserva e na observação de janelas de tempo dos dados do veículo. Em outras palavras, capturamos vários períodos de reserva de um mesmo veículo e os comparamos um com o outro. A Figura 2 ilustra o processo de coleta dos dados de um veículo específico. Cada amostra de dados corresponde a uma requisição à API na ordem em que foram realizadas. A amostra #1 é o resultado da requisição à API no minuto 1 ( $t = 1$ ), a amostra #2 é o resultado da requisição à API no minuto 2 ( $t = 2$ ), etc. Em cada amostra de dados, o ponto azul representa o instante no tempo onde o veículo se tornará disponível. Então, quando comparamos várias amostras dos dados, identificamos três possíveis situações:

- A primeira situação está apresentada na Figura 2(a). Em  $t = 1$  é realizada uma requisição a API do *Modo*. Notamos que o veículo estava reservado até o instante  $t = 5$ . Em  $t = 2$ , a nova requisição a API mostrou novamente, que o veículo estará disponível a partir do instante  $t = 5$ . Todas as requisições seguintes confirmaram o

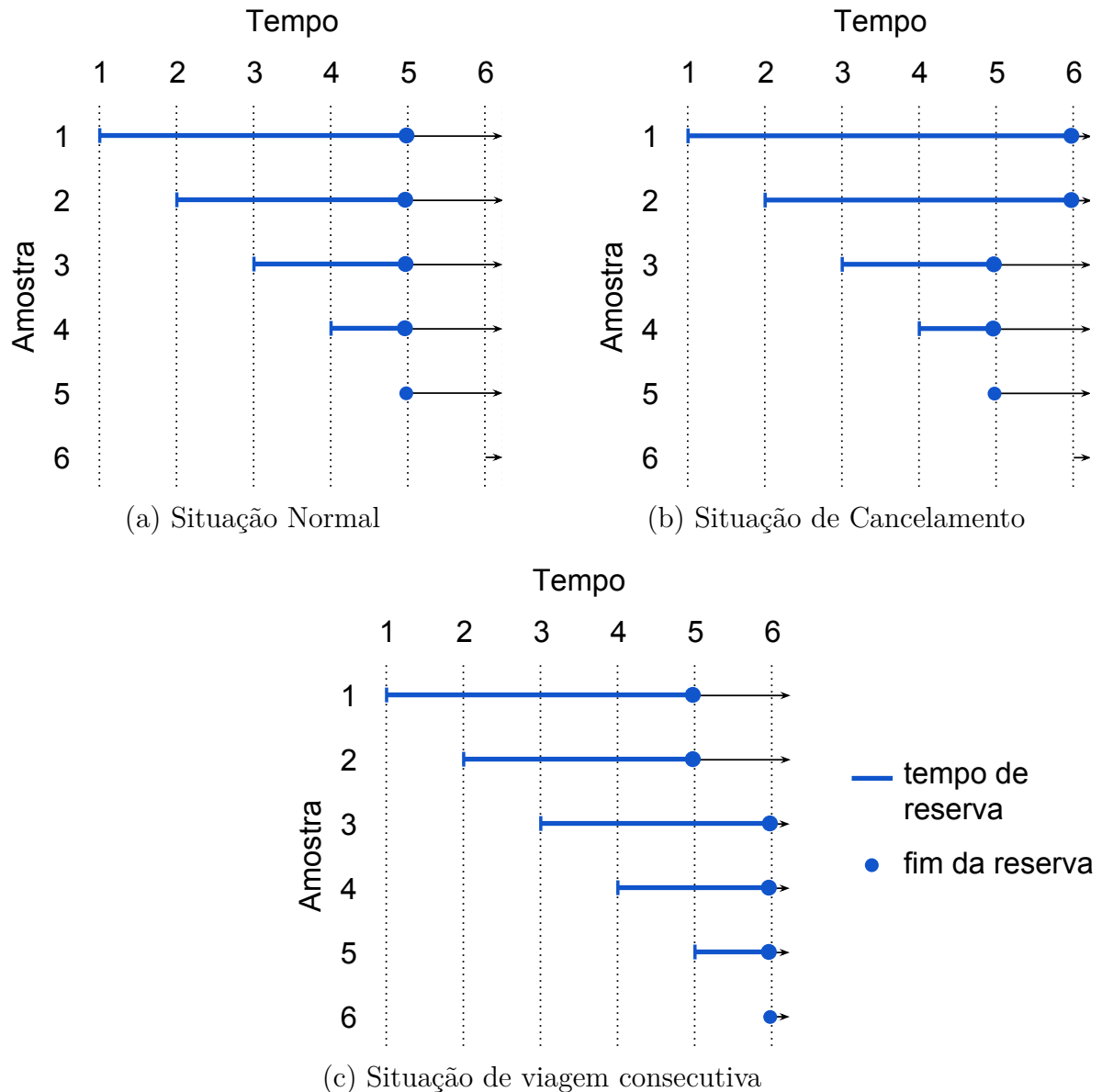


Figura 2 – Possíveis *status* de um veículo durante a coleta do Modo. Em (a) uma situação normal de reserva e uso; (b) uma situação de cancelamento; (c) uma situação de reserva consecutiva.

período de reserva. Neste exemplo, no instante  $t = 6$ , foi feita uma requisição a API e o veículo não estava mais reservado. Em outras palavras, nós inferimos que um usuário reservou o veículo antes ou no instante  $t = 1$ , e retornou com ele à estação no instante  $t = 5$ .

- A segunda situação, Figura 2(b), em  $t = 1$ , foi feita uma requisição a API do *Modo* e notamos que o veículo estava reservado até o instante  $t = 6$ . A requisição no instante  $t = 2$  confirmou o período de reserva anterior. No entanto, nesse caso, a solicitação em  $t = 5$  mostra que o veículo não está mais reservado. Nesse caso podemos inferir que o usuário devolveu o veículo mais cedo para a estação, o que significa que utilizou o veículo apenas até o instante  $t = 5$ .

- A ultima situação, como mostrada na Figura 2(c), o usuário estendeu o período de reserva. Mais precisamente, em  $t = 1$ , realizamos uma requisição a API e observamos que determinado veículo estava reservado até o instante  $t = 5$ . Na terceira solicitação, notamos que o veículo não estará mais disponível em  $t = 5$ , mas sim em  $t = 6$ . As requisições seguintes confirmam o uso do veículo até o instante  $t = 6$ .

Além da lista de veículos, e dos intervalos de disponibilidades, citados anteriormente, também foram coletados as localizações das estações, os modelos dos veículos e também se é um veículo convencional, híbrido ou elétrico. A Tabela 2 sumariza os dados coletados do Modo. Foram armazenados 134 milhões de registros em 5 meses de coleta, de uma frota de 592 veículos distribuídos entre 471 estações, cada uma com um ou mais veículos. As estações estão localizadas em Vancouver, Canadá, e em cidades próximas. Os dados coletados nos permitiram analisar mais de 98 mil viagens<sup>7</sup>.

# de Registros Coletados	$\approx 134\,000\,000$
# de Registros de Reservas	149 732
# de Registros de Viagens	98 915
# de Estações	528
- Convencionais	530
# de Veículos - Híbridos	148
- Elétricos	4

Tabela 2 – Quantitativos de dados coletados do Modo.

## 4.2 EVO

O serviço *Evo* de compartilhamento de veículos, foi lançado em março de 2015 na cidade de Vancouver pela Associação de Automóveis da Colúmbia Britânica (BCAA), trata-se de um serviço de uma via onde, como visto na Seção 2.2, o usuário aluga um veículo em uma estação e pode deixá-lo em qualquer outra. Atualmente o serviço além de permitir deixar os veículos em estacionamentos pré-definidos, permite também deixá-los em estacionamentos públicos dentro de sua área de cobertura onde não existam cobranças associadas. A taxa cobrada por sua utilização, assim como o *Modo*, também inclui gastos como combustível e seguro. O serviço cobra de seus usuários em frações de minutos, horas ou dias. Quando uma viagem ultrapassa 200 km, cada quilômetro adicional também é cobrado. Além disso, permite a reserva de um veículo por no máximo 30 minutos, por exemplo, para cobrir situações onde exista um deslocamento até o local onde o veículo está estacionado. O serviço fica disponível 24 horas por dia, 7 dias por semana e também pode ser acessado através de sua plataforma online<sup>8</sup> e aplicativo de celular. Sua frota, em 2018, era composta por cerca de 1200 veículos, todos eles híbridos.

<sup>7</sup> Os dados estarão disponíveis para os pesquisadores, mediante solicitação.

<sup>8</sup> <https://www.evo.ca>

O *Evo* não oferece uma API pública para pesquisadores. Por essa razão, coletamos dados que estão disponíveis publicamente em seu portal *web*. Minuto a minuto, coletamos uma lista de todos os veículos existentes no serviço. Além disso, a cada minuto coletamos informações daquele instante (*snapshot*) do serviço, descrevendo quais veículos estão estacionados, onde estão estacionados e se estão disponíveis para viajar.

Processamos todos os *snapshots* do sistema para inferir os momentos em que o veículo estava ocupado (alugado) ou ocioso (estacionado em uma estação). Durante um *snapshot*, se um veículo está listado entre os veículos do sistema, mas não estiver estacionado em nenhuma estação, inferimos que o mesmo está em uso. Então, configuramos o ponto de partida de uma nova viagem como a última estação em que o veículo estava estacionado. Analogamente, o ponto final da viagem será a próxima estação em que o veículo aparecer disponível em um *snapshot* futuro. O tempo total da viagem é contabilizado como a diferença entre os tempos dos dois *snapshots*.

Para cada viagem identificada, nós também realizamos uma requisição à *API Directions do Google Maps*<sup>9</sup>. Desta forma, nós temos a possibilidade de estimar o tempo de viagem levando em conta as condições locais de tráfego, no momento da viagem. Claramente, essa estimativa não leva em consideração as características dos clientes de compartilhamento de veículos, como por exemplo, se são idosos, jovens, se já se envolveram em acidentes, seus hábitos de direção. Conseqüentemente pode divergir da duração real da viagem armazenada. O Algoritmo 1 mostra mais detalhadamente o processo de coleta das viagens assim como a requisição à *API Directions*. Inicialmente, é coletado o *snapshot* do serviço *Evo* com todos os carros disponíveis no minuto corrente. Depois, consultamos a base de dados pegando os veículos disponíveis no minuto anterior. Para cada carro presente no minuto anterior, verificamos se o mesmo desapareceu no minuto atual, nesse caso iniciamos um novo registro de viagem, com as últimas coordenadas conhecidas do veículo. Posteriormente, é verificado para cada carro do minuto atual, se ele não estava presente no minuto anterior, nesse caso, ele reapareceu. Dessa forma, os passos seguintes do algoritmo servem para guardar o destino final do registro de viagem, além de agregar ao registro as informações advindas da *API Directions*.

<sup>9</sup> <https://developers.google.com/maps/documentation/directions/intro>

**Algoritmo 1:** Evo Crawler

---

**Entrada:** *Base* : Dados de requisições anteriores.  
*EmViagem* : Conjunto de dados com carros em uso no momento.

**Saída:** *Viagens* : Conjunto de dados de viagens dos veículos processados.

**início**

```

  MinutoAtual ← Crawler();
  MinutoAnterior ← Ler(Base);
  para cada  $carro_i \in MinutoAnterior$  faça
    se  $car_i \notin MinutoAtual$  então
      |  $EmViagem.adiciona(car_i, lat_{início}, lon_{início}, combustivel_{início}, tempo);$ 
    fim
  fim
  para cada  $car_i \in MinutoAtual$  faça
    se  $car_i \notin MinutoAnterior$  então
      |  $início \leftarrow EmViagem.busca(car_i);$ 
      |  $fim \leftarrow (car_i, lat_{fim}, lon_{fim}, combustivel_{fim}, tempo);$ 
      |  $t_{google} \leftarrow GoogleApi(lat_{início}, lon_{início}, lat_{fim}, lon_{fim});$ 
      |  $Viagens.add(início, fim, t_{google});$ 
      |  $EmViagem.remove(car_i);$ 
    fim
  fim
fim
```

---

Nota-se que, no serviço *Evo*, é possível reservar um carro e cancelar esta reserva, dentro de um prazo de 30 minutos, sem quaisquer encargos. Assim, inferimos o número de cancelamentos nesse serviço filtrando viagens curtas (ou seja, menores que 30 minutos) onde os pontos inicial e final são os mesmos. Para acomodar a imprecisão do *Global Positioning System* (GPS), consideramos uma tolerância de 3 metros entre os pontos inicial e final.

A Tabela 3 sumariza e apresenta os dados coletados do *Evo*. Note que neste serviço não é necessário um grande número de estações devido a possibilidade de parada em estacionamentos públicos dentro da área delimitada de atuação do serviço. Esta área é chamada de *home zone* e cobre Vancouver e algumas cidades vizinhas.

# de Registros Coletados	142 853 500
# de Registros de Viagens	644 887
# de Estações	130
# de Veículos	1 237

Tabela 3 – Quantitativos de dados coletados do *Evo*.



### 4.3 CAR2GO

*Car2Go* é um serviço de compartilhamento de veículos que utiliza o modelo fluante (seção 2.3). Iniciou suas operações na Alemanha em 2008 e posteriormente se expandiu para outros países, chegando em junho de 2011 à Vancouver. Para utilizar esse serviço, o usuário deve acessar o portal<sup>10</sup> ou consultar o aplicativo do serviço e localizar o veículo mais próximo que deseja alugar. Ao se aproximar do veículo, é possível destrancar o mesmo através do aplicativo e iniciar o aluguel. Ao fim da viagem, o serviço permite deixar o veículo, dentro da *Home Area*, em qualquer estacionamento público, estacionamento nas ruas onde não há restrições, zonas residenciais e também em estacionamentos públicos com restrição de horário. Além disso, em Vancouver existem estacionamentos exclusivos para esse serviço nas ruas. Na Figura 3 é possível visualizar a *Home Area* sob a cidade de Vancouver e North Vancouver.

