

# UM MODELO DE AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE VEÍCULOS AUTÓNOMOS PARTILHADOS: PEER-TO-PEER VS. FLEET-BASED SYSTEMS

Ana Martins<sup>1</sup>, Filipe Moura<sup>2</sup>, Carlos Lima Azevedo<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade de Lisboa, Instituto Superior Técnico (IST), CERiS, Av. Rovisco Pais, 1, 1049-001 Lisboa, Portugal, email: [anarmrmartins@tecnico.ulisboa.pt](mailto:anarmrmartins@tecnico.ulisboa.pt) <http://ceris.pt/?action=default>

<sup>2</sup> Universidade de Lisboa, Instituto Superior Técnico (IST), CERiS, Av. Rovisco Pais, 1, 1049-001 Lisboa, Portugal

<sup>3</sup> Technical University of Denmark, Department of Management Engineering, 116 Brovej, 2800 Kongens Lyngby, Dinamarca

---

## Sumário

*A complexidade e incerteza do futuro, motivada pela evolução da tecnologia no sistema de transportes, abre espaço a diferentes cenários. Este trabalho propõe um modelo conceptual de avaliação de sistemas de veículos autónomos partilhados (VAP) com base na representação explícita de decisões da procura e da oferta, no desenho da operação de sistemas VAP e em indicadores de desempenho específicos para estas dimensões. O modelo proposto avalia soluções alternativas de VAP, nomeadamente car-sharing autónomo 'peer-to-peer' (P2P ACS). A estrutura adotada permite quantificar as vantagens potenciais de P2P ACS na operação de mobilidade e desenvolvimento sustentável em zonas urbanas.*

---

**Palavras-chave:** Veículos autónomos; Sistemas de mobilidade partilhada; *Peer-to-Peer*; *Fleet-based*.

## 1 INTRODUÇÃO

O investimento no desenvolvimento tecnológico e a alteração de paradigmas na sociedade estão a ter um grande impacto no sistema de transportes.

No passado recente, as aplicações de mobilidade *on-demand* permitiram ligar a oferta à procura em tempo real e observou-se um crescimento exponencial do serviço de *ride-hailing* (RH) e *car-sharing* (CS) nas cidades [1]. O acesso quase imediato a transportes deu origem a um novo paradigma na mobilidade e alterou a perceção dos consumidores relativamente à necessidade de comprar um veículo [2], abrindo espaço a um novo rumo neste sector.

No presente, investiga-se e promove-se o desenvolvimento dos veículos autónomos (VA). Este tipo de veículos poderá ter lugar em zonas urbanas nos próximos anos [3]–[5]. Mas este facto só adensa a incerteza dos novos contextos e dificulta as previsões do futuro [6].

As empresas tecnológicas e fabricantes de automóveis procuram parcerias que os ajudem a migrar para novos modelos de negócio [7]. O novo conceito de “posse temporária” que estas empresas esperam implementar passa pela subscrição mensal de serviços no qual o Cliente tem acesso a um veículo; é visto como um serviço flexível e economicamente mais viável do que os serviços tradicionais [8]. O custo de um veículo inclui para além do preço de compra, custos fixos (empréstimo, seguro, taxas ou depreciação do valor do veículo) e custos variáveis (combustível, manutenção ou estacionamento); considerando uma operação média de 15 000 milhas/ano, o custo médio é de 737 \$/mês [9]. A empresa Lyft vende, com base neste novo conceito, um serviço por 299 \$/mês nos EUA que inclui 30 viagens em 30 dias [10].

Este modelo de negócio baseia-se na premissa da mobilidade partilhada. Um serviço deste género é o *car-sharing* que tem permitido alcançar vários objetivos nos transportes e reduzir área de estacionamento, poluição e congestionamento em áreas metropolitanas [11]. Com a introdução dos VA, espera-se que a mobilidade partilhada se torne autónoma e se dissemine através de frotas (*fleet-based*) empresariais.

A academia tem-se debruçado no tema da mobilidade autónoma partilhada, com recurso a frotas. Vários autores estudaram a operação do serviço, implementaram os conceitos em plataformas de simulação e avaliaram os impactos de um sistema *fleet-based* [12]–[14] em diferentes cenários (com/sem transportes públicos, áreas restritas/condicionadas, etc.). No entanto a mobilidade autónoma *peer-to-peer* (P2P) tem sido menos explorada na academia, estando esta focada na análise das potencialidades do serviço, conforme [15], [16]. O crescimento dos serviços de P2P car-sharing [17] nos últimos anos sugere que este cenário pode fazer parte do futuro da mobilidade, após a entrada dos VA no mercado.

