

Caracterização de Padrões de Demanda e Uso de um Sistema de Compartilhamento de Veículos de Duas Vias

Felipe Rooke¹, Victor Aquiles¹, Alex Borges Vieira¹
Douglas do Couto Teixeira², Jussara M. Almeida²
Idilio Drago³

¹Departamento de Ciência da Computação - Universidade Federal de Juiz de Fora

²Departamento de Ciência da Computação - Universidade Federal de Minas Gerais

³Politecnico di Torino – Itália

felipe.rooke@ufjf.edu.br, victoraquiles@ice.ufjf.br

{borges,douglas,jussara}@dcc.ufmg.br, idilio.drago@polito.it

Abstract. *Urban mobility is directly linked to the demand for communication resources and, therefore, the understanding of mobility patterns is useful for a correct planning of communication structures. However, getting data on mobility is a challenge. In many cases, few companies have access to accurate and current data. In most cases, this data is privacy sensitive. In this way, it is important to generate models that can represent urban mobility patterns and their social interactions. In this paper, we characterize and present a model about the patterns of urban mobility, from the view of the patterns of demand and use of two-way carsharing system. We explore public data of Modo, a carsharing service that operates in Vancouver (Canada) and regions around. Our characterizations and models generated information about habits and driving styles that can be explored for urban planning and communication networks.*

Resumo. *Mobilidade urbana está intrinsecamente ligada à demanda por recursos de comunicação e assim, entender padrões de mobilidade é útil para um correto planejamento de estruturas de comunicação. 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. Nesse sentido, é importante gerar modelos que possam representar os padrões de mobilidade urbana e suas interações sociais. Neste trabalho, nós caracterizamos e apresentamos um modelo sobre os padrões de mobilidade urbana, a partir da visão dos padrões de demanda e uso de um sistema de compartilhamento de veículos de duas vias. Nós exploramos os dados públicos do Modo, um serviço de compartilhamento de veículos que opera em Vancouver (Canadá) e regiões em seu entorno. Nossas caracterizações e modelos gerados fornecem informações sobre hábitos e estilos de condução que podem ser explorados para planejamento urbano e de redes de comunicação.*

1. Introdução

A compreensão da mobilidade urbana tem sido alvo de estudos e investimentos. Mobilidade está intrinsecamente ligada à demanda de recursos de comunicação. Além disso,

a massificação de dispositivos móveis tem tornado o acesso às redes ubíquo e centrado nos usuários, e não em infraestruturas rígidas. 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 a 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 de carga livre (*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]. Similarmente, características de grupos de usuários e padrões de utilização em serviços de carga livre também foram abordados [Kopp et al. 2015] [Ciociola et al. 2017]. No entanto, ainda não existem trabalhos que caracterizem e gerem modelos a respeito de serviços de duas vias. Dado o dinamismo desses sistemas, é importante estudá-los e caracterizá-los de outros ângulos, ainda não explorados anteriormente.

Neste trabalho, 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. Mais precisamente, nós exploramos os dados públicos do *Modo*¹, um serviço de compartilhamento de veículos que opera em Vancouver (Canadá) e regiões em seu entorno. Em suma, destacam-se entre as principais

¹<http://www.modocoop/>

contribuições deste trabalho:

- (i) a caracterização da demanda e do uso de um grande serviço de compartilhamento de veículos de duas vias;
- (ii) a geração de modelos simples, que podem ser explorados para planejamento urbano e de redes de comunicação.

Acreditamos que nosso estudo representa um passo importante para entender e propor potenciais melhorias, tanto para o compartilhamento de carro, quanto para sistemas de transportes públicos no geral. De fato, os dados analisados e a caracterização apresentada podem servir de substrato para tomadas de decisões relacionadas a mobilidade urbana. Como também, tal abordagem pode gerar informações para uma interpretação do fluxo e dinâmica da movimentação de veículos, assim auxiliando no planejamento e otimização da alocação de recursos e infraestrutura de redes em uma região.

O restante deste artigo está organizado como segue: a seção 2 descreve o funcionamento dos serviços de carros compartilhados existentes e introduz detalhes do modelo de duas vias, foco deste trabalho; a seção 3 trata da metodologia de coleta e apresenta os dados coletados; a seção 4 apresenta os resultados obtidos das caracterizações e análises dos dados; a seção 5 apresenta os trabalhos relacionados e a seção 6 a conclusão e trabalhos futuros.

2. Modelo de compartilhamento de veículos

Os princípios básicos do compartilhamento de carros já existem há mais de 70 anos. A ideia é que uma frota de carros possa ser compartilhada por vários usuários, que podem dirigir um carro quando precisarem, sendo que não necessariamente um usuário precise possuir um carro. Os primeiros esquemas de carros compartilhados datam da década de 1940 [Shaheen et al. 1999]. Nas décadas seguintes, existiu um esforço grande da indústria em promover uma motorização da população, fazendo com que a partilha de carros perdesse sua atratividade. Anos se passaram e apenas no início da década de 1990, juntamente aos problemas emergentes de grandes centros urbanos, 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. 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, encontramos dois modelos de negócios de compartilhamento de veículos: os baseados em estações e os de carga livre. Dentre os baseados em estações, existem ainda duas divisões: os serviços de uma via e os serviços de duas vias.