A taxa cobrada por sua utilização, assim como nos outros serviços, também inclui gastos como combustível e seguro. O serviço cobra de seus usuários em frações de minutos, horas ou dias. Assim como o *Evo*, o serviço cobra por quilometro adicional quando ultrapassado 200 km. Nesse serviço existem 2 tipos de carros, um carro para duas pessoas, modelo *smart* e um carro convencional. As taxas variam entre os dois tipos de veículos. Além disso, de maneira análoga ao serviço anterior, é permitida a reserva de um veículo por no máximo 30 minutos. Sua frota no período analisado era composta por cerca de 1000 veículos, todos eles movidos a combustíveis fósseis.

O serviço *Car2Go* fornece uma API que provê informações dos veículos disponíveis no momento da requisição. Cada requisição a API retorna, entre outras informações, um identificador único do veículo (placa), sua posição e outros campos que descrevem o *status* do veículo. A resposta da API do *Car2Go* é semanticamente equivalente à captura de dados do *Evo*. Sendo assim, foi aplicada a mesma metodologia para coleta e armazenamento dos dados.

Existem dois eventos principais que acionam uma mudança de *status* em um veículo que são claramente observáveis a partir dos dados. Um deles é quando um veículo desaparece da resposta da API, e o outro quando o mesmo veículo reaparece. Esses eventos são descritos formalmente a seguir. Considerando o instante de atual do tempo como  $t_i$ , temos:

- se em  $t_i$  o veículo está presente na resposta da API e no tempo  $t_{i+1}$  ele não está, então o carro passou do estado disponível para alugado.
- se em  $t_i$  o veículo *não* está presente na resposta e em  $t_{i+1}$  ele reaparece na resposta da API, o veículo passou do estado alugado para o estado disponível. Isso representa

<sup>10</sup> <https://www.car2go.com/CA/en/vancouver/>



Figura 3 – *Home Area* do serviço *Car2Go* sob a cidade de Vancouver e regiões vizinhas, figura retirada do site do serviço: <https://www.car2go.com/CA/en/vancouver/where/>

uma viagem finalizada (fim da ocupação) e o início de um estacionamento (início de um período ocioso). Observe que por questões de privacidade a posição do veículo durante o aluguel não é disponibilizada.

Note que, para uma único registro de viagem, é impossível estimar a distância real percorrida por um veículo uma vez que temos apenas as coordenadas iniciais e finais da viagem. Calculando a distância Euclidiana ou de Haversine (KORN; KORN, 2000) obtemos apenas um limite inferior da distância real de viagem que é otimista demais para ser usada como uma estimativa da distância da viagem. Para melhorar essa estimativa, anexamos a cada entrada dos registros de viagens a distância e o tempo fornecidos pela *API Directions do Google Maps*. Além disso, assim como na metodologia do *Evo*, inferimos o número de cancelamentos filtrando viagens curtas onde os pontos inicial e final são muito próximos.

A Tabela 4 resume o conjunto de dados coletados do *Car2Go*. Temos mais de um milhão de viagens em nossos treze meses de dados. Como se trata de um serviço flutuante, o *Car2Go* não possui estações, apenas possui sua *home area* de operação.

# Registros de Viagens	1 095 577
# de Veículos	1 077

Tabela 4 – Quantitativos de dados coletados do *status*.

## 5 CARACTERIZAÇÃO E MODELO DOS SERVIÇOS DE COMPARTILHAMENTOS DE VEÍCULOS

Neste capítulo, serão apresentados as caracterizações e modelos referentes aos três serviços de compartilhamento (uma via, duas vias e flutuante). Na Seção 5.1, apresentaremos as características temporais, espaço-temporais e de utilização do serviço *Modo*. Na Seção 5.2, apresentaremos também essas características, porém para o serviço *Evo*. Na Seção 5.3, o mesmo será feito para o serviço *Car2Go*. Finalmente, na Seção 5.4, destacaremos as características comuns e diferenças que compreendem todos os serviços.

### 5.1 *MODO* - UM SERVIÇO DE COMPARTILHAMENTO DE VEÍCULOS DE DUAS VIAS

Nessa Seção apresentaremos as características temporais, espaço-temporais e de utilização do *Modo*, o serviço de duas vias estudado. Na Seção 5.1.1 apresentamos o padrão de demanda diária do serviço, na Seção 5.1.2 analisamos o número médio de veículos utilizados dada a localização de sua estação. Além disso, fazemos uma análise da relação do serviço com o transporte metroviário de Vancouver. Por fim, na Seção 5.1.3 analisamos os períodos de ocupação e ociosidade dos veículos, além de identificar as distribuições estatísticas que melhor se ajustam aos dados.

#### 5.1.1 Características temporais

Primeiro, apresentamos na Figura 4 o padrão de demanda diária do serviço. As linhas azul e vermelha referem-se a um valor médio, minuto a minuto, da porcentagem de carros ocupados e reservados, respectivamente. Para obter a quantidade absoluta de carros ocupados em determinado minuto, basta observar nos dados brutos coletados quais veículos não estavam disponíveis naquele minuto. Para obter a quantidade absoluta de reservas em determinado minuto, é necessário observar o registro de reservas como detalhado na Seção 4.1. Caso tenha existido uma reserva em determinado minuto, mas que em outro momento foi cancelada, essa reserva também é contabilizada no quantitativo absoluto de reservas. Consideramos todos os dados disponíveis e processados do *Modo* do período de 1º de Março de 2018 a 16 de Julho de 2018 e, nesse sentido, apresentamos as médias, minuto a minuto desse período, e também o desvio padrão como as áreas em cinza e laranja suavizadas ao fundo. A Figura 4-a apresenta o padrão de demanda durante os dias úteis, enquanto a Figura 4-b apresenta a demanda aos finais de semana.

Observa-se que, de acordo com as Figuras 4-a a b, há uma diferença considerável entre o número de carros reservados e efetivamente usados, o que ocorre devido a cancelamentos de serviço. Durante os dias de semana, o número de cancelamentos é mais proeminente durante os períodos de pico de carga, como próximo ao horário do almoço, ao

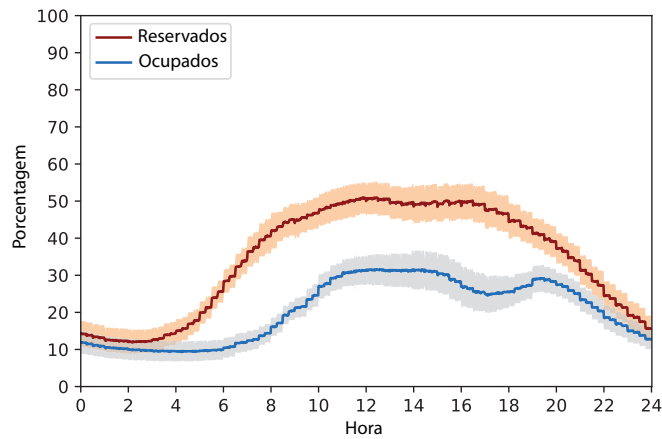
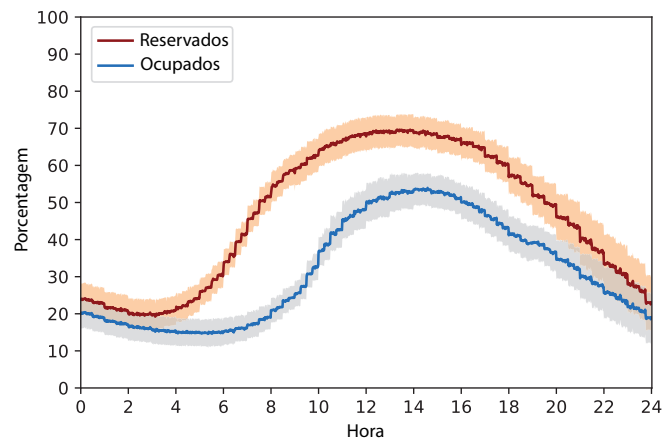
(a) Dias de Semana do serviço de duas vias - *Modo*(b) Finais de Semana do serviço de duas vias - *Modo*

Figura 4 – Média (e desvio padrão superior/inferior) minuto a minuto da porcentagem de veículos ocupados (linha azul) e reservados (linha vermelha), para dias de semana e finais de semana para o serviço de duas vias.

meio dia e o final do dia de trabalho, entre 16 e 19 horas. Nos finais de semana, observamos apenas um padrão com uma única moda, em torno das 14 h. Em ambos casos o número de cancelamentos começa a crescer entre 6 e 10 horas.

Mais precisamente, durante os dias de trabalho (Figura 4-a), observamos dois picos de carga, ocorrendo entre 11 h às 16 h e 19 h às 20 h. O primeiro pico começa a crescer às 8 horas e se estende até próximo das 18 horas. O pico noturno ocorre durante o horário de *happy hour* após o horário de trabalho. Para ambos os períodos, notamos uma grande quantidade de reservas, quando comparada ao número de carros utilizados, entre 10h e 20h. Finalmente, notamos que a diferença entre carros reservados e carros realmente usados é menor entre 22h e 4h, e também durante esse período, observamos uma menor demanda pelo serviço o que pode contribuir para esse comportamento.

Para entender melhor as características dos picos de carga durante os dias de semana, apresentamos na Figura 5, a *Empirical Cumulative Distribution Function* (ECDF) do tempo de ocupação dos veículos. Neste caso, avaliamos os períodos de carga de um dia (isto é, períodos de 11 h às 16 h e de 19 h às 20 h) e também, dados de todo o dia. De acordo com essas curvas, veículos alugados durante os horários de pico permanecem na maioria dos casos, menos tempo alugados, principalmente no pico noturno. Para exemplificar temos que 80% dos veículos ficam alugados por mais de uma hora ao longo do dia enquanto esse valor decresce para 50% em viagens iniciadas nos picos noturnos. Além disso, cerca de 70% das locações de veículos não apresentam mais de 5 horas de ocupação. Este valor de tempo de uso indica uma relação entre a demanda de compartilhamento e as rotinas de trabalho diárias, sugerindo que o carro permanece alugado durante os horários de trabalho.

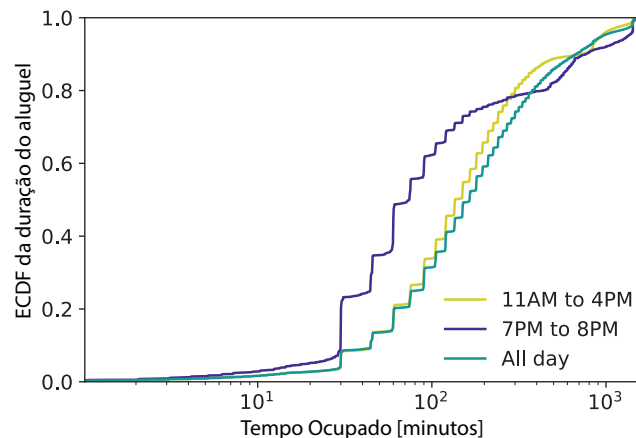


Figura 5 – Função de Distribuição Acumulada do Tempo de Ocupação de Veículos do *Modo*.

Nos finais de semana (Figura 4-b), há uma diferença comportamental notável comparada à apresentada para os dias da semana. Nos finais de semana, há um pico de ocupação indo de 10 horas até as 18 horas, com uma ocupação máxima de cerca de 55%, próximo às 14 h. O pico das reservas ocorre entre as 13 h e as 16 h, apresentando até 70% dos carros disponíveis reservados (por volta das 14 h). A maior utilização dos carros, no horário de pico, quando comparado aos dias de semana pode ser explicada por se tratar de horários de movimento para consumo em centros comerciais e de lazer, característicos de finais de semana.

Nota-se que, ao fim do dia, em finais de semana, o número de reservas cai drasticamente. Por exemplo, para ambos casos, a partir das 22 horas, menos de 40% dos carros disponíveis estão reservados e esse número permanece caindo até por volta das 4 horas.

Em geral é perceptível que o número de reservas, em sua maioria, é superior ao de ocupação, por exemplo as 8 h da manhã, onde o número médio de reservas é maior do que o dobro do número médio de ocupações. Dado que em finais de semana há uma maior

chance das atividades serem desprovidas de horários fixos, é comum as reservas serem para longos períodos mesmo que venham a não ser utilizadas totalmente.

Em resumo, pelas Figura 4-a e b, é observado que a utilização dos veículos seguem padrões habituais durante o dia, com picos em horários de trabalho e de saídas noturnas em dias de semana, e pico durante a tarde, aos fins de semana. Observou-se também, uma grande variação da quantidade de reservas nesses horários, o que pode ser explicado pelo modo como o serviço de duas vias estudado opera. Como existe a possibilidade de realizar a reserva de um veículo com até um ano de antecedência, a chance de ocorrer um cancelamento nesse período é maior. Além disso, podemos atribuir também à grande movimentação e disponibilidade de outros meios de transporte, principalmente em um grande centro como Vancouver.

### 5.1.2 Características espaço-temporais

Foi realizada uma análise da demanda em relação ao espaço e tempo. Para essa análise, foram criados mapas de calor com médias de veículos ocupados em cada hora do dia, em cada estação considerando todo o período observado. Além disso, posteriormente, foi realizada uma análise da relação de proximidade das estações do serviço de compartilhamento de veículos em duas vias com as estações de metrô de Vancouver, também chamadas de *SkyTrain Lines*.

A Figura 6, apresenta mapas de calor de 6 intervalos, de 1 hora cada, amostrados a cada 4 horas do dia. O que se observa nas horas omitidas, são similares aos intervalos, mais próximos a eles, amostrados na figura. É possível verificar que, ao longo da madrugada –0 h as 5 h–, o número de viagens vai aumentando nas estações das zonas centrais, na zona universitária e ao longo das linhas de trem, principalmente na *Expo Line* e *Millennium Line*, indicando uma forte relação entre o transporte público e o serviço de compartilhamento. No período da manhã, a maioria das estações se encontram ativas e com número de viagens aumentando na região central, conforme o horário vai se aproximando de 12 h. No período da tarde há picos de utilização distribuídos por toda a região, das 14 h às 16 h e, a partir de 18 h, as viagens nas regiões periféricas diminuem, passando a se concentrar em pontos específicos do centro, tanto de Vancouver quanto das cidades vizinhas, universidades e estações de trem onde há possibilidades de conexões. Essas características dão indício de que aqueles que utilizam os sistemas de carros compartilhados também fazem uso de transporte público ou se locomovem para áreas atendidas por eles. Historicamente, as estações e linhas do transporte público foram se posicionando ao longo dos principais pontos de trabalho de uma cidade. Outro ponto a ser observado é que o público universitário tem grande participação nesses serviços, visto que na maior parte do dia as concentrações médias de veículos ocupados por hora nas regiões de universidades permanecem quentes.