## 2 O QUE É O P2P ACS?

### 2.1 Apresentação

Os modelos atuais de *car-sharing* não são inclusivos, porque requerem que um dos ocupantes tenha carta de condução válida e conduza a viatura, nem flexíveis, porque para ter acesso ao veículo é preciso deslocar-se até ao local onde está estacionado e para o devolver é necessário estacionar o veículo numa área restrita. Mas se, por um lado, as empresas de *car-sharing* permitem estacionar em áreas mais abrangentes da cidade sobrepondo-se em comodidade ao serviço entre pares, por outro lado, o serviço entre pares maximiza a vantagem de uso de recursos existentes, uma vez que se partilham veículos de uso particular.

Com a automação máxima dos veículos é expectável que se caminhe para a fusão de serviços de *ride-hailing* com *car-sharing*, uma vez que os VA poderão deslocar-se sozinhos e transportar passageiros sem restrições. A introdução dos VA no mercado vai, ainda, permitir a introdução de uma nova solução: o P2P ACS (do Inglês, *peer-to-peer autonomous car-sharing*), ou seja, um serviço de *car-sharing* que recorre a veículos autónomos de e para particulares. Esta solução agrega as vantagens de diferentes serviços de mobilidade atuais, garantindo conveniência à grande maioria dos consumidores, assegurando flexibilidade no tempo e no espaço e, promovendo a sustentabilidade ao focar-se no uso de recursos existentes.

Com esta solução, o VA é utilizado pelo proprietário para fazer as suas deslocações diárias. No restante período (em que o veículo iria estar estacionado) o VA pode servir a necessidade de deslocação de outros cidadãos ou, até, de cargas (logística) para o “último km” (*last mile*) dentro da cidade.

### 2.2 Tendências e desafios

Actualmente 55% da população mundial vive em áreas urbanas mas prevê-se que, em 2050, este valor cresça para 68%, impulsionado pela alteração gradual da população de áreas rurais para áreas urbanas e com o aumento da população mundial [18].

No campo dos transportes, a compra de veículos de passageiros continua a crescer, com um aumento de 9% em 2015 face ao ano anterior. Apesar de os veículos elétricos ainda representarem uma pequena fatia do mercado, a venda deste tipo de veículos é cada vez mais comum [19]. Por outro lado, a utilização de serviços partilhados continua a crescer. O cenário de *car-sharing* na Europa é positivo, o número de membros cresceu de 212 mil membros, em 2006, para 4 milhões, em 2016 [1]. A mesma tendência pode ser encontrada se avaliados os serviços de P2P *car-sharing* ou *ride-hailing* nos últimos anos [17], [20].

A evolução tecnológica no futuro dará lugar à automação completa dos veículos. Mas a difusão pode ser condicionada por vários fatores, sendo as políticas e a tecnologia, aqueles que terão maior impacto [3]. As decisões que a UE tomar relativamente ao teste ou operação dos VA ou o nível de maturação da tecnologia nesses cenários serão alguns dos fatores-chave. A literatura [3]–[5] refere que a introdução desta tecnologia no mercado pode dar-se entre 2025 e 2050, dependendo do otimismo dos cenários. Outros fatores decisivos prendem-se com a legislação, seguros e/ou proteção de dados que podem também afetar o curso dos acontecimentos, quer acelerando ou contrariando o crescimento desta difusão.

Os serviços de *ride-hailing* com veículos automatizados já existem em vários locais. Táxis automatizados nível 4, SAE, estão a operar em diversas cidades pelo mundo, incluindo Pittsburgh e Singapura. As parcerias da Uber com a Volvo e Ford e da nuTomy com a Grab permitiram disponibilizar este serviço em Setembro de 2016 em áreas restritas das cidades referidas [16]. As projeções de adoção de táxis automatizados para o período entre 2015 e 2030, prevêem uma taxa anual de expansão que varie entre 15% e 28% [21]. As empresas que os operam reúnem um elevado conhecimento tecnológico e estão estabelecidas no terreno pelo que, à partida, se afiguram como os principais concorrentes no negócio P2P ACS: fatores como a visibilidade das empresas atuais de *ride-hailing* e *car-sharing*, elevada capacidade financeira e relações locais consolidadas atuam como vantagem no futuro.

Do ponto de vista interno, se por um lado a atração do ganho para os proprietários pode ser uma vantagem [22], por outro, questões como o risco de dano, a indisponibilidade do veículo, ou a tarefa de limpeza do VA [22], [23] podem contrabalançar o entusiasmo e reduzir a disponibilidade de oferta.