Nos modelos onde há estações, o usuário faz a retirada do veículo para utilização, na estação base onde se encontra o carro reservado. Utilizando o serviço de uma via, o usuário tem a opção de deixar o carro em qualquer uma das estações bases espalhadas pela região de cobertura. Já para os serviços de duas vias, ele deve obrigatoriamente retornar com o veículo à estação de origem, onde ocorreu a retirada. Especificamente o modelo de duas vias, requer uma logística e infraestrutura mais simples comparados aos outros modelos, sua implementação pode ser realizada com um menor custo e maior velocidade.

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, existe a possibilidade que em um trajeto de ida e volta, ao realizar uma nova reserva para a volta, o mesmo veículo não esteja mais disponível, seja por uma reserva de outro usuário ou manutenção do mesmo.

No modelo de carga livre não há estações fixas para os veículos. Fazendo uso deste modelo, o usuário pode reservar o carro mais próximo e deixá-lo ao fim da viagem em qualquer localização de uma área pré-definida. 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.

Há trabalhos que caracterizam e modelam serviços de uma via [Ciari et al. 2014], chegando até ao consenso sobre algumas questões, tais como: (i) os mercados mais aceitos para esses serviços, são em áreas urbanas densas e com bons transportes públicos [Stillwater et al. 2009]; (ii) o perfil dos usuários destes sistemas é composto de jovens, com renda alta e bom nível de escolaridade [Burkhardt and Millard-Ball 2006]. Há também pesquisas que confirmam impactos positivos no sistema de transporte, como a diminuição do tráfego e emissão de poluentes [Cervero and Tsai 2004, Martin and Shaheen 2011], redução da necessidade de estacionamentos e o aumento na utilização de transportes públicos [Shaheen et al. 2010]. Entretanto, para o melhor de nosso conhecimento, não há estudos de caracterização ou modelos para serviços de compartilhamento de veículos de duas vias e assim, há uma lacuna a ser explorada.

A Figura 1 apresenta um modelo abstrato que descreve o funcionamento de um sistema de compartilhamento de veículos. As informações do modelo podem ser aplicadas aos 3 tipos de serviços. Note que existem quatro possíveis estados para um veículo: disponível, parcialmente disponível, alugado e indisponível. Esses estados definem quando um veículo está ocupado ou ocioso. Um veículo, assim que reservado, passa do estado disponível, para o estado parcialmente disponível (1). Essa reserva também pode ocorrer como um aluguel imediato, nesse caso passando do estado disponível para alugado (2). A partir do estado parcialmente disponível, quando a hora reservada chega e o aluguel se inicia, o veículo passa para o estado alugado (3). Caso haja o cancelamento da reserva o veículo retorna ao estado disponível (4). Partindo do estado alugado, um veículo pode retornar ao estado parcialmente disponível, quando um aluguel é finalizado e existe uma reserva agendada no intervalo (5), ou pode retornar ao estado disponível quando não há mais reservas para o veículo (6). O veículo transita para o estado indisponível quando está em manutenção ou fora de serviço (7) e retorna quando tem suas pendências solucionadas (8).

3. Metodologia de coleta de dados

Nosso estudo se baseia em dados públicos do *Modo*, um serviço de compartilhamento de veículos (*car sharing*) que opera em Vancouver (Canadá) e regiões em seu entorno. O

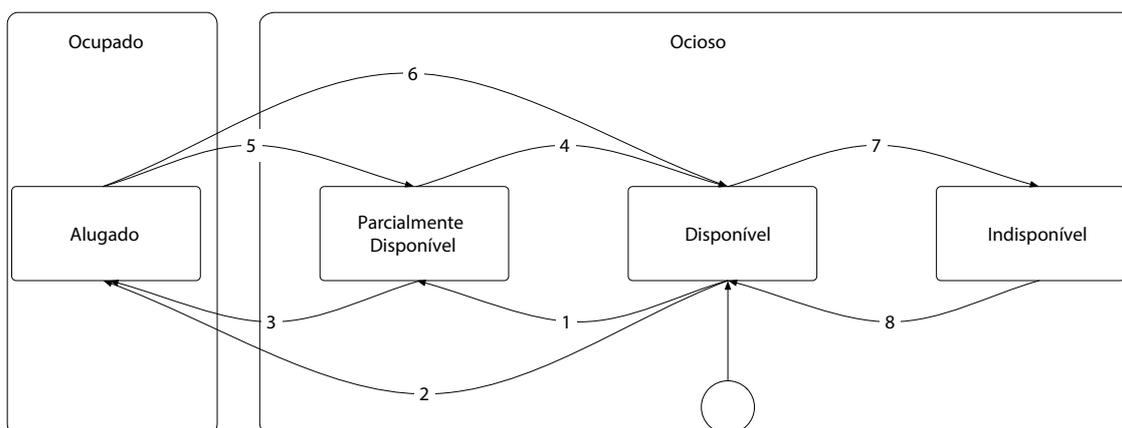


Figura 1. Estados de um veículo em um sistema de compartilhamento de veículos de dias vias

Modo, em 2017, apresentava cerca de 600 veículos, distribuídos entre carros convencionais, elétricos e híbridos. Além disso, este sistema cobre cerca de 18000 usuários, por uma área de aproximadamente 133 km².