A fim de investigar melhor a relação entre o sistema de carros compartilhados e o

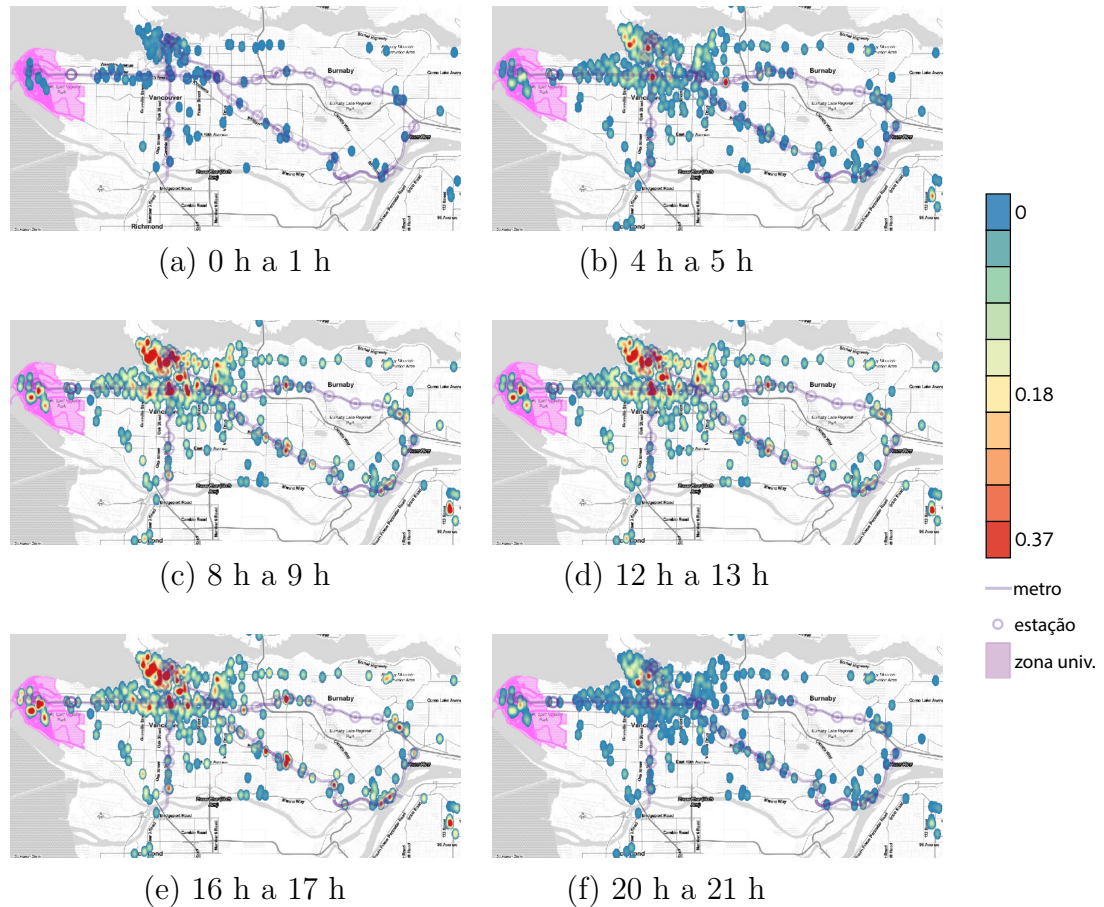


Figura 6 – Demanda espaço-temporal do serviço de duas vias *Modo*.

transporte público, a Figura 7 apresenta FDAs das distâncias geodésicas entre as estações do *Modo* e as estações do serviço de metrô (*SkyTrains*) de Vancouver. Na figura estão representadas as distâncias entre a primeira, segunda e terceira estação de *SkyTrain* mais próximas. Note que em 10% dos casos, partindo de uma estação de metrô, é necessário se deslocar menos de 200 metros para alcançar uma estação de compartilhamento de veículos. Além disso, podemos verificar também que há estações dos dois sistemas de transporte coexistindo em uma mesma localização. Por fim, podemos afirmar que a partir de 50% das estações de metrô de Vancouver, é possível se alcançar até 3 estações de compartilhamento de veículos a uma distância de até 2 quilômetros, dando indícios ainda maiores da relação de utilização do serviço com o sistema de transporte público.

### 5.1.3 Características de utilização dos veículos

Os períodos ocupados e ociosos dos veículos impactam diretamente na receita do operador do serviço. De fato, quanto mais longo for o período ocupado e quanto menor o período ocioso de um veículo, mais rentável ele será. Nesse sentido, caracterizamos os períodos ocupados e ociosos dos veículos para o serviço de duas vias. Em nossa

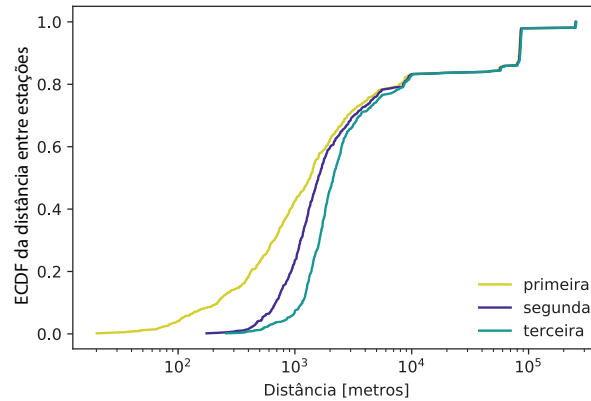


Figura 7 – Função de Distribuição Acumulada das distâncias entre as estações do *Modo* e as estações dos *SkyTrains* de Vancouver.

análise, consideramos todos os veículos e filtramos as viagens com mais de 90 horas, o que corresponde a mais de 99,5% de todos os registros de viagens coletados.

Identificamos também, a distribuição estatística que melhor se ajusta aos dados coletados (períodos de ocupação e ociosidade). Para isso, testamos mais de 80 distribuições estatísticas conhecidas. Dessa forma, para cada componente do modelo, os parâmetros da distribuição que mais se aproximam dos dados são determinados usando o método de estimação por máxima verossimilhança. Após definir os parâmetros de cada componente, foram escolhidas as dez distribuições com menor distância de *Kolmogorov-Smirnov* (distribuições contínuas) ou menor erro quadrático (distribuições discretas) em relação aos dados. Por fim, escolhemos as três principais distribuições comuns a todos os serviços de compartilhamento de veículos. Essas escolhas também foram validadas com uma inspeção visual do ajuste da curva.

A Figura 8 apresenta a *Empirical Cumulative Distribution Function* (ECDF) do tempo de ocupação dos veículos do serviço de compartilhamento e também as curvas das funções estatísticas que melhor se ajustam aos dados. Nenhuma distinção foi feita para veículos comuns, híbridos e elétricos. As funções de distribuição *Inverse Gamma*<sup>1</sup>, *Burr*<sup>2</sup> e *Mielke's Beta-Kappa*<sup>3</sup> apresentaram um bom ajuste aos dados empíricos. Todas as distribuições visualmente se encaixaram bem a toda a curva de dados. A Tabela 5 apresenta os parâmetros das distribuições estatísticas que melhor se ajustaram aos tempos de ocupação do serviço.

<sup>1</sup> Função de Distribuição Acumulada (FDA) da distribuição *Inverse Gamma*:  $F(x, a, \beta, \delta) = \frac{1}{\Gamma(a)} \int_{1/((x-\beta)/\delta)}^{\infty} t^{a-1} e^{-t} dt$

<sup>2</sup> Função de Distribuição Acumulada (FDA) da distribuição *Burr* :  $F(x, c, d, \beta, \delta) = \left(1 + ((x - \beta)/\delta)^{-c}\right)^{-d}$

<sup>3</sup> Função de Distribuição Acumulada (FDA) da distribuição *Mielke's Beta-Kappa*:  $F(x, k, s, \beta, \delta) = \frac{((x-\beta)/\delta)^k}{(1+((x-\beta)/\delta)^s)^{(k*\frac{1}{s})}}$



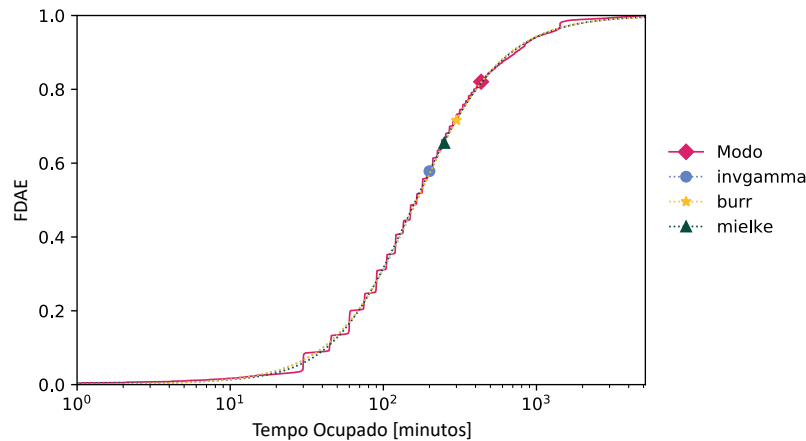


Figura 8 – Função de Distribuição Acumulada dos Tempos de Ocupação dos Veículos do Serviço de Duas Vias.

	Inv.Gamma	a = 1.7032		$\beta = -38.5120$	$\delta = 278.8487$
Modo	Burr	c = 1.5651	d = 1.0327	$\beta = -1.8893$	$\delta = 163.0525$
	Mielke	k = 1.59745	s = 1.5687	$\beta = -1.6713$	$\delta = 164.9877$

Tabela 5 – Parâmetros das curvas de distribuição que melhor se ajustam aos dados de ocupação. O  $\beta$  e o  $\delta$  são parâmetros chaves para ajustar a localização e escala das distribuições.

Através da Figura 8, podemos observar alguns pontos: mais de 80% dos alugueis de veículos apresentam mais de 1 hora de duração; pelo menos metade dos alugueis de veículos apresentam mais de 3 horas; um número considerável de veículos (aproximadamente 10%), são alugados por mais de 15 horas. Todos esses dados demonstram que é característico desse serviço, o aluguel para utilização em viagens de média a longa duração.

Por fim, a Figura 9 apresenta a distribuição dos períodos ociosos dos veículos. Em outras palavras, essa Figura mostra os tempos que os veículos ficaram parados em suas estações base. Nesse sentido, é possível notar que os veículos permanecem por um tempo considerável em suas estações. Mais de 60% dos carros permanecem por períodos superiores a 3 horas ociosos. As distribuições *Power log normal*<sup>4</sup>, *Burr* e *Mielke's Beta–Kappa* melhor se ajustaram aos dados dos períodos de ociosidade. Neste caso, todas as distribuições favoreceram o corpo e a calda da curva. A Tabela 6 apresenta os parâmetros das distribuições estatísticas que melhor se ajustaram à curva de dados.

	PLogNorm	c = 118.7142	s = 3.6088	$\beta=0.7191$	$\delta=3780209.5149$
Modo	Burr	c = 1.9865	d = 0.3860	$\beta = -7.7229$	$\delta = 1105.5853$
	Mielke	k = 0.8898	s = 1.5390	$\beta = -1.4862$	$\delta = 860.6790$

Tabela 6 – Parâmetros das curvas de distribuição que melhor se ajustam aos dados de ociosidade. O  $\beta$  e o  $\delta$  são parâmetros chaves para ajustar a localização e escala das distribuições.

<sup>4</sup> Função de Distribuição Acumulada (FDA) da distribuição *Power log normal*:  $F(x, c, s, \beta, \delta) = 1 - \left( \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{-\log((x-\beta)/\delta)/s} e^{-t^2/2} dt \right)^c$

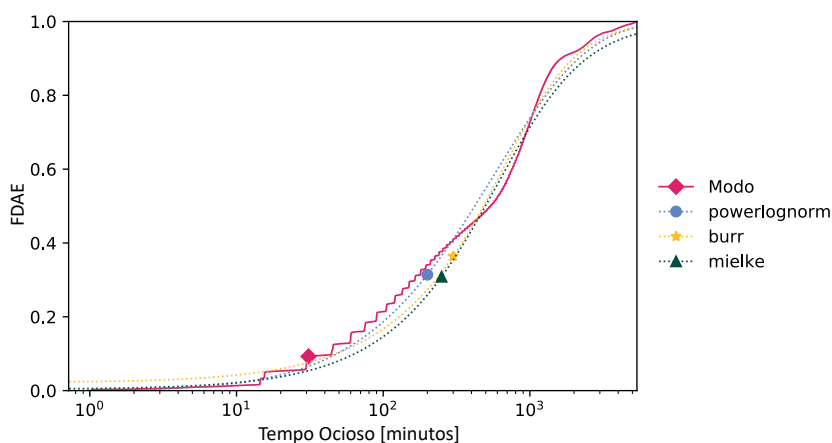


Figura 9 – Função de Distribuição Acumulada do Tempo de Ociosidade dos Veículos do Serviço de Duas Vias.

Em resumo, a partir dos dois gráficos, Figuras 8 e 9, é observado que a forma de uso do serviço dá-se, em sua maioria, para viagens de média e longa duração, muito provavelmente para a ida e volta de uma rotina de trabalho, ou movimentos pendulares pelas cidades em torno de Vancouver. Desta forma, os resultados apresentados corroboram ainda mais com os apontados por NAMAZU (2017), que afirma que os usuários dos serviços de duas vias utilizam seus veículos mais como um substituto ao carro próprio. Além disso pode ser concluído que, pela necessidade de retornar a base original, o serviço não favorece deslocamentos de curta duração, visto que o período em que o veículo fica ocioso infere custos ao usuário.