### 2.3 Características do P2P ACS

O serviço P2P ACS tem as seguintes características:

**Ideia:** Usar o tempo em que VA particular iria estar estacionado para satisfazer as necessidades de mobilidade urbana.

**População alvo:** todos os passageiros que necessitem de se mover na cidade; todos os proprietários de VA que esperam ter o veículo parado nas próximas horas ou dias;

Procura latente: uso de recursos existentes, com melhor nível de serviço que a oferta atual;

Competição: todos os serviços de mobilidade urbana, em especial, empresas com frotas partilhadas de VA;

Diferenciação no mercado: a automação no serviço oferece conveniência e flexibilidade ao passageiro; o uso de um recurso particular oferece valor ao proprietário e sustentabilidade ao sistema;

Evidência: a mudança de paradigma em termos de partilha e de comportamento na mobilidade; o facto de a propriedade automóvel continuar a ser relevante; e o fomento do desenvolvimento sustentável através da tecnologia e políticas de transporte.

## 2.4 Contribuições deste estudo para a análise de P2P ACS

Este trabalho apresenta um modelo teórico de suporte de conceção e avaliação de soluções operacionais para a mobilidade urbana com VA, centrando-se em modelos de *car-sharing* autónomo *peer-to-peer* (P2P ACS), as suas características e interações com as diferentes componentes do sistema de transportes.

Neste artigo identificam-se os processos de decisão que caracterizam a operação desta solução e abordam-se, numa fase preliminar, os pressupostos que servem de base à avaliação e comparação dos diferentes cenários de mobilidade autónoma partilhada.

## 3 MOBILIDADE AUTÓNOMA PARTILHADA

Na mobilidade autónoma partilhada temos três agentes: o passageiro que solicita a viagem, o VA (sem condutor) e o controlador que atua como plataforma de interação.

Num cenário com mobilidade autónoma partilhada (*fleet-based on-demand* (AMOD, do Inglês *Autonomous Mobility On Demand*) devem considerar-se os aspetos operacionais da nova tecnologia e as respostas dos indivíduos à sua disponibilidade [14]. Neste cenário considera-se que os VA vão ser introduzidos no sistema de transportes como uma frota, gerida por uma ou várias empresas. Os AMOD, tal como os serviços Uber ou Lyft, respondem à procura *on-demand*, ou seja, existe um controlador central que atribui serviços a diferentes veículos, durante o dia e estão disponíveis 24h. Os VA podem ainda optar por aguardar passageiros em praças de táxis ou apanhar pessoas na rua. O modelo de comportamento da circulação de veículos considera que os fatores humanos do condutor e comportamentos individuais estocásticos são substituídos por valores fixos reduzidos e os preços dos VA seguem os valores de referência dispostos na literatura [24].

Neste cenário, o passageiro solicita um VA para se deslocar até ao destino e o controlador tenta satisfazer este pedido. Para isso, o controlador deverá poder verificar a cada instante o estado dos VA e a sua localização. Isto permite alocar o veículo mais próximo ao passageiro pois o tempo de espera é um dos atributos mais críticos deste tipo de serviço, assim como o custo e tempo de viagem [25]. Sendo a operação dedicada a VA, o encaminhamento de veículos para zonas com previsões de procura acrescida ou para zonas da rede viária ou de estacionamento com menor congestionamento promete maior eficiência no desempenho. Exemplos de algoritmos de realocação podem ser encontrados em [26]–[28]. Por fim, o controlador permite ainda definir uma escala de serviços para cada VA [29].

Quando se considera um cenário com mobilidade autónoma partilhada (*peer-to-peer on-demand* (P2P ACS), existem características intrínsecas ao serviço que precisam de ser refletidas. Para além das frotas empresariais, existe também (ou em alternativa) uma frota de VA particulares. Aqui, um novo agente entra no processo de operação: o agente dono do veículo que toma as decisões sobre a disponibilidade do VA.

Neste cenário, existem duas premissas relativamente à frota de VA que devem ser consideradas: (1) o número de VA que constitui a “frota” depende do número de agregados familiares que estão dispostos a comprar um VA e subscrever o serviço P2P ACS; e (2) ao contrário do que acontece no cenário AMOD, o proprietário privado do VA não cede o veículo durante todo o período do dia (24h), a disponibilidade para subscrever o serviço é limitada pela agenda dos agregados familiares e o benefício na cedência. Dependendo da forma como poderá vir a ser implementado este serviço (modelo de negócio) pode ser necessário considerar processos adicionais ao controlador AMOD. No cenário anterior, o preço de viagem do VA era fixado pelo controlador; num cenário P2P ACS o dono do VA pode definir o preço pelo qual está disposto a ceder o seu veículo. Por outro lado, a decisão pode ser tomada no decorrer da subscrição ou mesmo da alocação de viagens, na qual o controlador envia mensagem ao dono do veículo para confirmar se este está disposto a ceder o VA por um preço determinado.