O processo de coleta de dados foi conduzido por meio de um programa robô de coleta (*crawler*), utilizando a API REST disponibilizada pela plataforma *Modo*². 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.

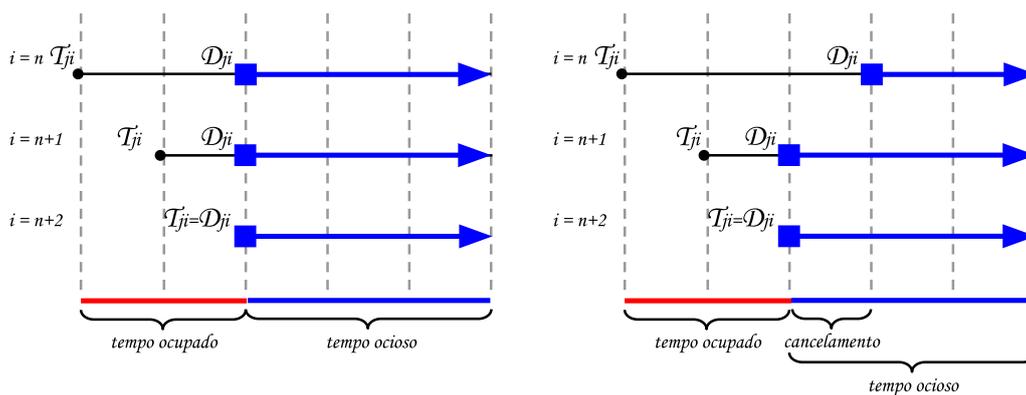
Para obter os dados dos veículos, realizamos requisições à API da plataforma *Modo*, sendo que cada uma retorna o primeiro intervalo de disponibilidade de determinado veículo dentro de um intervalo maior de 24 horas a partir do momento da requisição. Realizamos uma requisição por minuto e a cada requisição foi capturada a situação do veículo. A cada requisição, uma lista de identificadores de carros é passada como parâmetro, como retorno, é recebido o horário de início e fim do seu primeiro intervalo de disponibilidade a contar do momento da requisição, além disso, é retornado também a localização e a identificação de sua estação. Os valores de início e fim podem nos informar se o carro está totalmente disponível, parcialmente disponível ou indisponível. A partir da observação dessas situações, foi possível julgar posteriormente o tempo em que determinado veículo permaneceu ocupado ou ocioso, Figura 2. Veículos no estado indisponível, ou seja, em manutenção ou fora de serviço, não participaram da coleta.

A Figura 2 ilustra melhor o processo de coleta de dados. Nela, são mostradas três situações possíveis de serem observadas para um veículo. Na figura, cada raia representa um intervalo de tempo, os marcros quadrados representam o início do período de disponibilidade e os marcros redondos representam o momento da coleta do dado. A primeira situação, Figura 2-a, de término de locação, é observado o tempo em que o veículo iniciará sua janela de disponibilidade, caso o tempo de início da janela seja igual ao tempo da requisição, significa que o veículo se encontra disponível, portanto ocioso. Quando o tempo de início está à frente do tempo da requisição, significa que o carro está sendo utilizado, portanto ocupado. A segunda situação, Figura 2-b, é a de cancelamento, onde é

²<http://modo.coop/api/>

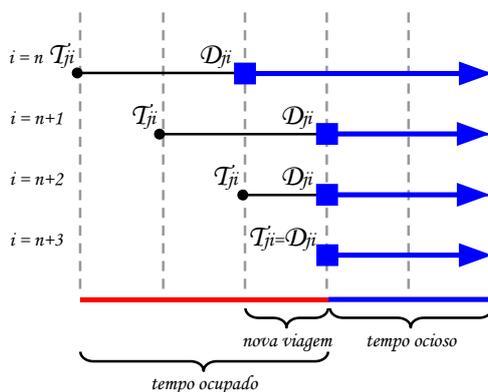
observado o tempo de início de uma janela de disponibilidade futura, e em um momento seguinte, esse início teve um adiantamento. O tempo cancelado é considerado ocioso. A terceira situação, Figura 2-c, é a de nova viagem consecutiva, no qual é observado o tempo de início de uma janela de disponibilidade futura, e em um momento seguinte, esse início teve um adiamento. O tempo da nova viagem é considerado tempo ocupado.