## 5.2 EVO - UM SERVIÇO DE COMPARTILHAMENTO DE VEÍCULOS DE UMA VIA

Nessa Seção apresentaremos as características temporais, espaço-temporais e de utilização do serviço *Evo*. Na Seção 5.2.1 apresentamos o padrão de demanda diária do serviço, na Seção 5.2.2 analisamos o número médio de veículos utilizados dada as localizações de origem e destino de suas viagens, e além disso, assim como na Seção 5.1.2, fazemos também uma análise da relação do serviço com o transporte metroviário de Vancouver. Finalmente, na Seção 5.2.3 analisamos os períodos de ocupação e ociosidade dos veículos e identificamos as distribuições estatísticas que melhor se ajustam aos dados.

### 5.2.1 Características temporais

A Figura 10 apresenta o padrão diário de demanda do serviço de uma via. As linhas azul e vermelha referem-se a um valor médio, minuto a minuto, da porcentagem de carros ocupados e reservados, respectivamente. Para obter a quantidade absoluta de veículos ocupados em determinado minuto, filtramos os registros de viagens usando dois filtros: primeiro, selecionamos todos os registros de viagens cuja hora de início e fim

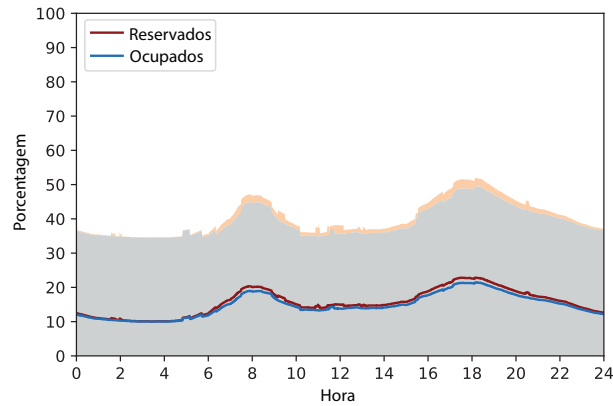
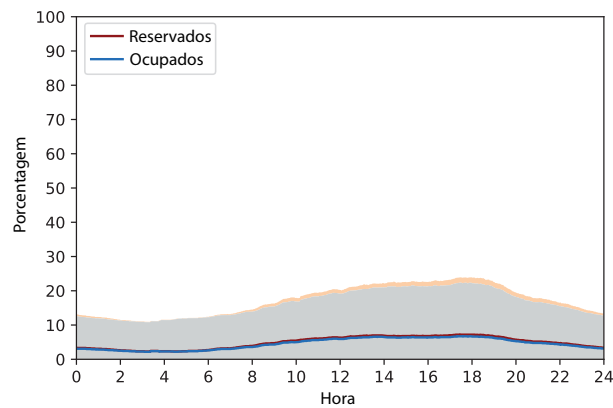
(a) Dias de Semana do serviço de uma via - *Evo*(b) Finais de Semana do serviço de uma via - *Evo*

Figura 10 – Média (e desvio padrão superior/inferior) minuto a minuto da porcentagem de veículos ocupados (linha azul) e reservados (linha vermelha), para dias de semana e finais de semana para o serviço de uma via.

compreendiam o minuto observado. Em sequência, selecionamos todas as viagens com duração maior que 30 minutos ou que os veículos não permaneciam na mesma localização. Para obter a quantidade absoluta de reservas em determinado minuto, aplicamos apenas o primeiro filtro anterior, aos registros de viagens. Todos os dados disponíveis do *Evo*, do período de 1º de Março de 2018 a 16 de Julho de 2018 foram considerados. Dessa forma apresentamos na Figura 10, as médias das porcentagens de ocupação e reserva, minuto a minuto desse período, e também o desvio padrão como as áreas em cinza e laranja suavizadas ao fundo. A Figura 10-a apresenta o padrão de demanda durante os dias de semana, enquanto a Figura 4-b apresenta a demanda aos finais de semana.

Podemos notar que de acordo com as Figuras 10-a e b, não há uma expressiva diferença entre o número de carros reservados e efetivamente usados, em outras palavras, a taxa de cancelamentos é baixa nesse serviço. Durante os dias de semana, ainda é

perceptível o número de cancelamentos durante os períodos de pico de carga, menos de 5%, como próximo aos horários de início (8 h) e fim de jornadas de trabalho (18 h). Nos finais de semana, observamos um padrão inexpressivo de cancelamentos, que ocupa todo o dia. Por outro lado, a variação, tanto de reservas quanto de ocupação é grande. Acreditamos que essa variação está relacionada a uma oferta maior de veículos e também com o modelo de operação do serviço.

Observamos, que durante os dias de semana (Figura 10-a), existem dois picos de carga, ocorrendo entre 7 h às 10 h e 16 h às 20 h. O primeiro pico começa a crescer às 6 horas e se estende até próximo das 11 horas, horários de início de rotinas de trabalho. Analogamente, o pico noturno ocorre durante os horários de saída dessas rotinas. Para ambos os períodos, notamos uma pequena quantidade de reservas, quando comparada ao número de carros utilizados. Essa inexpressiva diferença pode ser atribuída a maneira como o serviço opera, onde permite apenas reservas por até 30 minutos antes do início de uma viagem. Finalmente, assim como no serviço de duas vias, notamos que a diferença entre carros reservados e carros realmente usados é menor entre 22 h e 4 h, horários estes, que também observamos uma menor demanda pelo serviço.

Nos finais de semana (Figura 10-b), há uma diferença comportamental notável comparada à apresentada para os dias da semana. O padrão de utilização é relativamente baixo, não chegando à média de 10% dos veículos ocupados. Nesses dias, a ocupação máxima acontece no período da tarde, entre 10 h e 19 h. A baixa ocupação aos finais de semana podem estar ligados à oferta de outras alternativas de transporte, e ao fato das atividades realizadas nesses dias não terem horários rígidos de início e fim.

Para entender melhor as características dos picos de carga durante os dias de semana, apresentamos na Figura 11 a ECDF do tempo de ocupação dos veículos. Neste caso, avaliamos os períodos de carga de um dia (isto é, períodos de 07 h às 10 h e de 16 h às 20 h) e também, dados de todo o dia. De acordo com essas curvas, não há diferenças expressivas nos tempos de veículos alugados durante os horários de pico. Podemos notar apenas que veículos alugados no pico noturno permanecem ligeiramente menos ocupados quando comparado ao pico diurno. Essas características indicam que independente da carga e horário os padrões de ocupação dos veículos sofrem muito pouca variação.

Em geral, pelas Figuras 10-a e b, é observado que a utilização dos veículos segue determinados padrões durante o dia, com picos em horários de início e fim de jornadas de trabalho em dias de semana, e pico durante a tarde, aos fins de semana. Nesse serviço, observou-se também, que não há números expressivos de cancelamento, o que pode ser explicado devido à maneira como o serviço opera. Além disso, esses resultados corroboram com os apresentados por NAMAZU (2017) e LEMPERT et al. (2018) que afirmam que esses serviços são utilizados mais como uma alternativa a meios de transportes como táxis e serviços de aplicativos.

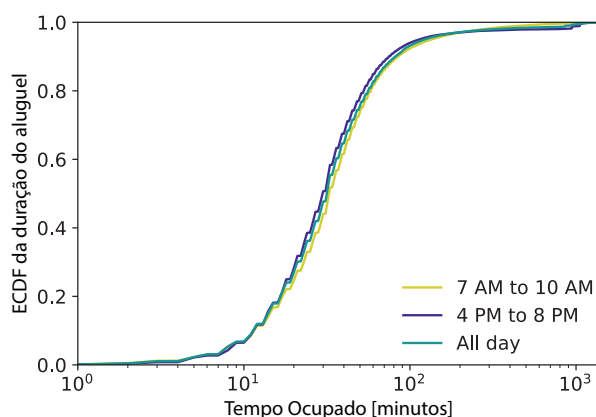


Figura 11 – Função de Distribuição Acumulada do Tempo de Ocupação de Veículos do *Evo*.

### 5.2.2 Características espaço-temporais

Nesta Seção foi realizada uma análise da demanda em relação ao espaço. Nessa análise, foram criados mapas de calor com médias de veículos ocupados a cada hora do dia em cada localização considerando todo o período observado. Além disso, para esse serviço, matrizes de origem-destino também foram plotadas. Por fim, também analisamos a relação de proximidade da origem das viagens do serviço de compartilhamento de veículos em uma via com as estações de *SkyTrain* de Vancouver.

A Figura 12, apresenta mapas de calor de 6 intervalos, de 1 hora cada, amostrados a cada 4 horas do dia. O que se observa nas horas omitidas, são similares aos intervalos, mais próximos a eles, amostrados na figura. Para a criação desses mapas, foram utilizados todos os pontos de origem e destinos das viagens. Para agrupar esses pontos utilizamos um raio de 400 metros como referência, cobrindo regiões próximas ao tamanho de bairros. É possível observar que, assim como o *Modo*, o serviço apresenta uma expressiva demanda de uso nas áreas centrais e universitárias. Notamos claramente também que a baixa demanda pelo serviço na madrugada.

A maior demanda pelo serviço nas regiões centrais é esperada. Trata-se de onde a maior porção da população está. No entanto, as zonas universitárias também apresentam um expressivo padrão de demanda. Nesse caso, podemos associar o uso do serviço a uma população mais jovem e com mais escolaridade.

Notamos também que a demanda por esse serviço na região central é baixa durante a madrugada. Além disso, durante os horários de pico, próximos das 8 h e 18 h, verificamos uma grande utilização fora das regiões centrais, espalhadas por toda a cidade.

Diferente do serviço de duas vias, a relação com o sistema de transporte metroviário de Vancouver aqui, não está tão clara. Nesse sentido, a Figura 13 apresenta ECDFs das distâncias geodésicas entre os pontos de origem das viagens do *Evo* e as estações do serviço

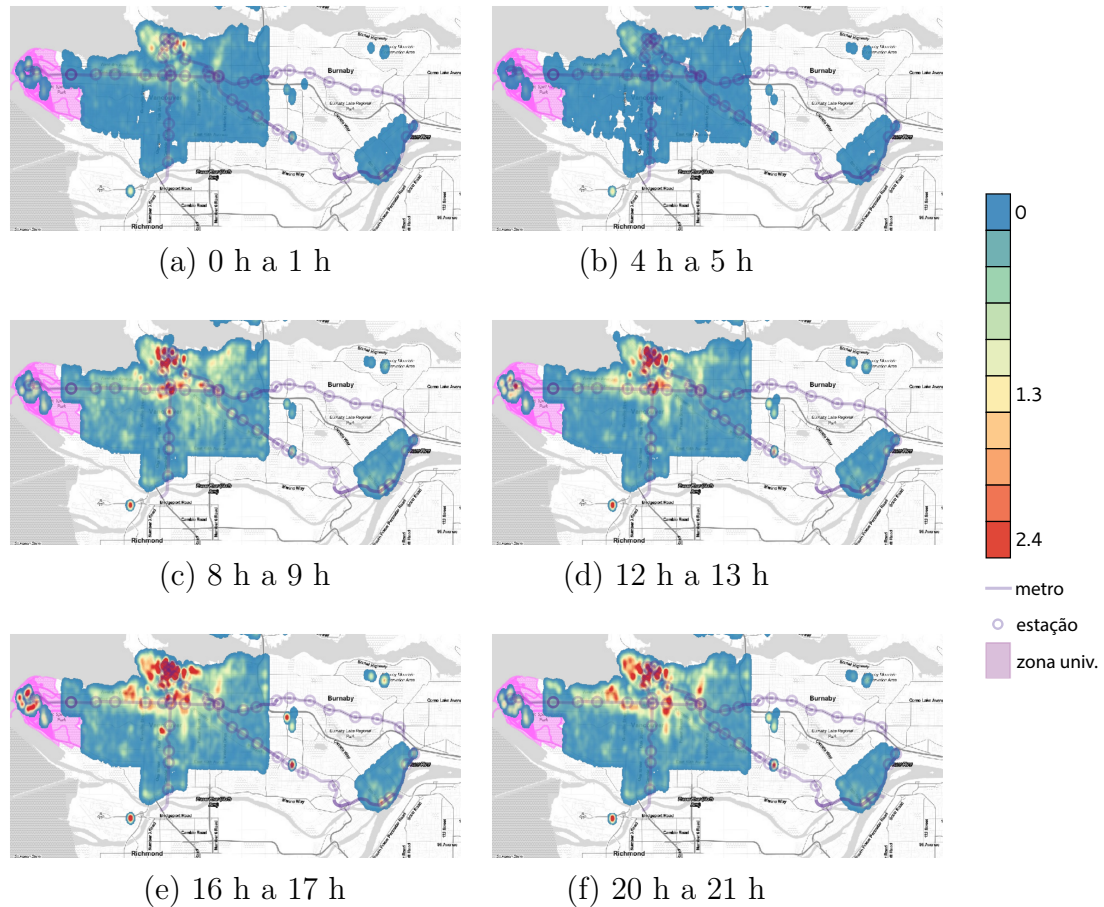


Figura 12 – Demanda espaço-temporal do serviço de duas vias *Evo*.

de metrô (SkyTrains) de Vancouver. Na figura estão representadas as distâncias entre a origem e a primeira, segunda e terceira estações de metrô mais próximas. Podemos observar que 20% das viagens do serviço são iniciadas a menos de 400 metros de uma estação de metrô. Além disso verificamos também que em 50% dos casos há pelo menos três estações a uma distância de até 1,5 quilômetros da origem da viagem. Por fim, notamos também que existem viagens começando exatamente dos locais das estações de metrô. Todos esses números são indicativos que há uma relação significativa entre usuários desse serviço e usuários do sistema metroviário.

As Figuras 14 detalham a demanda espaço-temporal do *Evo*, apresentando uma matriz de origem-destino. Para melhorar sua visualização, normalizamos os valores apresentados em cada hora para uma escala entre 0-1, usando o método min-max (PATRO; SAHU, 2015). Em outras palavras, em cada matriz as cores mais quentes representam os trajetos mais frequentes daquela hora do dia.