Existem outras alterações que foram consideradas no desenvolvimento deste modelo, mas que não se prendem diretamente com a alteração de serviço (de *fleet-based* para *peer-to-peer*) mas com a melhoria de alguns aspetos que não foram considerados no cenário anterior, nomeadamente:

- a. Introdução de restrições de viagem baseadas no nível de energia dos veículos: o veículo deve ter energia suficiente para realizar as viagens ou poder deslocar-se até à estação de carregamento;
- b. Desenvolvimento da interação entre o controlador, o dono do VA e passageiro: confirmação de acordo com as condições de viagem apresentadas pelo controlador (tempo de espera, duração, tipo de serviço e custo) e, após a mesma, avaliação de satisfação (*rating* da viagem);
- c. Algumas alterações ou cancelamentos devem também ser considerados: (1) o proprietário decidiu alterar o horário de disponibilidade; (2) o sistema não tem veículos suficientes para alocar uma determinada viagem; (3) o passageiro desistiu da viagem porque o preço era elevado. Cada *feedback* deve ser tratado de forma independente, deve ser analisada a frequência das respostas e impacte no serviço, para se criarem fatores e simular o sistema;
- d. Desenvolvimento de uma unidade de análise e previsão, dentro do controlador AMOD que permite, analisar dados históricos das simulações e prever o ganho horário do VA.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Plataforma de simulação por agentes e por atividades

O *software* SimMobility MT [30] é uma ferramenta de simulação, baseada num modelo por agentes e por atividades, que considera interações entre procura e oferta de transportes multimodais. Trata-se de um simulador híbrido (micro-simulação da procura e meso-simulação da oferta) que utiliza os eventos nas componentes de procura e o tempo na oferta para correr a simulação. Este módulo está dividido em três componentes principais [30]: pré-dia (planeamento), dia (ação) e oferta (rede e operação). O comportamento dos agentes baseia-se no seu conhecimento das condições urbanas que se vai atualizando. Este módulo reflete esta aprendizagem através de uma estrutura de *feedback*, na qual as componentes de pré-dia e dia vão beber informação ao *output* da componente da oferta, como por exemplo tempo de viagem e custos. Admite, ainda, alteração de escolhas para refletir a perceção dos agentes face a um evento inesperado. Os modos de transporte disponíveis cobrem: autocarro, metro/comboio, carro, *car-sharing*, motociclos, táxi, AMOD, bicicleta ou andar a pé. Os movimentos dos agentes individuais são simulados em simultâneo e os controladores específicos de cada modo de transporte são responsáveis por gerar as viagens para todos os veículos em serviço.

O *software* SimMobility MT serviu de base ao desenho do modelo P2P ACS aqui apresentado. Esta ferramenta já foi utilizada em numerosos estudos e provou ser de confiança para observar e prever a procura em diferentes cenários [31]. No entanto, o modelo P2P ACS pode também ser adaptado a outras estruturas de simulação que modelem decisões individuais ao nível da procura e da oferta como, por exemplo, o *software* MATSim [32].

### 4.2 Implementação do P2P ACS

A solução P2P ACS deve ser analisada perante três vertentes: 1) a oferta (VA disponíveis); 2) a procura (passageiros do serviço); e 3) o serviço (operação). A implementação desta solução teve por base alguns dos pressupostos usados em simulação por agentes que já incorporam representação de serviços AMOD, tal como o SimMobility MT [14], [29]. As figuras seguintes mostram as alterações que são necessárias realizar para incorporar e testar a solução P2P ACS.

#### Oferta

Este trabalho considerou um modelo com quatro funções de decisão do lado da oferta: (1) compra de VA, (2) subscrição do serviço P2P ACS, e por fim, (3) uso e (4) cedência do VA, conforme Figura 1.