Formalmente, definimos as três situações possíveis de observação para um veículo j . Sendo T_{ji} o tempo em que foi realizada a requisição à API do início da próxima janela de disponibilidade, D_{ji} , do veículo j no instante i e sendo n o tempo de início de um intervalo qualquer. A primeira situação é a de término de locação de um veículo. Nessa situação, D_{ji} permanece sem alterações durante os instantes i de captura até que $T_{ji} = D_{ji}$, momento em que o veículo j , deixa de estar ocupado e passa a ficar disponível a partir do momento da requisição, T_{ji} . A segunda situação é a de cancelamento, na qual D_{ji} , no instante $i = n + 1$ diminui, portanto ocorreu um cancelamento do intervalo D_{ji} , com $i = n + 1$, a D_{ji} , com $i = n$. Os intervalos cancelados são contabilizados como tempo ocioso. A terceira situação é a de nova viagem consecutiva, na qual, analogamente ao cancelamento, quando observado que D_{ji} no instante $i = n + 1$ aumentou, considera-se que uma nova viagem consecutiva foi agendada de D_{ji} , com $i = n$ a D_{ji} , com $i = n + 1$.



(a) Situação normal de término de locação

(b) Situação de cancelamento



(c) Situação de nova viagem consecutiva

Figura 2. Captura de dados do carro j nos instantes i

Além das informações de disponibilidade, foram coletadas também informações de localização das estações bases, modelo dos veículos, placa, acessórios, bem como se o veículo é elétrico, híbrido ou comum. Além disso tornamos público o código utilizado

para efetuar a coleta para fins de pesquisa³. Os dados sobre modelo dos veículos, placa e acessórios coletados, não foram utilizados nessa pesquisa, contudo podem ser aproveitados em trabalhos futuros.

A Tabela 1 resume o volume de dados coletados/analísados neste trabalho a partir dos métodos apresentados anteriormente, para cada veículo. Mais precisamente, neste trabalho foram coletados e analisados 25.799.785 registros, correspondentes a cada minuto de utilização de uma frota de 582 veículos, distribuídos em 455 estações no território de Vancouver (Canadá) e regiões em seu entorno. Os dados foram coletados durante o período de 21 de outubro a 21 de novembro de 2017. Utilizando a metodologia de coleta apresentada na seção anterior, foram identificados 35.934 registros de reservas e 25.266 registros de viagens.

Descrição	Quantidade
# de Registros Coletados	25.799.785
# de Registros de Reservas	35.934
# de Registros de Viagens	25.266
Comuns	465
# de Veículos Híbridos	113
Elétricos	4
# de Estações	455

Tabela 1. Quantitativos dos dados coletados

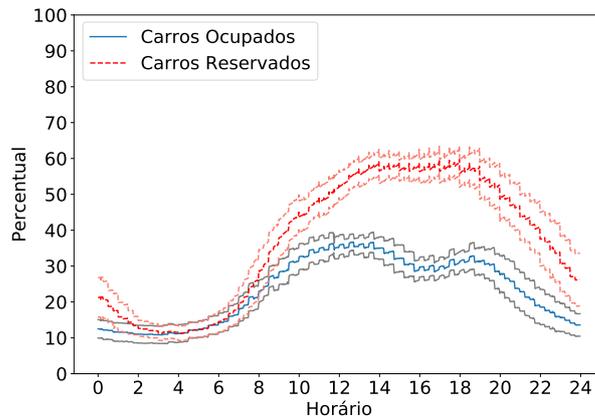
4. Caracterização do serviço de compartilhamento de veículos

A Figura 3 apresenta os padrões de demanda diária pelo serviço de compartilhamento de veículos. A Figura 3-a apresenta os padrões durante dias de semana, enquanto a Figura 3-b, apresenta as demandas durante fins de semana. Os gráficos traçam a média e desvio padrão, minuto a minuto, dos carros ocupados e reservados. A média e o desvio padrão foram computados selecionando o mesmo minuto do dia, para cada hora, para todos os dias de semana e finais de semana das quatro semanas coletadas.

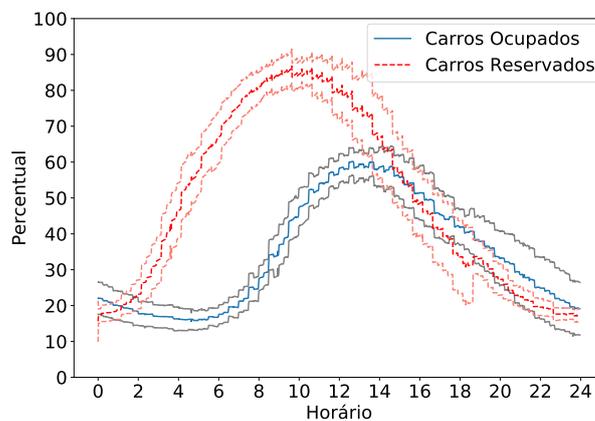
Por estas Figuras, note que há uma expressiva diferença entre as porcentagens de reservas e ocupação, o que pode ser atribuído a cancelamentos. Durante a semana, a diferença entre carros ocupados e reservados é mais marcante em horários críticos do dia, como os intervalos de almoço ou ao fim do expediente de trabalho. Nos fins de semana, a diferença apresenta somente um pico, que ocorre predominantemente pela manhã e se estende até o horário do almoço.