De acordo com essas imagens, notamos claramente que, durante todo o dia, os usuários tendem a iniciar e terminar viagens no mesmo local (região). De fato, esse é um comportamento comum em dias laborais, onde os usuários tendem a utilizar os veículos

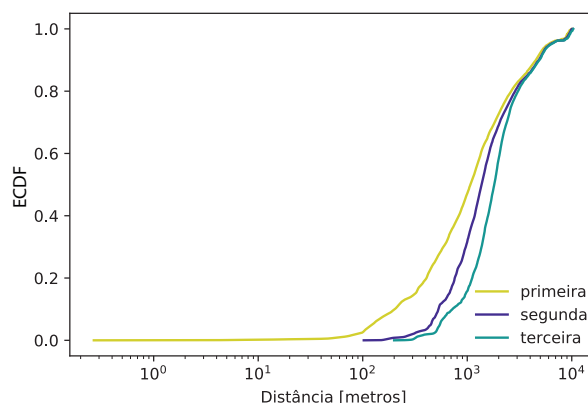


Figura 13 – Função de Distribuição Acumulada das distâncias entre as origens das viagens do *Evo* e as estações dos *SkyTrains* de Vancouver.

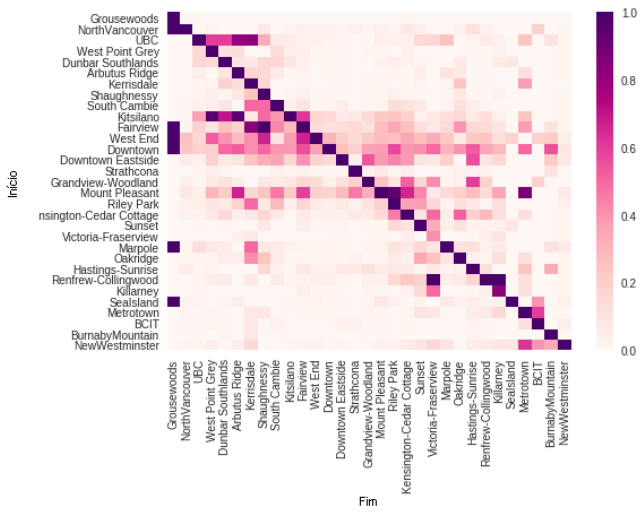
em tarefas diárias, por exemplo em intervalos de rotinas de trabalho, ou mesmo quando habitam a mesma região em que trabalham. No entanto, para todos os horários observados, existe uma demanda espalhada entre algumas regiões que merecem atenção.

Analisando mais a fundo, percebemos alguns padrões: durante as madrugadas, existem alguns movimentos de ida para o centro originado de regiões próximas a ele; pelas manhãs, um fluxo grande saindo de *New Westminster*, para regiões centrais e universitárias de *Burnaby*. Também nota-se um bom fluxo indo dos bairros de *Vancouver* para o centro e lugares *hubs* de serviços de transporte público, como *Strathcona*; pela hora do almoço, é possível observar uma diminuição do uso do serviço nas zonas universitárias da *University of British Columbia* (UBC) e *British Columbia Institute Of Technology* (BCIT); ao final da tarde nota-se um fluxo crescente saindo do centro para as demais regiões, identificado por uma linha horizontal mais forte na matriz, esse fenômeno se estende até o período noturno onde regiões próximas ao centro começam a ter o mesmo comportamento. Sobre essa última característica, não observamos situações opostas (números elevados, onde o destino da viagem seja o centro da cidade). Como consequência, pode-se ocorrer um desbalanceamento na distribuição de veículos do serviço e, de tempos em tempos, o operador do serviço deverá mover veículos de uma região a outra, ou mesmo oferecer vantagens aos usuários que o fizerem, para acomodá-los à demanda diária.

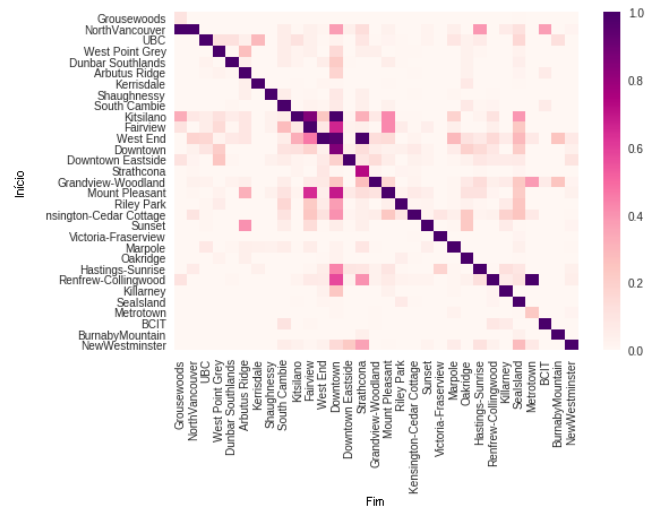
### 5.2.3 Características de utilização dos veículos

Nessa Seção, caracterizamos os períodos ocupados e ociosos dos veículos de compartilhamento em uma via. Em nossa análise, assim como na Seção 5.1.3, consideramos todos os veículos e eliminamos as viagens com mais de 90 horas, o que corresponde a mais de 99,8% de todos os registros de viagens coletados.

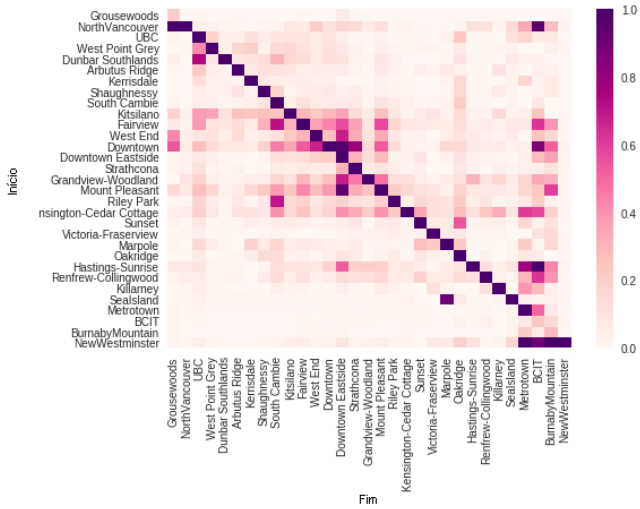
Também identificamos a distribuição estatística que melhor se ajustou aos dados



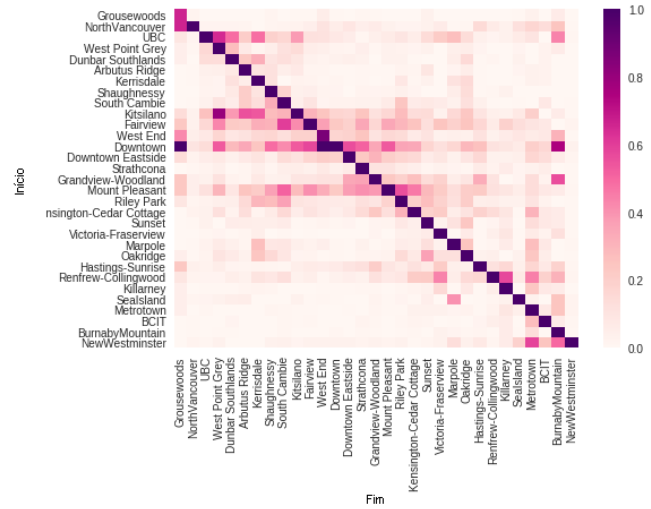
(a) 0 h a 1 h



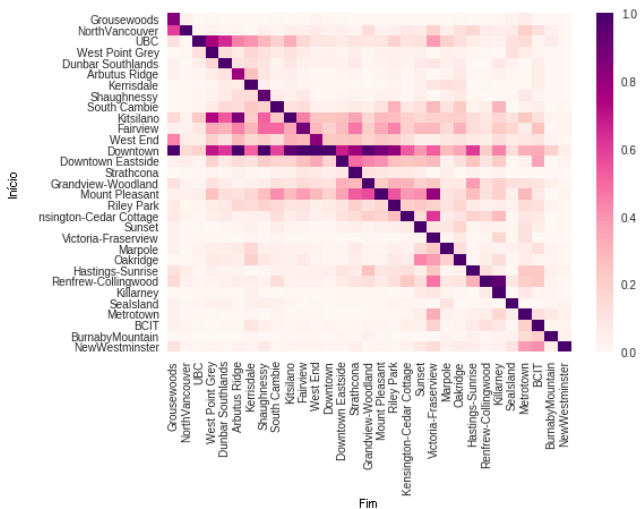
(b) 4 h a 5 h



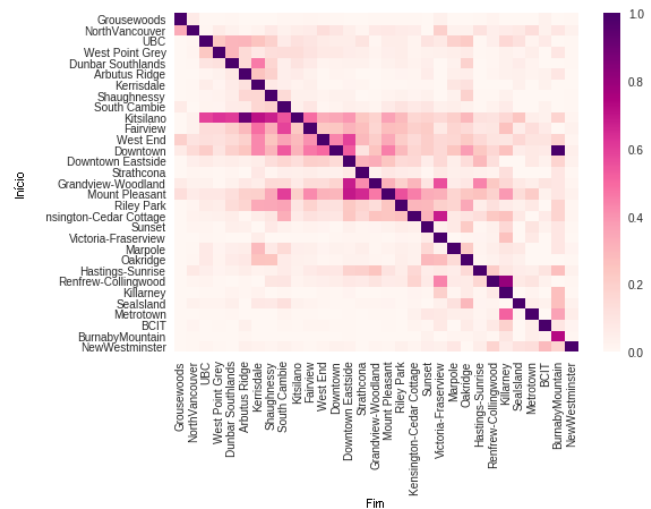
(c) 8 h a 9 h



(d) 12 h a 13 h



(e) 16 h a 17 h



(f) 20 h a 21 h

Figura 14 – Demanda espaço-temporal do serviço de uma via *Evo*.



coletados. Para isso, utilizamos a mesma metodologia apresentada na Seção 5.1.3. A Figura 15, apresenta a ECDF dos tempos de ocupação dos veículos do serviço de uma via e também as curvas das funções estatísticas que melhor se ajustam aos dados. As funções de distribuição estatísticas escolhidas foram: *Inverse Gamma*, *Burr* e *Mielke's Beta-Kappa*. Note que as distribuições favorecem o corpo e a calda da curva de dados. A Tabela 7 apresenta os parâmetros dessas distribuições.

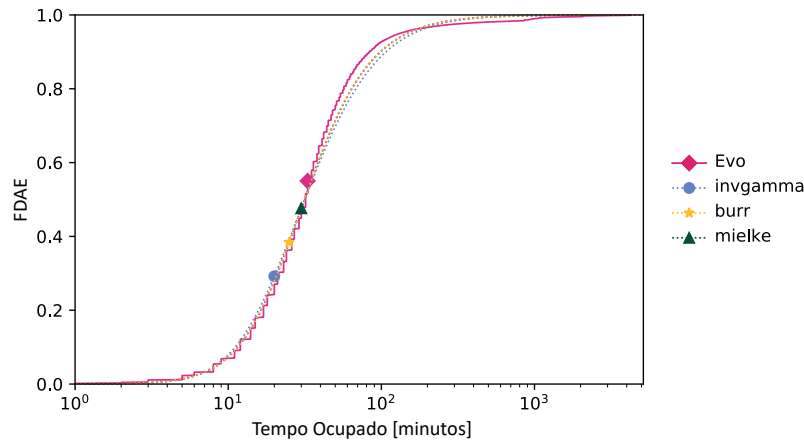


Figura 15 – Função de Distribuição Acumulada dos Tempos de Ocupação dos Veículos do Serviço de Uma Via.

	Inv.Gamma	$a = 2.0674$		$\beta = -4.7928$	$\delta = 63.4382$
Evo	Burr	$c = 1.8332$	$d = 1.5078$	$\beta = -0.1855$	$\delta = 23.5794$
	Mielke	$k = 2.7305$	$s = 1.8336$	$\beta = -0.1125$	$\delta = 23.7291$

Tabela 7 – Parâmetros das curvas de distribuição que melhor se ajustam aos dados de ocupação do serviço de uma via. O  $\beta$  e o  $\delta$  são parâmetros chaves para ajustar a localização e escala das distribuições.

Na Figura 15, podemos notar que a maioria das viagens do serviço de uma via tem uma curta duração. Observamos que 60% das viagens tem duração de até 40 minutos, enquanto que menos de 10% duram mais do que uma hora e meia.

Por fim, a Figura 16 apresenta a ECDF dos períodos ociosos dos veículos do serviço de uma via. Nota-se que os veículos permanecem por curtos períodos ociosos. Menos de 40% dos casos, indicam que os veículos permanecem por mais de 1 hora parados. As distribuições *Power log normal*, *Burr* e *Mielke's Beta-Kappa* melhor se ajustaram aos dados dos períodos de ociosidade. Todas as distribuições favoreceram o corpo e a calda da curva de dados. A Tabela 8 apresenta os parâmetros dessas distribuições.

Por fim, concluímos a partir dos dois gráficos, Figura 15 e 16, que o serviço de uma via é usado, em sua maioria, para viagens de curta a média duração. Além disso, o fato dos veículos desse serviço estarem espalhados pela cidade e a dinâmica como isso acontece, favorecem sua utilização, tornando os períodos de ociosidade curtos. Finalmente, um

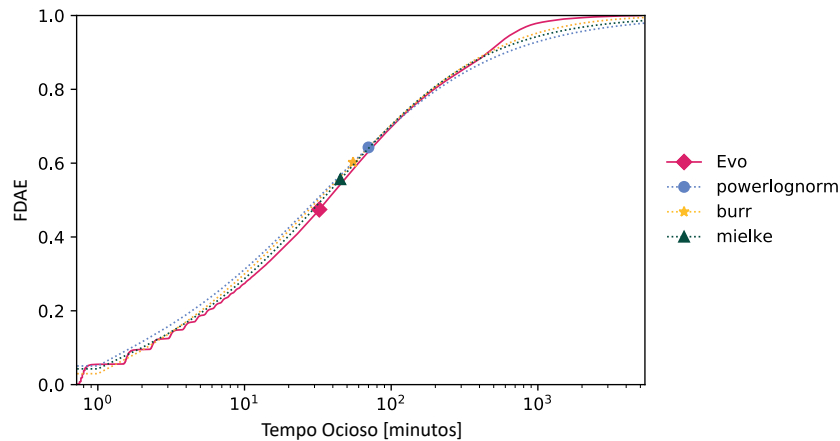


Figura 16 – Função de Distribuição Acumulada do Tempo de Ociosidade dos Veículos do Serviço de Uma Via.