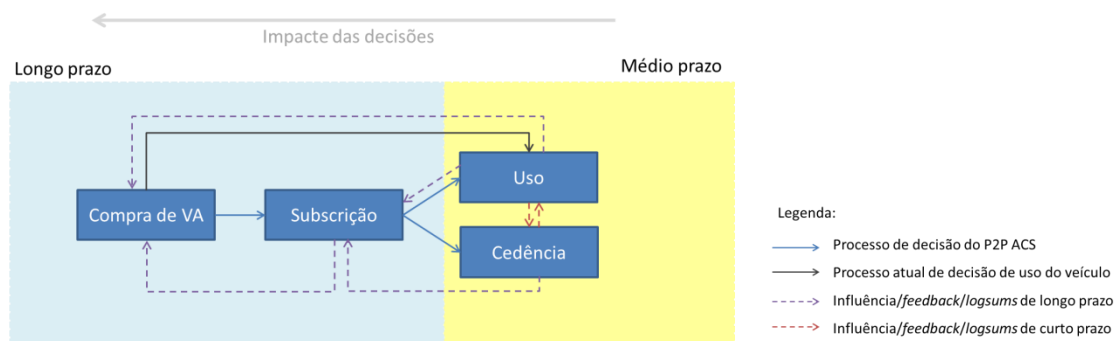


Figura 1 – Modelo de distribuição da oferta de VA.

Esta metodologia segue a priorização das ações que terão impacto numa maior escala temporal (compra-se um veículo para vários anos e cede-se um VA para algumas horas).

O modelo considera que no processo de decisão de uso do P2P ACS existem aspetos intrínsecos ao próprio modelo a afetar os passos contemplados: por exemplo, um indivíduo pode comprar um VA porque a subscrição do serviço lhe garante o pagamento das despesas associadas à compra; outra posição pode ser a de subscrição do serviço pelo reduzido uso do VA. Estes processos de *feedback* não devem ser esquecidos.

1. compra	Para se construir um serviço deste género, é necessário criar uma <i>pool</i> de VA privados no modelo. Tendo em conta que este tipo de veículos não existe em propriedade privada no presente, é necessário analisar a posse de VA, ou seja, quem está disposto a comprar um veículo dependendo das suas potenciais características. Para isso é necessário criar uma função de utilidade que, face às características económicas, sociais e mobilidade do agregado, bem como às características de VA disponíveis, de desempenho do próprio sistema de transportes e do serviço aqui descrito, consiga atribuir a compra de VA aos agregados. Para começar, propõe-se um modelo simplificado no qual se considera a previsão de adoção presente na literatura, para diferentes cenários de características de VA, retirando da equação as características dos agentes (atribuição aleatória).
2. subscrição	De seguida, o agente decide sobre a subscrição ao serviço P2P ACS em estudo para potencial cedência do seu VA: permitir que o seu veículo seja usado por outra pessoa e receber dinheiro pelo serviço. A função inclui assim características económicas e sociais do agregado, os respetivos padrões de mobilidade, bem como as respectivas características do sistema de transportes e do próprio serviço P2P ACS. Para começar, propõe-se um modelo simplificado no qual se usa a experiência corrente de adesão a serviços de <i>car-sharing</i> P2P, adaptando para cenários possíveis face às características do VA, ignorando as características dos agentes (atribuição aleatória).
3. uso	O uso do VA prende-se com as atividades e plano de viagem do agente. O sistema hierárquico do SimMobility MT define, com base em modelos de escolha discreta, a escolha do modo de transporte do agregado e o horário de cada agente (escolha regular). A introdução do serviço P2P ACS pode condicionar o uso do VA. Se o lucro da disponibilização for superior ao patamar que o dono está disposto a receber para mudar de modo de transporte, a escolha regular é afetada (custo de oportunidade). A função de utilidade deve incluir também o ganho expectável pela cedência do veículo. Numa primeira fase não se vai considerar a influência do ganho de cedência na função de utilidade do uso do VA, embora esteja previsto que esta componente seja implementada em fase posterior.
4. cedência	Por fim, é necessário perceber quais os proprietários que usam o veículo ou o disponibilizam para o serviço de P2P ACS. Neste ponto, ultrapassa-se a questão, assumindo que todos os proprietários usam o VA para proveito próprio em detrimento do serviço. A disponibilidade para o VA entrar na <i>pipeline</i> fica sujeita ao período em que o VA está parado (se tiverem subscrito o serviço).

Por fim, e já cruzando a questão da oferta e do serviço, será ainda necessário rever as decisões (3) e (4) durante a operação de forma a permitir alterações face ao desempenho do sistema. A Figura 2 mostra o processo de decisão a médio prazo do dono do VA.