Mais precisamente, analisando a Figura 3-a, pode ser observado que há picos de ocupação de 10 h às 14 h e de 18 h às 20 h, os quais são horários típicos de movimentação de ida e volta de rotinas de trabalho, além disso as reservas ficam em porcentagens altas das 10 h às 20 h demonstrando uma alta na utilização do serviço, mas com grandes taxas de cancelamento. Também é visível que no intervalo entre as 2 h às 7 h a porcentagem dos carros ocupados e reservados se aproxima significativamente, demonstrando que o horário é característico de baixo número de cancelamentos, provavelmente por se tratar de dias laborais, o que resulta em pouca atividade nesse período.

³<https://github.com/netlabufjf/Modo-Scripts>



(a) dias de semana



(b) finais de semana

Figura 3. Percentual médio de veículos ocupados/reservados em dada hora para dias de semana e fins de semana.

A Figura 4 detalha os picos de ocupação de dias de semana entre 11 h às 13 h e 18 h às 19 h. A função de distribuição acumulada (ECDF) mostra que, 70% das ocupações ocorridas com início durante estes períodos têm duração de até 3 horas, sendo que tal duração engloba tempo de ida e volta para a estação de origem, portanto com deslocamentos com tempos menores que 1 hora 30 minutos. Esse valor corrobora com ainda mais indícios da relação das viagens com as pausas das rotinas de trabalho.

A Figura 3-b, que apresenta o percentual de carros ocupados/reservados nos finais de semana, apresenta um comportamento notadamente diferente do apresentado para dias de semana. Em finais de semana, há um pico de ocupação entre 11 h e 17 h, com um máximo de 60% de ocupação próximo às 13 h. O pico de reservas ocorre entre 6 h e 13 h e, nesse período, até 85% dos carros disponíveis estão reservados (por volta das 10 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. Note que, ao fim do dia (em finais de semana), o número de reservas cai drasticamente. Por exemplo, a partir

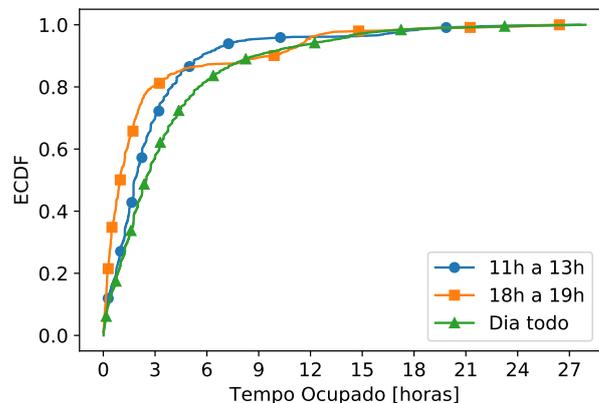


Figura 4. Função de Distribuição Acumulada do tempo de ocupação de veículos nos horários de picos semanais.

das 19 horas, menos de 30% dos carros disponíveis estão reservados. Visualizando as linhas no gráfico, é possível notar, também a partir das 19 h, que a quantidade de reservas fica inferior a quantidade de ocupações. Os carros ocupados nesse período (a partir das 19 h) correspondem aos carros reservados no intervalo anterior, caso contrário a linha de ocupados estaria sempre abaixo da linha de reservados o que é uma característica esperada por se tratar de horários tardios, assim o uso provavelmente é para eventos de lazer que não detém de um horário fixo para o término. Em geral é perceptível que o número de reservas, em sua maioria, é superior ao de ocupação, dado que em finais de semana há maior chance das atividades serem desprovidas de horários fixos, assim é comum as reservas serem para longos períodos mesmo que venham a não serem utilizadas totalmente.

Em resumo, pelas Figuras 3-a e b, é observado que a utilização dos veículos seguem padrões habituais durante o dia, com picos em horários de pausa e saída do comércio 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 pela grande movimentação e disponibilidade de outros meios de transporte, principalmente em um grande centro como Vancouver.

Foi realizada uma análise da demanda em relação ao espaço. Para essa análise, foram plotados mapas de calor com médias de veículos ocupados em cada hora do dia, em cada estação. As médias foram normalizadas e apresentadas dentro de um intervalo de 0 a 100, onde quanto mais próximo de 0, menor o número de veículos sendo utilizados naquela hora e quanto mais próximos de 100, o contrário.

A Figura 5, representa 6 intervalos espaçados de 4 em 4 horas, Figuras 5-a a f, dos mapas gerados. É possível verificar que, ao longo da madrugada -0 h as 5 h-, o número de viagens vai aumentando nas estações das zonas centrais, nas zonas universitárias 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 que aqueles que utilizam os sistemas de carros compartilhados também fazem uso de transporte público. 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 variam entre 50% a 100%.