	PLogNorm	$c = 0.0723$	$s = 0.7003$	$\beta = -0.6723$	$\delta = 1.8246$
Evo	Burr	$c = 0.6931$	$d = 3.7574$	$\beta = -0.4881$	$\delta = 2.3713$
	Mielke	$k = 2.7161$	$s = 0.5882$	$\beta = -0.2800$	$\delta = 0.9725$

Tabela 8 – Parâmetros das curvas de distribuição que melhor se ajustam aos dados de ociosidade do serviço de uma via. O  $\beta$  e o  $\delta$  são parâmetros chaves para ajustar a localização e escala das distribuições.

grande número de curtos períodos de utilização, associado a curtos períodos de ociosidade, podem indicar uma boa lucratividade desse serviço.

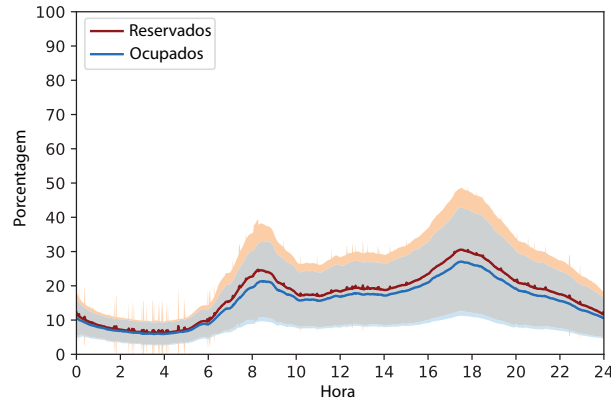
### 5.3 CAR2GO - UM SERVIÇO DE COMPARTILHAMENTO DE VEÍCULOS FLUTUANTE

Será apresentado nessa Seção as características temporais, espaço-temporais e de utilização do serviço flutuante estudado. Na Seção 5.3.1 apresentamos o padrão de demanda diária do serviço, na Seção 5.3.2 analisamos o número médio de veículos utilizados dada as localizações de origem e destino de suas viagens, e além disso, assim como na Seção 5.1.2 e 5.2.2, fazemos também uma análise da relação do serviço com o transporte metroviário de Vancouver. Finalmente, na Seção 5.3.3 analisamos os períodos de ocupação e ociosidade dos veículos e identificamos as distribuições estatísticas que melhor se ajustam aos dados.

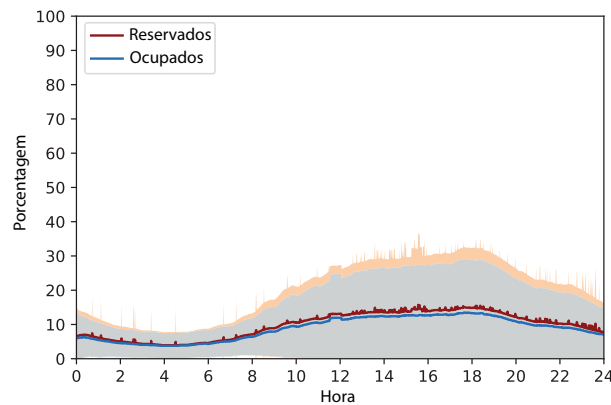
#### 5.3.1 Características temporais

Assim como nas Sessões 5.1.1 e 5.2.1, analisamos nessa Seção o padrão diário de demanda do serviço flutuante. Novamente, na Figura 17, as linhas azul e vermelha referem-se a um valor médio minuto a minuto da porcentagem de veículos ocupados e reservados, respectivamente. Todos os dados disponíveis do *Car2Go* foram considerados. As áreas em

cinza e laranja suavizadas ao fundo representam o desvio padrão. A Figura 17-a apresenta o padrão de demanda durante os dias de semana, enquanto a 17-b apresenta a demanda aos finais de semana.



(a) Dias de Semana do serviço flutuante - *Car2Go*



(b) Finais de Semana do serviço flutuante - *Car2Go*

Figura 17 – Média (e desvio padrão superior/inferior) minuto a minuto da porcentagem de veículos ocupados (linha azul) e reservados (linha vermelha), para dias de semana e finais de semana para o serviço flutuante.

Podemos notar que, assim como no serviço *Evo* apresentado na Seção 5.2.1, de acordo com as Figuras 17-a e b, não há uma expressiva diferença entre o número de carros reservados e efetivamente usados, dessa forma a taxa média de cancelamentos nesse serviço, também é baixa. Ainda é perceptível o número de cancelamentos durante os períodos de pico de carga em dias de semana, menos de 5%. Nos finais de semana, há um padrão inexpressivo de cancelamentos, ocupando todo o dia.

Observamos, um comportamento semelhante ao serviço de uma via durante os dias de semana (Figura 17-a). Existem dois picos de carga, ocorrendo entre 7 h às 10 h e 16 h às 20 h. Ambos em horários de início e fim de rotinas de trabalho. Esse resultado

corroborar com o apresentado por CIOCIOLA et al. (2017), que analisou dois serviços flutuantes na cidade de Turin, Itália, e observou um comportamento semelhante, onde os picos de utilização ocorrem 8 h e entre 17 h e 19 h. Nesse trabalho atribui a utilização também à movimentos de ida e volta de rotinas de trabalho. Na Figura 17-a, nota-se uma pequena diferença na quantidade de reservas, quando comparada ao número de carros utilizados. Essa diferença também pode ser atribuída, da mesma forma que o serviço *Evo*, ao fato das reservas de veículos no serviço serem permitidas apenas 30 minutos antes do início de uma viagem. Por fim, como uma característica comum a todos os três serviços, notamos que a diferença entre carros reservados e carros realmente usados é menor entre 22 h e 4 h, horários estes que também há uma menor demanda pelo serviço.

A Figura 18 apresenta a ECDF dos tempos de ocupação dos veículos nos períodos de pico (07 h às 10 h e de 16 h às 20 h) e também durante todo o dia. O objetivo aqui é entender melhor as características dos picos de carga durante os dias de semana. Observamos nessas curvas que não há diferenças expressivas nos tempos de veículos alugados durante os horários de pico, ou seja, independente da carga e horário os padrões de ocupação dos veículos sofrem muito pouca variação.

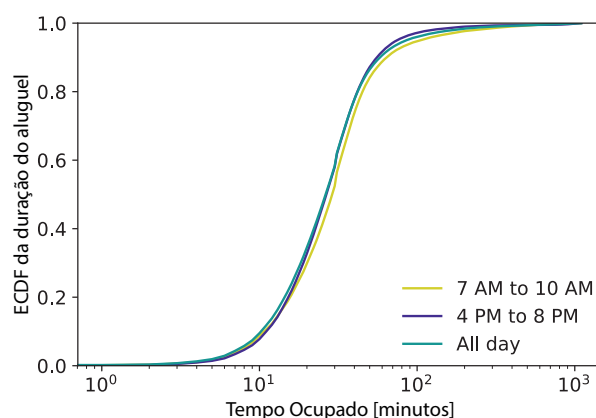


Figura 18 – Função de Distribuição Acumulada do Tempo de Ocupação de Veículos do *Car2Go*.

Aos finais de semana (Figura 17-b), o padrão de utilização médio é relativamente baixo, por exemplo, próximo das 16 h, um pouco mais 10% dos veículos são ocupados. Nesses dias, assim como no *Evo*, a ocupação máxima acontece no período da tarde, entre 10 h e 19 h. Da mesma forma, conjecturamos que a baixa ocupação nesses dias, também possa estar relacionada a oferta de outras alternativas de transporte e ao fato das atividades realizadas nesses dias não terem horários rígidos de início e fim.

Resumindo, pelas Figuras 17-a e b, é observado que a utilização dos veículos segue padrões semelhantes ao serviço de uma via apresentado na Seção 5.2, ou seja: picos em horários de início e fim de jornadas de trabalho em dias de semana; pico durante a tarde, aos fins de semana; e por fim, número de cancelamentos inexpressivos, que podem ser

explicados devido a maneira como o serviço opera. Esses resultados também corroboram com os apresentados por NAMAZU (2017) e LEMPET et al. (2018), como discutido na Seção 5.2. Nesses trabalhos, os autores afirmam que esses serviços são utilizados, por conveniência, como uma alternativa a meios de transportes como táxis e serviços de aplicativos.

### 5.3.2 Características espaço-temporais

Seguindo a mesma metodologia de análise apresentada na Seção 5.2.2, nesta Seção observamos a demanda do serviço em relação ao espaço. Plotamos mapas de calor com médias de veículos ocupados a cada hora do dia em cada localização, plotamos também matrizes de origem-destino para análise das viagens, e por fim, também analisamos a relação de proximidade da origem das viagens com as estações de *SkyTrain* de Vancouver.

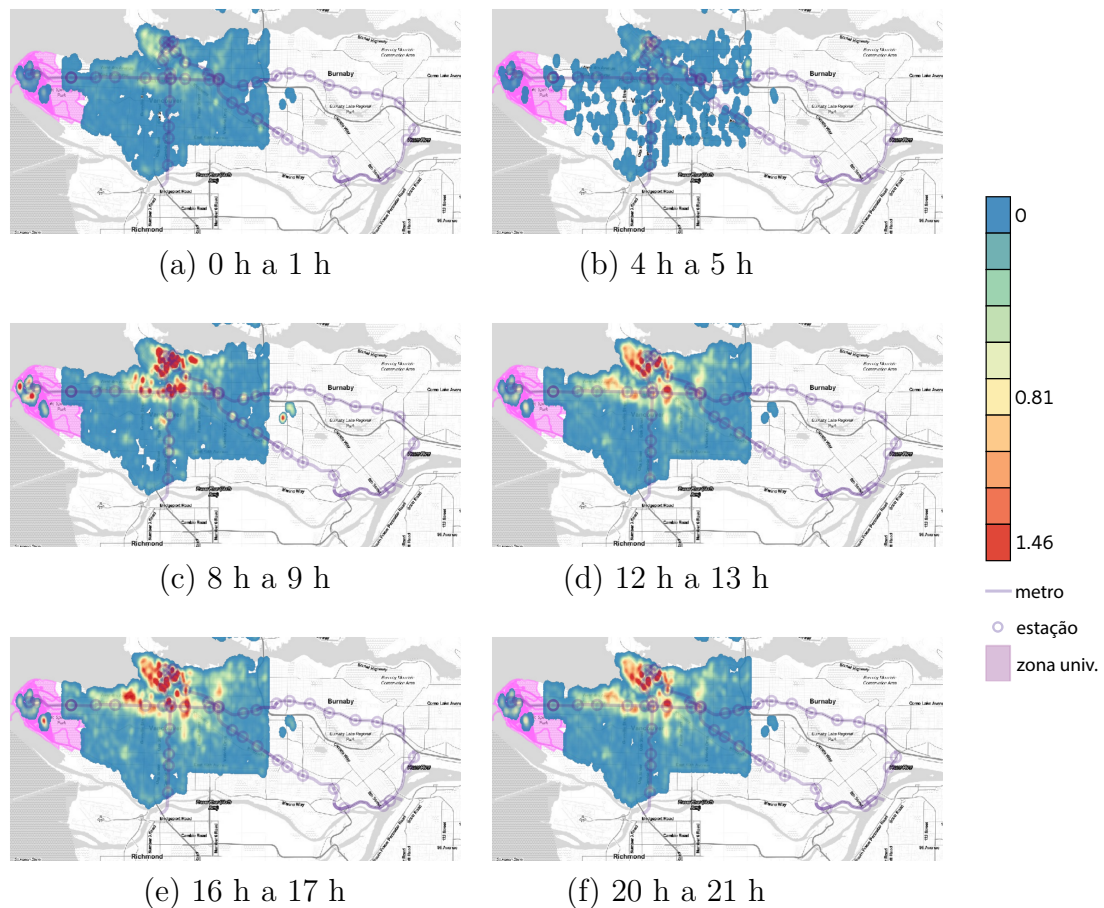


Figura 19 – Demanda espaço-temporal do serviço flutuante *Car2Go*.

Na Figura 19, apresentamos mapas de calor de 6 intervalos, de 1 hora cada, amostrados a cada 4 horas do dia. Novamente, o que se observa nas horas omitidas, são similares aos intervalos, mais próximos a eles, amostrados na figura. Para a criação desses mapas, o mesmo método aplicado ao serviço de uma via foi utilizado. Observamos,

neste e em todos os outros serviços, uma expressiva demanda de uso nas áreas centrais e universitárias, assim como uma baixa demanda pelo serviço na madrugada.

Análises referentes ao serviço de uma via também se aplicam nesse caso. Por exemplo a observação de uma maior demanda pelo serviço nas regiões centrais. Essa situação é esperada por se tratar do local onde a maior porção da população está. A maior demanda nas zonas universitárias também é um fato comum. Além disso, podemos observar que não há atuação desse serviço na área de *New Westminster* e ao norte de *Burnaby*.

Para este serviço, também realizamos uma análise da relação com o sistema de transporte metroviário. Utilizamos o mesmo método aplicado ao sistema de uma via e apresentamos seu resultado nas ECDFs representadas na Figura 20. Através da figura, observamos resultados similares ao serviço de uma via, como por exemplo o fato de 20% das viagens do serviço serem iniciadas a menos de 400 metros de uma estação de metrô. Contudo, percebemos pequenas diferenças, como por exemplo, ao analisarmos a porcentagem da quantidade de viagens iniciadas a 1,5 quilômetros com pelo menos três opções de estações de metrô próximas, o número cai de 50% do serviço de uma via, para 40% no serviço flutuante. Finalmente, também nesse serviço, temos indícios que há uma relação significativa entre seus usuários e usuários do sistema metroviário.