A Figura 2 mostra que após a aceitação de ativação do serviço, o VA entra na lista de veículos disponíveis do serviço e fica a aguardar; após receber uma mensagem do controlador, o dono do VA pode confirmar/aceitar viagens, até se esgotar o período de disponibilidade do VA. No caso de aceitação automática, baseado em pré-decisões do dono ou em outro tipo de modelo de negócio, o dono do veículo fica liberto da necessidade de resposta constante; neste exemplo, pode ser pré definido um conjunto de valores que elimina as ações do fluxograma presentes no lado direita (área verde) da Figura 2.

É importante acrescentar que este modelo concetual não tem em conta as alterações no futuro, relativas, nomeadamente, a: (a) população; (b) planeamento; e (c) perceção de uso. A forma como a pessoa vê o VA ou o usa é diferente da forma como vê o veículo tradicional porque a sua autonomia permite que o veículo consiga satisfazer mais viagens do agregado familiar. Para já, estas alterações foram deixadas de fora do trabalho atual mas podem ser analisadas com criação de vários cenários sobre o modelo proposto.

### Procura

A procura baseia-se no uso do serviço P2P ACS, ou seja, que tipo de pessoas é capaz de subscrever um serviço P2P do ponto de vista do passageiro e depois usar um veículo privado para se deslocar entre dois pontos, pagando pelo serviço. É necessário fazer uma função que, a partir das características económicas

e sociais dos agregados, bem como das características do sistema de transportes e do serviço, consiga prever quais os indivíduos que vão subscrever o serviço. Para começar, propõe-se um modelo simplificado no qual se usa a experiência corrente de adesão a serviços de *car-sharing* e *ride-hailing*, ignorando as características dos agentes (atribuição aleatória), do serviço ou do sistema.

A Figura 3 mostra o processo de decisão do passageiro perante o serviço de P2P ACS.

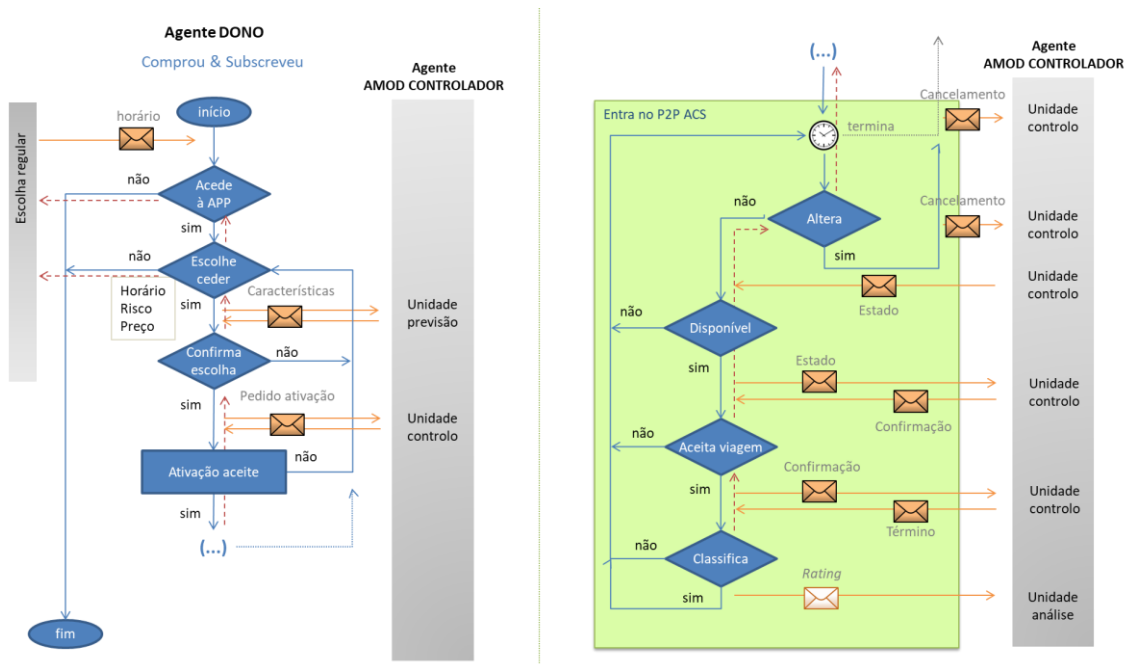


Figura 2 – Processo de decisão do dono do VA (legenda na Figura 3).