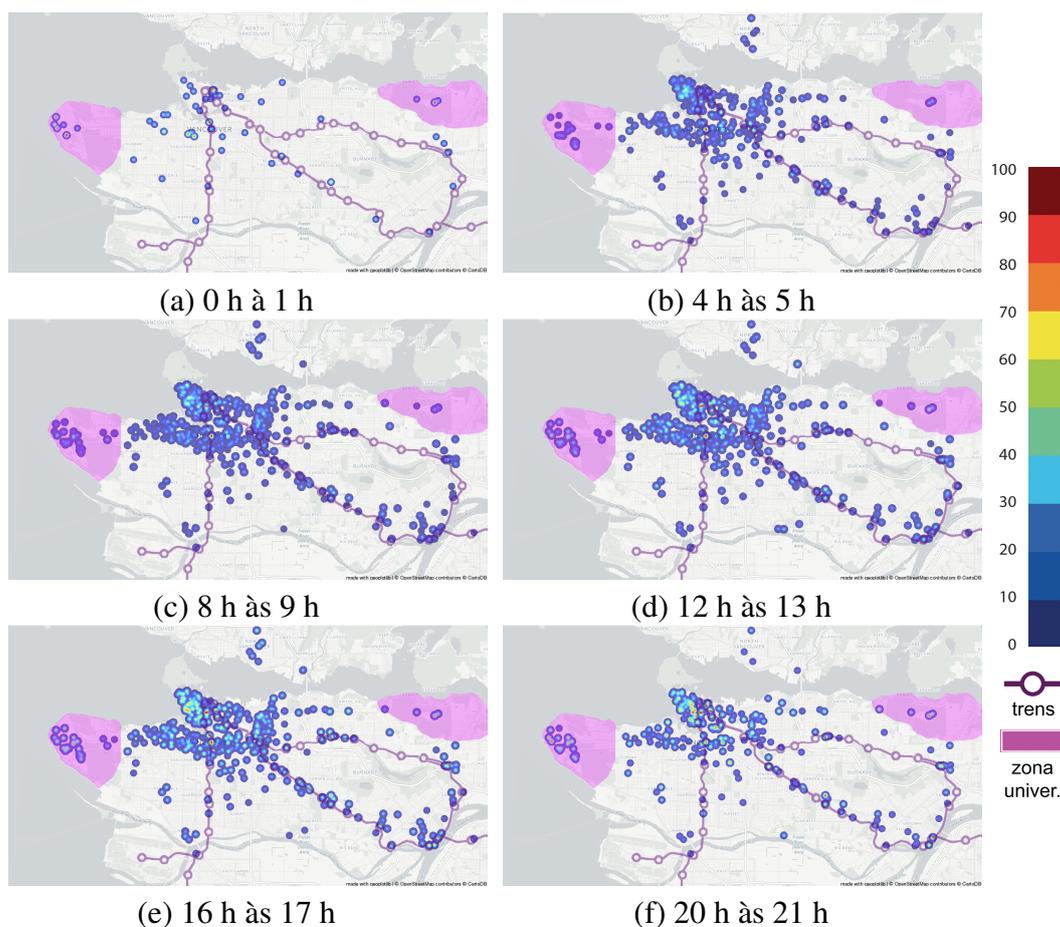
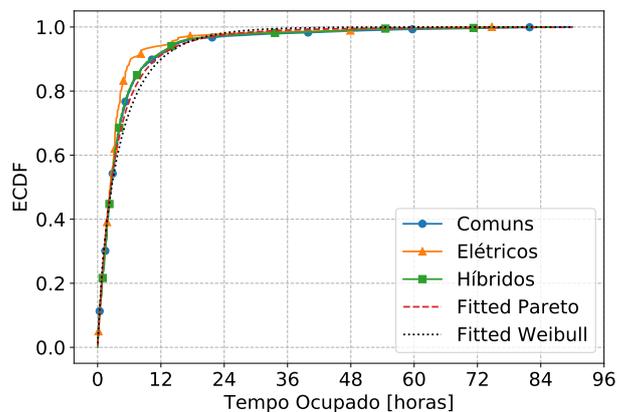


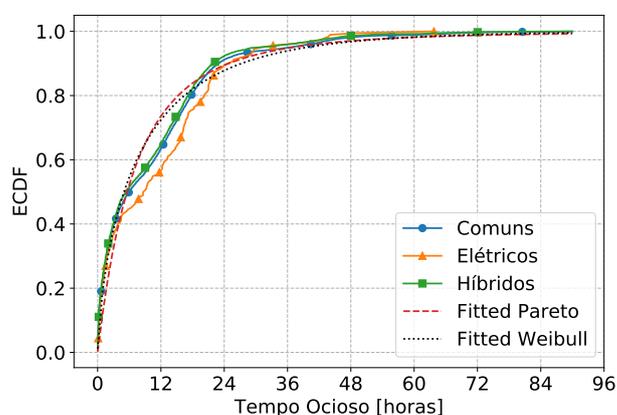
Figura 5. Percentual de veículos ocupados em dada hora em Vancouver e seus entornos

A fim de caracterizar a utilização do serviço de compartilhamento de duas vias, foram analisados os tempos em que os veículos permaneceram ocupados e ociosos. Para essa análise, foram geradas duas ECDFs, representadas na Figura 6 onde são plotados os tempos em que os veículos ficam ociosos ou ocupados, tanto para carros comuns, híbridos e elétricos.