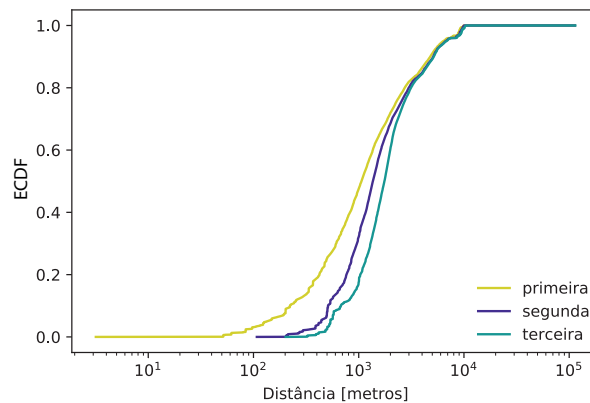
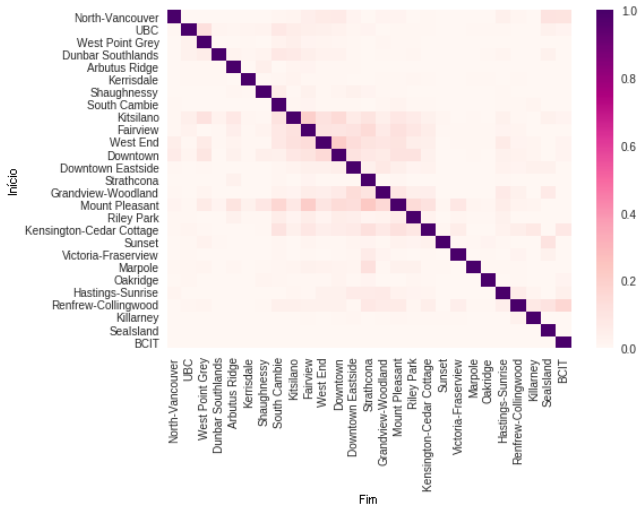


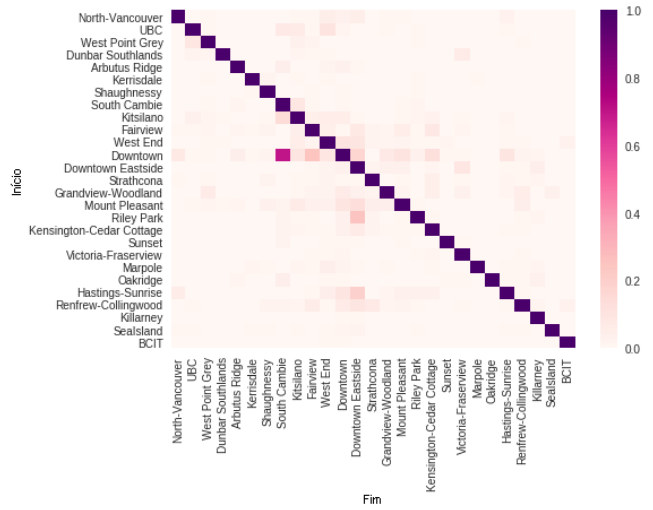
Figura 20 – Função de Distribuição Acumulada das distâncias entre as origens das viagens do *Car2Go* e as estações dos *SkyTrains* de Vancouver.

A fim de analisar as demandas entre as regiões de Vancouver, as Figuras 21-a a f detalham a demanda espaço-temporal do *Car2Go*, apresentando matrizes de origem-destino. Utilizamos a mesma metodologia descrita na Seção 5.3.2, e da mesma forma, em cada matriz as cores mais quentes representam os trajetos mais frequentes daquela hora do dia.

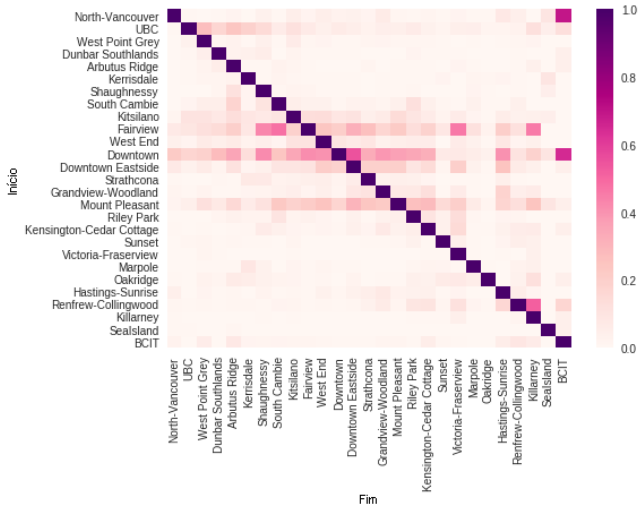
Notamos nessas imagens, vários padrões comuns ao serviço de uma via, como por exemplo, durante todo o dia, os usuários tendem a iniciar e terminar viagens na mesma



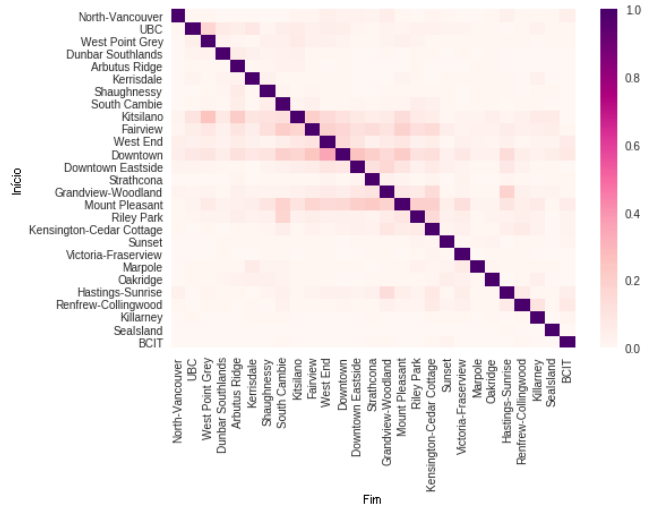
(a) 0 h a 1 h



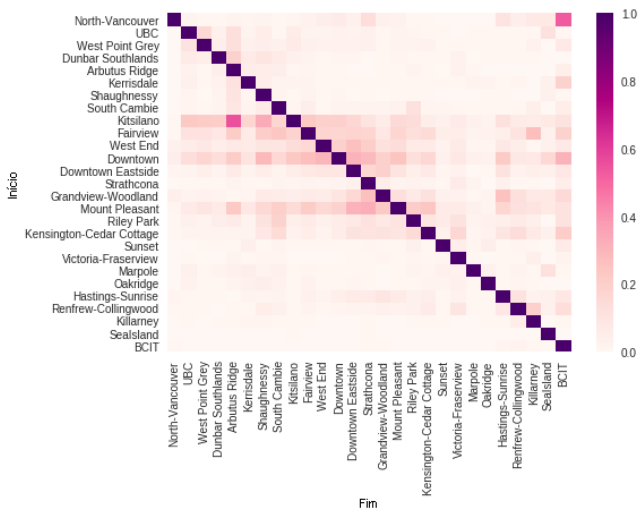
(b) 4 h a 5 h



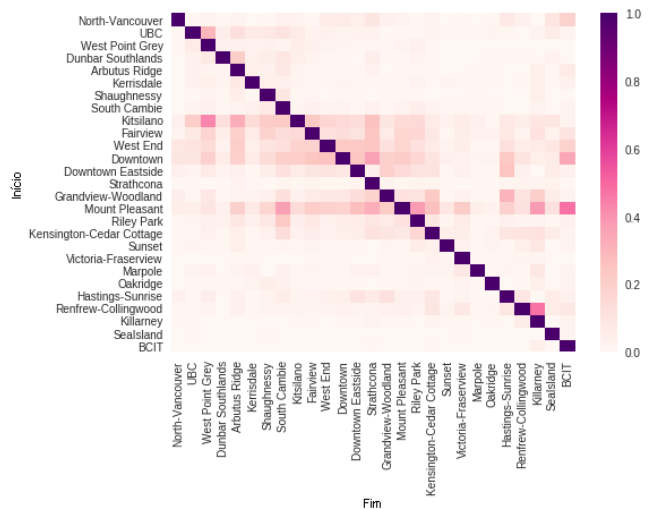
(c) 8 h a 9 h



(d) 12 h a 13 h



(e) 16 h a 17 h



(f) 20 h a 21 h

Figura 21 – Demanda espaço-temporal do serviço flutuante *Car2Go*.

região. Esse fenômeno também pode ser explicado pelo fato do grande número de viagens de curta duração nesse serviço. Durante as manhãs, nota-se um bom fluxo partindo do centro para regiões próximas, com destaque para a BCIT, como pode ser observado na Figura 21-c. Esse fluxo vai diminuindo até o período noturno.

Em resumo, analisando as imagens, existe uma demanda considerável entre as regiões centrais durante a maior parte do dia (das 8 h as 21 h). Contudo, a demanda maior desse serviço é em viagens curtas dentro da própria região de origem. Esses resultados também corroboram com os apresentados por NAMAZU (2017) e LEMPERT et al. (2018) que afirmam que é característico desse serviço o uso por conveniência.

### 5.3.3 Características de utilização dos veículos

Nessa Seção, caracterizamos os períodos ocupados e ociosos dos veículos de compartilhamento flutuante. Consideramos todos os veículos do serviço e filtramos as viagens com mais de 90 horas, o que corresponde, assim como no serviço de uma via, a mais de 99,8% de todos os registros de viagens coletados.

Utilizando a mesma metodologia apresentada na Seção 5.1.3, identificamos as distribuições estatísticas que melhor se ajustaram aos dados coletados. A Figura 22, apresenta a ECDF dos tempos de ocupação dos veículos do serviço flutuante e também as curvas das funções estatísticas que melhor se ajustam aos dados. Novamente, as funções de distribuição estatísticas escolhidas foram: *Inverse Gamma*, *Burr* e *Mielke's Beta-Kappa*. As distribuições favorecem o corpo e a calda da curva de dados. A Tabela 9 apresenta os parâmetros dessas distribuições.

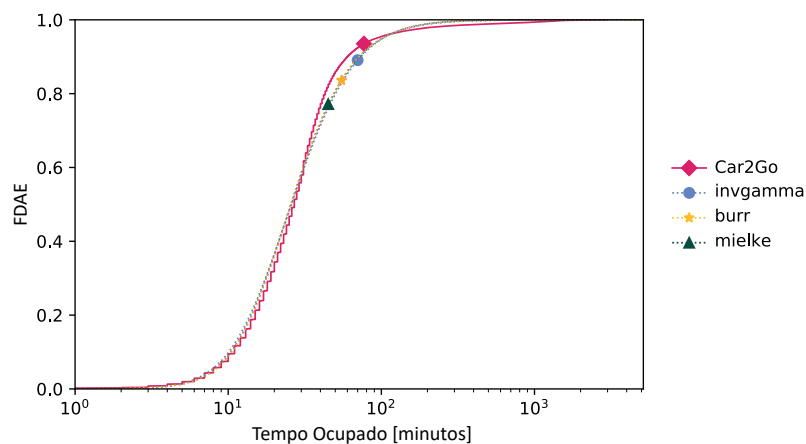


Figura 22 – Função de Distribuição Acumulada dos Tempos de Ocupação dos Veículos do Serviço Flutuante.

Na Figura 22, notamos que há um comportamento parecido com o serviço de uma via, a maioria das viagens do serviço flutuante tem uma curta duração. Ainda assim, comparado ao serviço de uma via, a duração das viagens é menor nesse serviço.



	Inv.Gamma	a = 2.7688		$\beta = -4.9702$	$\delta = 75.2494$
Car2Go	Burr	c = 2.3869	d = 64.2072	$\beta = -12.5240$	$\delta = 5.7419$
	Mielke	k = 37.8163	s = 2.3450	$\beta = -10.9187$	$\delta = 9.6407$

Tabela 9 – Parâmetros das curvas de distribuição que melhor se ajustam aos dados de ocupação do serviço flutuante. O  $\beta$  e o  $\delta$  são parâmetros chaves para ajustar a localização e escala das distribuições.

Observamos aqui, que 60% das viagens tem duração de até 30 minutos, dez minutos a menos que o serviço de uma via. Observamos também, que menos de 10% das viagens duram mais do que uma hora e meia.

Finalmente, apresentamos a ECDF dos períodos ociosos dos veículos do serviço flutuante na Figura 23. Nota-se que os veículos permanecem por curtos períodos ociosos. Assim como o serviço de uma via, também observamos que menos de 40% dos casos, indicam que os veículos permanecem por mais de 1 hora parados. Também nesse serviço, as distribuições *Power log normal*, *Burr* e *Mielke's Beta–Kappa* melhor se ajustaram aos dados dos períodos de ociosidade. Todas as distribuições favoreceram o corpo da curva de dados. A Tabela 10 apresenta os parâmetros dessas distribuições.

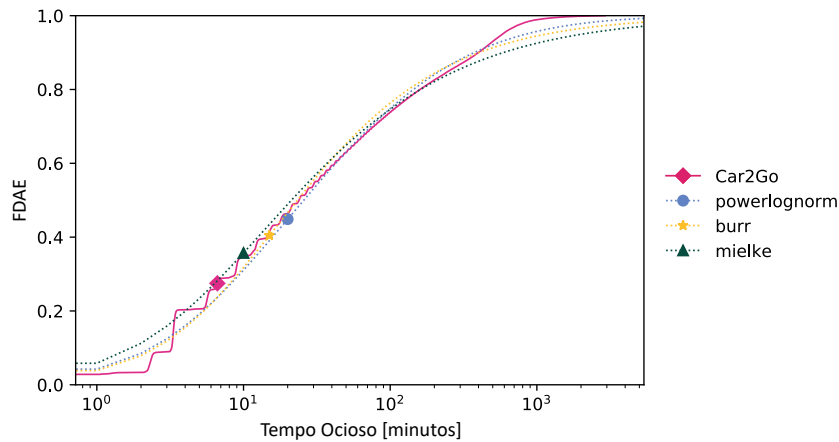


Figura 23 – Função de Distribuição Acumulada do Tempo de Ociosidade dos Veículos do Serviço Flutuante.