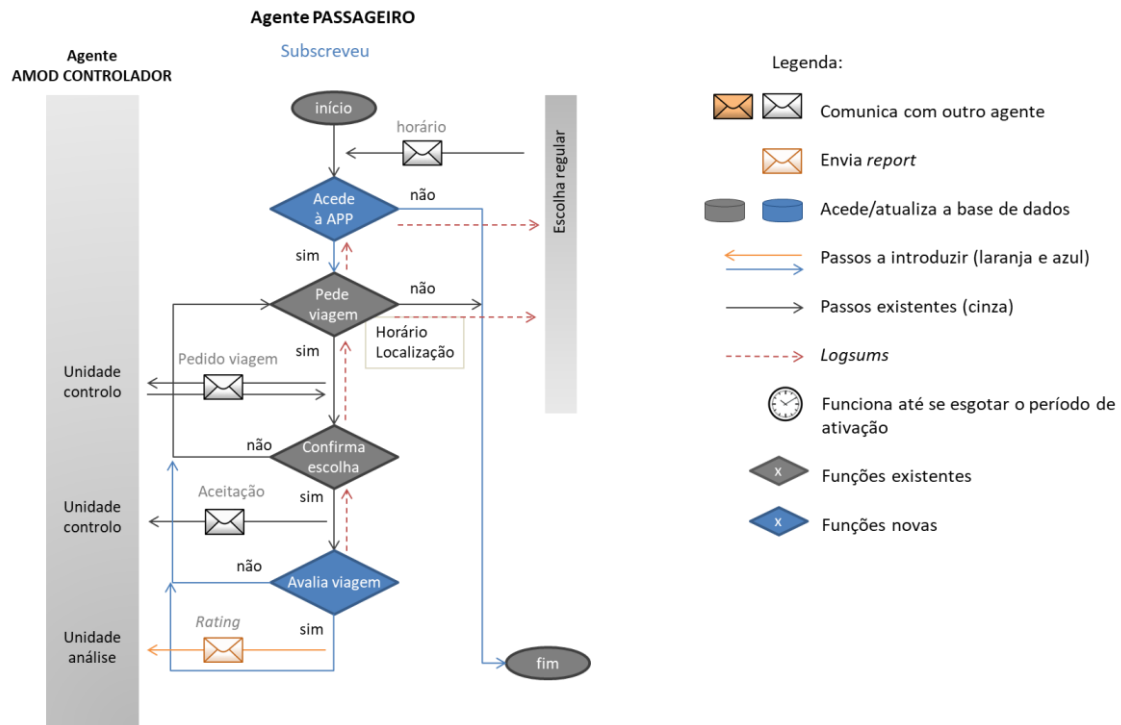


Figura 3 - Processo de decisão do passageiro.

O passageiro acede à aplicação, pede uma viagem e realiza a viagem. Se o passageiro gostar do serviço é natural que tenha mais vontade de voltar a utilizar este tipo de serviço, ou seja, existe um processo de alteração de mobilidade do agente, refletido na Figura 3 pelas setas a tracejado. Nesta fase, não haverá lugar à implementação da influência da viagem no padrão de escolha regular do passageiro.

Também se deve olhar para as desistências e alterações, desta feita do ponto de vista do passageiro. O módulo da plataforma que está ligado à disponibilidade deve incorporar variáveis estocásticas que reflitam estas desistências e alterações no modelo. Isto pode ter lugar em três instantes no modelo: avaliação da disponibilidade antes da alocação, confirmação da viagem e avaliação do serviço. Para já não será considerado, embora se preveja a sua avaliação parcial.

### Serviço

Primeiro, é necessário definir qual a atribuição ocupado vs disponível para os VA com subscrição. Foi atrás referido que o dono do VA define que dá prioridade às suas deslocações e que define, após conhecer o seu horário diário, as horas de uso e os locais de recolha.

O algoritmo considera uma gestão dinâmica, em cujas ações são atualizadas quando se dá um novo evento, seja ele a solicitação de ativação do serviço ou cancelamento por parte do dono do VA ou pedido de viagem por parte do passageiro. O processo de decisão do controlador AMOD com integração de VA particulares pode ser consultado na Figura 4.