Identificamos a distribuição estatística que melhor se ajusta aos dados, dentre distribuições amplamente usadas na literatura: normal, log-normal, exponencial, Gamma, Logística, Beta, Uniforme, Weibull e Pareto para variáveis contínuas; Poisson, Binomial, Binomial Negativa, Geométrica e Hipergeométrica para variáveis discretas. Para cada componente do modelo, os parâmetros da distribuição que mais se aproximam dos



(a) ocupados



(b) ociosos

Figura 6. Percentual de veículos em dada duração de tempo ocupado e ocioso.

dados são determinados usando o método de estimativa por máxima verossimilhança. Após a definição dos parâmetros de cada componente modelo, a distribuição com menor distância de Kolmogorov-Smirnov (distribuições contínuas) ou menor erro quadrático mínimo (LSE) (distribuições discretas) em relação aos dados foi escolhida. Esta escolha também é validada com uma avaliação visual do ajuste das curvas.

A Figura 6-a apresenta o tempo de utilização do serviço. Note que as distribuições Weibull⁴ (com parâmetros $\alpha = 0.7074744$ e $\beta = 503.1711$) e Pareto⁵ (com parâmetros $\alpha = 2.97408$ e $\beta = 1275.347$), apresentam ajustes adequados aos dados medidos. Ambas as distribuições apresentam MLE semelhantes e, visualmente, se encaixam bem a toda curva. Ainda pela Figura 6-a, nota-se que pelo menos metade dos veículos, independentes do seu tipo, é utilizada por mais de 3 horas, demonstrando que o serviço é utilizado para viagens de duração média a longa. Além disso, o comportamento dos elétricos começa a destoar dos demais a partir dos 60%. Neste caso, em até 80% dos casos, veículos elétricos tem ocupação cerca de 1 hora inferior aos demais veículos. Isto pode ser atribuído à

⁴Função de distribuição acumulada (CDF) da distribuição Weibull: $F(x; \alpha, \beta) = 1 - e^{-(x/\beta)^\alpha}$.

⁵Função de distribuição acumulada (CDF) da distribuição Pareto: $F(x) = 1 - (\frac{\beta}{x})^\alpha$.

característica de que carros elétricos necessitam de recargas frequentes, tornando-os assim não tão favoráveis para utilização por longos períodos.

No segundo gráfico, Figura 6-b, é analisado quanto tempo um carro fica ocioso em sua estação. Nele é possível visualizar que os veículos permanecem por um tempo considerável em suas estações, já que 60% dos automóveis ficam mais de 3 horas ociosos. Novamente os veículos comuns e híbridos seguem um comportamento parecido, porém os elétricos já começam a se diferenciar em 60% dos veículos. Neste caso, há cerca de 1 hora a mais de diferença. Por exemplo, pelo menos 20% dos carros comuns ficam mais de 18 horas parados enquanto os elétricos, na mesma proporção, ficam 19 horas. Novamente, tal comportamento pode ser dado pelo tempo necessário de recarga, obrigando o veículo a ficar um período maior de tempo em sua estação. Novamente, as distribuições Weibull (com parâmetros $\alpha = 0.7074744$ e $\beta = 503.1711$) e Pareto (com parâmetros $\alpha = 2.97408$ e $\beta = 1275.347$), também se ajustam adequadamente aos dados. Nesse caso, porém, o ajuste privilegia a cabeça e a cauda da curva, o que compreende mais de 60% dos dados.

Em resumo, a partir dos dois gráficos, 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. 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. Além disso, foi observado que os carros comuns e híbridos não detêm diferenças nos seus tempos ociosos e ocupados, já para os elétricos foi percebido cerca de uma hora de diferença para ambos os casos, provavelmente pela necessidade de recargas.

5. Trabalhos relacionados

A caracterização e definição de modelos para sistemas de compartilhamento de veículos foi até agora, para o melhor de nosso conhecimento, voltado a sistemas de uma via e modelos flutuantes, mesmo que para alguns, uma ou duas vias serem generalizados como modelos baseados em estações [Ciari et al. 2014, Becker et al. 2017, Martin and Shaheen 2011, Boldrini et al. 2016, Ciociola et al. 2017], o que justifica uma análise específica do modelo de duas vias, até então pouco explorado.

Pesquisas recentes abordaram serviços de compartilhamento de veículos de uma via, revelando algumas características sobre o padrão de uso desse modelo, como sua utilização para viagens longas [Ciari et al. 2014], maior utilização para fins de compras e lazer e número de ocupantes médio de 2 ou mais passageiros [Becker et al. 2017]. Esse modelo também revela características interessantes quanto a frota de carros elétricos, como o tempo em que os veículos permanecem estacionados em regiões centrais é consideravelmente menor que em regiões suburbanas, interferindo diretamente na autonomia do veículo [Boldrini et al. 2016]. Ainda sobre a utilização, existe uma interação entre o uso desses serviços e o uso de transportes públicos, em especial os transportes sobre trilhos [Stillwater et al. 2009].