	PLogNorm	c = 4.8747	s = 3.3741	$\beta = 0.7134$	$\delta = 1334.7243$
Car2Go	Burr	c = 0.7714	d = 0.7337	$\beta = 0.7166$	$\delta = 53.9727$
	Mielke	k = 0.5743	s = 0.8826	$\beta = 0.7166$	$\delta = 68.1029$

Tabela 10 – Parâmetros das curvas de distribuição que melhor se ajustam aos dados de ociosidade do serviço flutuante. O  $\beta$  e o  $\delta$  são parâmetros chaves para ajustar a localização e escala das distribuições.

Concluimos a partir dos dois gráficos, Figura 22 e 23, que o serviço flutuante é usado para viagens de curta duração, na maioria dos casos, assim como apontado em outros trabalhos (CIOCIOLA et al., 2017). Observamos também, que a duração das

viagens desse serviço são mais curtas que as viagens do serviço de uma via. Além disso, semelhante ao serviço de uma via os períodos de ociosidade também são curtos.

#### 5.4 COMPARAÇÃO ENTRE OS MODELOS

Nessa Seção discutiremos sobre aspectos comuns e divergentes dos três serviços apresentados nas Sessões 5.1, 5.2 e 5.3.

Apresentamos nas sessões anteriores características sobre a demanda dos três serviços. Todos os serviços apresentaram diferenças entre dias de semana e finais de semana. Especificamente o serviço *Modo*, de duas vias, apresentou um padrão distinto de demanda quando comparado aos outros dois serviços. Notamos também, que o número de cancelamentos é considerável no *Modo*, enquanto nos outros dois serviços, esse número é negligenciável. Finalmente, considerando todo o período analisado, observou-se que a variação da demanda é pequena para o *Modo*, porém é alta para o *Evo* e *Car2Go*.

Analisando as características espaço-temporais, Figuras 6, 12 e 19, notamos que todos os três serviços apresentaram uma expressiva demanda de uso nas áreas centrais e nas zonas universitárias. Além disso, nota-se claramente um padrão de demanda diurno nos três serviços. O serviço *Modo* apresenta um padrão de demanda distinto quando comparado aos outros dois serviços, característica essa, ligada ao seu modelo de negócios. Todos os três serviços apresentam indícios de que seus usuários também são usuários de sistemas de transporte metroviário. Por fim, analisando as matrizes de origem-destino, identificamos tanto para o serviço *Evo* quanto para o *Car2Go* que os usuários na maioria dos casos tendem a iniciar e finalizar suas viagens em uma mesma região.

Sobre as características de utilização, notamos que os tempos de ocupação no serviço *Modo* tem mais do que uma hora de diferença quando comparados aos tempos de ocupação dos outros dois serviços. Enquanto no *Modo*, metade das viagens tem mais de 100 minutos de duração, nos outros dois serviços não chegam a ultrapassar 30 minutos. Os usuários no *Modo* devem retornar com os carros para a mesma estação de origem das viagens. Como consequência, eles tendem a realizar tarefas mais longas. Por outro lado, os outros dois serviços são mais flexíveis. Os usuários podem deixar carros em lugares distintos da cidade. Os usuários, por sua vez, tendem a fazer um longo número de viagens, porém mais curtas.

Mais uma vez, para períodos de ociosidade, o *Modo* apresenta um comportamento distinto dos outros dois serviços, apresentando períodos mais longos de ociosidade. De fato, a demanda por compartilhamento de carros flutua sobre a cidade durante um dia, fazendo com que os veículos em suas estações sofram em alguns casos longos períodos de espera por uma viagem. Enquanto os usuários do *Evo* e do *Car2Go* podem estacionar em qualquer lugar, o que contribui para espalhar os veículos pela cidade, movendo-os para

áreas onde serão alugados em breve. Por exemplo, pelo menos 75% dos carros no *Modo* permanecem ociosos por períodos superiores a 2 horas. Para os outros dois serviços, não mais que 20% dos veículos permanecem inativos durante o mesmo período.

Identificamos também, as distribuições estatísticas que melhor se alinharam as curvas de ocupação e ociosidade. A metodologia utilizada para identificação das distribuições nos permitiu encontrar as três distribuições comuns que melhor se ajustaram aos três serviços, tanto para períodos de ocupação, quanto para períodos de ociosidade. São elas: *Inverse Gamma*, *Burr* e *Mielke's Beta-Kappa* para períodos de ocupação e *Power log normal*, *Burr* e *Mielke's Beta-Kappa* para períodos de ociosidade.

De maneira geral, nossa análise mostra que os sistemas de compartilhamento de carros flutuantes e de uma via têm características semelhantes. Eles são usados principalmente para viagens de curta a média duração, enquanto o sistema de duas vias é usado principalmente para viagens de médio a longo prazo, provavelmente para a ida e volta de uma rotina de trabalho, ou visitas às cidades ao redor de Vancouver. Além disso, devido ao espalhamento dinâmico dos veículos do *Evo* e do *Car2Go* pela cidade, os períodos de inatividade dos veículos se tornam mais curtos. Por fim, com um número maior de viagens mais curtas, associado também à períodos ociosos mais curtos, temos indícios de um serviço mais lucrativo.

## 6 CONCLUSÕES

Neste trabalho, caracterizamos três sistemas distintos de compartilhamento de veículos que operam em Vancouver (Canadá) e regiões próximas. Nossa caracterização se baseia em dados coletados entre um período maior do que um ano e nosso estudo revela padrões de hábitos e demandas dos usuários nesses serviços. Fornecemos uma caracterização profunda dos serviços de compartilhamento de carros, incluindo características temporais, espaço-temporais e de utilização dos serviços. Em suma, destacamos as principais diferenças e as características comuns que regem esses serviços.

Em especial, mostramos que os serviços de uma via e flutuantes são bem semelhantes. Nesse caso, eles apresentam viagens mais curtas, quando comparados ao serviço de duas vias. Todos os três serviços apresentam picos de demanda durante o dia. Em especial, durante os dias de trabalho, esses picos ocorrem próximos ao horário de almoço. Nos fins de semana, os picos ocorrem durante as tardes. O serviço de duas vias que analisamos apresenta um número considerável de cancelamentos de reservas e também um tempo de inatividade dos veículos mais alto, quando comparado aos outros serviços. Isso pode indicar um desperdício de produtividade devido ao modelo de negócios. De fato, como os serviços de uma via e flutuantes são flexíveis, permitindo que os usuários aluguem um carro em um local e o deixem em vários outros pontos da cidade. Esse modelo de negócios acomoda dinamicamente a demanda flutuante do serviço. Nesse sentido, os veículos permanecem por períodos mais curtos ociosos. Destacamos também que a utilização do sistema de compartilhamento de carros apresenta forte relação com o sistema de transporte público, principalmente o metropolitano, bem como regiões próximas a pontos de interesse, como universidades públicas e centros comerciais. Finalmente, acreditamos que a caracterização que fornecemos pode ser usada como substrato para a geração de simuladores assim como o planejamento de centros urbanos.

Como trabalhos futuros, vislumbramos possibilidades de pesquisas relacionadas a acomodação dinâmica de veículos conforme a demanda de cada região. Em outras palavras, visando diminuir a inatividade dos veículos, incentivos a usuários na forma de descontos nas viagens por exemplo, poderiam ser dados para que esses realizassem o deslocamento de veículos de regiões com menor demanda momentânea para regiões com maior demanda.

## REFERÊNCIAS

- BECKER, H.; CIARI, F.; AXHAUSEN, K. W. Comparing car-sharing schemes in switzerland: User groups and usage patterns. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, Elsevier, v. 97, p. 17–29, 2017.
- BOLDRINI, C.; BRUNO, R.; CONTI, M. Characterising demand and usage patterns in a large station-based car sharing system. In: IEEE. **Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS), 2016 IEEE Conference on**, 2016. p. 572–577.
- BURKHARDT, J.; MILLARD-BALL, A. Who is attracted to carsharing? **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, Transportation Research Board of the National Academies, n. 1986, p. 98–105, 2006.
- CERVERO, R.; TSAI, Y. City carshare in san francisco, california: second-year travel demand and car ownership impacts. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, Transportation Research Board of the National Academies, n. 1887, p. 117–127, 2004.
- CIARI, F.; BOCK, B.; BALMER, M. Modeling station-based and free-floating carsharing demand: test case study for berlin. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, Transportation Research Board of the National Academies, n. 2416, p. 37–47, 2014.
- CIOCIOLA, A.; COCCA, M.; GIORDANO, D.; MELLIA, M.; MORICHETTA, A.; PUTINA, A.; SALUTARI, F. Umap: Urban mobility analysis platform to harvest car sharing data. In: **2017 IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence Computing, Advanced Trusted Computed, Scalable Computing Communications, Cloud Big Data Computing, Internet of People and Smart City Innovation (SmartWorld/SCALCOM/UIC/ATC/CBDCOM/IOP/SCI)**, 2017. p. 1–8.
- HARMS, S.; TRUFFER, B. The emergence of a nation-wide carsharing co-operative in switzerland. **A case-study for the EC-supported rsearch project “Strategic Niche Management as a tool for transition to a sustainable transport system”**, EAWAG: Zürich, 1998.
- HERRERA, J. C.; WORK, D. B.; HERRING, R.; BAN, X. J.; JACOBSON, Q.; BAYEN, A. M. Evaluation of traffic data obtained via gps-enabled mobile phones: The mobile century field experiment. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, Elsevier, v. 18, n. 4, p. 568–583, 2010.

- HUANG, K.; CORREIA, G. H. de A.; AN, K. Solving the station-based one-way carsharing network planning problem with relocations and non-linear demand. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 90, p. 1 – 17, 2018. ISSN 0968-090X. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X18302511>>.
- KEK, A. G.; CHEU, R. L.; MENG, Q.; FUNG, C. H. A decision support system for vehicle relocation operations in carsharing systems. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 45, n. 1, p. 149 – 158, 2009. ISSN 1366-5545.
- KOPP, J.; GERIKE, R.; AXHAUSEN, K. W. Do sharing people behave differently? an empirical evaluation of the distinctive mobility patterns of free-floating car-sharing members. **Transportation**, Springer, v. 42, n. 3, p. 449–469, 2015.
- KORN, G. A.; KORN, T. M. **Mathematical handbook for scientists and engineers: definitions, theorems, and formulas for reference and review**, 2000.
- LEMPERT, R.; ZHAO, J.; DOWLATABADI, H. Convenience, savings, or lifestyle? distinct motivations and travel patterns of one-way and two-way carsharing members in vancouver, canada. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, 2018. ISSN 1361-9209. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920918306242>>.
- MA, S.; ZHENG, Y.; WOLFSON, O. T-share: A large-scale dynamic taxi ridesharing service. In: **Data Engineering (ICDE), 2013 IEEE 29th International Conference on**, 2013. p. 410–421. ISSN 1063-6382.
- MARTIN, E.; SHAHEEN, S. The impact of carsharing on public transit and non-motorized travel: an exploration of north american carsharing survey data. **Energies**, Molecular Diversity Preservation International, v. 4, n. 11, p. 2094–2114, 2011.
- MILLARD-BALL, A. **Car-sharing: Where and how it succeeds**, 2005. Disponível em: <<https://www.nap.edu/catalog/13559/car-sharing-where-and-how-it-succeeds>>.
- NAMAZU, M. **The evolution of carsharing: heterogeneity in adoption and impacts**. Tese (Doutorado) — University of British Columbia, 2017. Disponível em: <<https://open.library.ubc.ca/collections/ubctheses/24/items/1.0343460>>.
- NAMAZU, M.; DOWLATABADI, H. Vehicle ownership reduction: A comparison of one-way and two-way carsharing systems. **Transport Policy**, v. 64, p. 38 – 50, 2018. ISSN 0967-070X. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967070X16307314>>.

- NOURINEJAD, M. **Dynamic Optimization Models for Ridesharing and Carsharing**. Dissertao (Mestrado) — University of Toronto, 3 2014.
- PATRO, S.; SAHU, K. K. Normalization: A preprocessing stage. **arXiv preprint arXiv:1503.06462**, 2015.
- ROOKE, F.; ALENCAR, V. A.; VIEIRA, A. B.; ALMEIDA, J. M.; IDILIO, D. Characterizing usage patterns and service demand of a two-way car-sharing system. In: **Big Social Data and Urban Computing**, 2019. p. 01–15.
- ROOKE, F.; AQUILES, V.; VIEIRA, A. B.; TEIXEIRA, D. do C.; ALMEIDA, J. M.; DRAGO, I. Caracterização de padrões de demanda e uso de um sistema de compartilhamento de veículos de duas vias. **Workshop de Computação Urbana COURB-SBRC**, v. 2, n. 1/2018, 2018. ISSN 2595-2706. Disponível em: <<http://portaldeconteudo.sbc.org.br/index.php/courb/article/view/2341>>.
- SHAHEEN, S.; CHAN, N. Mobility and the sharing economy: Potential to facilitate the first- and last-mile public transit connections. **Built Environment**, v. 42, n. 4, p. 573–588, Jan 2016.
- SHAHEEN, S. A. Mobility and the sharing economy. **Transport Policy**, v. 51, n. Supplement C, p. 141 – 142, 2016. ISSN 0967-070X. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967070X16000020>>.
- SHAHEEN, S. A.; CHAN, N. D.; MICHEAUX, H. One-way carsharing’s evolution and operator perspectives from the americas. **Transportation**, Springer, v. 42, n. 3, p. 519–536, 2015.
- SHAHEEN, S. A.; RODIER, C.; MURRAY, G.; COHEN, A.; MARTIN, E. **Carsharing and public parking policies: assessing benefits, costs, and best practices in North America**, 2010.
- SHAHEEN, S. A.; SPERLING, D.; WAGNER, C. A short history of carsharing in the 90’s. 1999.
- STILLWATER, T.; MOKHTARIAN, P.; SHAHEEN, S. Carsharing and the built environment: Geographic information system-based study of one us operator. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, Transportation Research Board of the National Academies, n. 2110, p. 27–34, 2009.
- WEIKL, S.; BOGENBERGER, K. Relocation strategies and algorithms for free-floating car sharing systems. **IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine**, v. 5, n. 4, p. 100–111, winter 2013. ISSN 1939-1390.