O modelo de carga livre, revela padrões de utilização diferentes do modelo de uma via. Os veículos nesse modelo são utilizados para viagens mais curtas, efetuando movimentos pendulares e grande representatividade em idas a aeroportos [Ciari et al. 2014, Becker et al. 2017, Ciociola et al. 2017]. O número de passageiros nesses serviços é em

média de 1 usuário [Becker et al. 2017]. Como característica espacial, pela manhã as áreas centrais são mais alvos de destino de viagens e ao final da tarde as áreas suburbanas se tornam alvos [Ciociola et al. 2017]. Esse serviço também encoraja os usuários a correrem mais devido à cobrança por minuto [Ciociola et al. 2017]. O modelo de carga livre mesmo sendo mais flexível, não reduz a atratividade dos modelos baseados em estações, e se complementam [Ciari et al. 2014]. Além disso, foi identificado que atraem públicos diferentes, expondo o fato que modelos de carga livre e modelos baseados em estações devem ser tratados separadamente [Becker et al. 2017].

6. Conclusões e trabalhos futuros

Essa pesquisa abordou a caracterização da demanda e do uso de um grande serviço de compartilhamento de carros em duas vias. Fazendo uma análise minuto a minuto da situação do veículo, caracterizamos a demanda de utilização dos veículos neste sistema, destacando diferentes padrões de uso em relação ao tempo e espaço. Foi observado que esse esquema de compartilhamento apresenta características semelhantes ao esquema de uma via, como a relação da demanda espacial próxima a locais onde há transporte público metroviário e a característica de utilização para viagens médias e longas. Foi revelado também que o público universitário é bastante ativo nesse modelo. Um ponto observado que difere do modelo de uma via é o fato dos picos de utilização em dias de semana revelarem uma maior utilização para viagens curtas, o que é característico do modelo de carga livre. Como trabalho futuro, pretende-se analisar um período maior de coleta assim como outros serviços e modelos de compartilhamento de veículos atuantes na cidade de Vancouver, pretende-se também extrapolar o estudo a outros cenários a fim de analisar e confrontar os dados. Além disso, pretendemos incluir parâmetros adicionais como dados socioeconômicos e ambientais disponíveis para a cidade em estudo.

Referências

- Becker, H., Ciari, F., and Axhausen, K. W. (2017). Comparing car-sharing schemes in switzerland: User groups and usage patterns. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 97:17–29.
- Boldrini, C., Bruno, R., and Conti, M. (2016). Characterising demand and usage patterns in a large station-based car sharing system. In *Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS), 2016 IEEE Conference on*, pages 572–577. IEEE.
- Burkhardt, J. and Millard-Ball, A. (2006). Who is attracted to carsharing? *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1887):98–105.
- Cervero, R. and Tsai, Y. (2004). City carshare in san francisco, california: second-year travel demand and car ownership impacts. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1887):117–127.
- Ciari, F., Bock, B., and Balmer, M. (2014). Modeling station-based and free-floating carsharing demand: test case study for berlin. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2416):37–47.
- Ciociola, A., Cocca, M., Giordano, D., Mellia, M., Morichetta, A., Putina, A., and Salutari, F. (2017). Umap: Urban mobility analysis platform to harvest car sharing data.

- Herrera, J. C., Work, D. B., Herring, R., Ban, X. J., Jacobson, Q., and Bayen, A. M. (2010). Evaluation of traffic data obtained via gps-enabled mobile phones: The mobile century field experiment. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 18(4):568 – 583.
- Kopp, J., Gerike, R., and Axhausen, K. W. (2015). Do sharing people behave differently? an empirical evaluation of the distinctive mobility patterns of free-floating car-sharing members. *Transportation*, 42(3):449–469.
- Ma, S., Zheng, Y., and Wolfson, O. (2013). T-share: A large-scale dynamic taxi ridesharing service. In *Data Engineering (ICDE), 2013 IEEE 29th International Conference on*, pages 410–421.
- Martin, E. and Shaheen, S. (2011). The impact of carsharing on public transit and non-motorized travel: an exploration of north american carsharing survey data. *Energies*, 4(11):2094–2114.
- Nourinejad, M. (2014). Dynamic optimization models for ridesharing and carsharing. Master's thesis, University of Toronto.
- Shaheen, S. A. (2016). Mobility and the sharing economy. *Transport Policy*, 51(Supplement C):141 – 142.
- Shaheen, S. A., Rodier, C., Murray, G., Cohen, A., and Martin, E. (2010). Carsharing and public parking policies: assessing benefits, costs, and best practices in north america. Technical report.
- Shaheen, S. A., Sperling, D., and Wagner, C. (1999). A short history of carsharing in the 90's. *Institute of Transportation Studies*.
- Stillwater, T., Mokhtarian, P., and Shaheen, S. (2009). Carsharing and the built environment: Geographic information system-based study of one us operator. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2110):27–34.