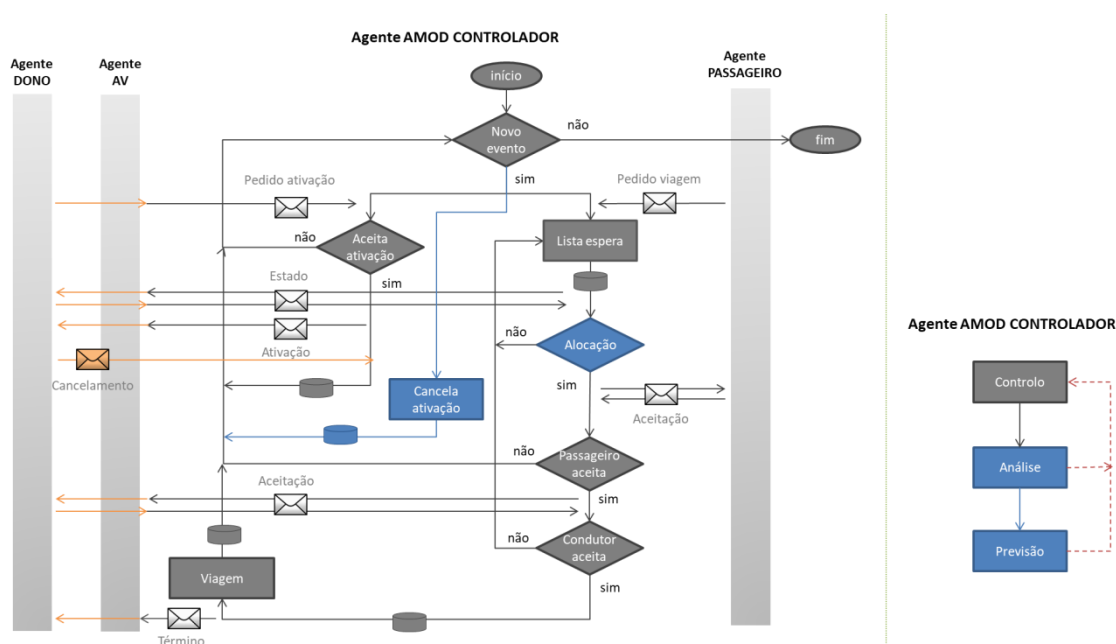


Figura 4 - Processo de decisão do controlador AMOD (legenda na Figura 3).

De forma a satisfazer os pedidos de viagem, é realizada a alocação dos veículos a cada pedido. Neste ponto, cabem diferentes estados de validação, nomeadamente: (1) verificação de energia; e (2) verificação de disponibilidade temporal.

No caso da energia, é necessário verificar se o VA tem energia suficientes para efetuar os diferentes trajetos, ou seja, deslocar-se para o ponto de início da viagem, realizar a viagem atribuída e regressar ao ponto de destino (ponto onde deverá ser recolhido pelo proprietário). Caso não exista energia para a realização das viagens, deve assumir-se que o VA deve ficar ausente (indisponível) por um período, do qual regressa com energia suficiente, conforme algoritmo aplicado em [33].

No caso da disponibilidade temporal, é necessário verificar se o veículo tem tempo suficiente para se deslocar, cumprir a viagem a que foi alocado e ainda regressar ao ponto de destino dentro do horário de disponibilidade indicado pelo proprietário. Se não tiver tempo, pode optar por esperar pela alocação de uma viagem mais curta ou ir para o destino final.

O preço do serviço P2P ACS deve basear-se no custo previsto para serviços de mobilidade autónoma [34], tendo em conta os pressupostos de ocupação ou tamanho total da frota, conforme definido por [35] no estudo apresentado para modelar o serviço de táxis autónomos na Suíça.

### 4.3 Modelo de Negócio

A solução é uma tríade entre o particular que coloca o veículo à disposição (dono do AV), o utente que usufrui do VA (Cliente final ou passageiro) e o agente que providencia o serviço P2P (sistema ou



plataforma). A estrutura dos canais e relação com o Cliente vai definir o modelo de negócio no qual se vai operar este serviço.

Os modelos de negócio mais prováveis para um serviço de P2P ACS são os modelos de B2C (entre empresa e consumidor) e de C2C (entre consumidores). No modelo B2C, o consumidor acede a uma plataforma e solicita o serviço; a ordem é processada e a empresa responde com o envio do produto/serviço. Neste modelo, é a empresa que define o preço que vai cobrar pelo serviço. No modelo C2C o consumidor A acede à plataforma para comprar o serviço e o consumidor B acede para vender serviço; depois a troca do serviço e do dinheiro é tratada diretamente entre consumidores.

As transações de dinheiro podem ser de dois tipos: (a) pagamento pelo uso; ou (b) pagamento pelo serviço. Dentro de cada tipo de transação também se podem encontrar diferentes soluções (como por exemplo, o pagamento por *km* com ou sem valor mínimo, o pagamento por hora ou por serviço) e estas soluções, combinadas de diferentes formas, acarretam mais ou menos vantagens para os agentes identificados nesta tríade e para o sistema global.

Na Figura 5, identificam-se os dois modelos de negócio e as relações entre os agentes. Ambos os modelos consideram canais diretos sem intervenção de intermediários no sistema global.

No Modelo C2C, a troca de serviços faz-se entre o dono e o passageiro; o sistema atua como plataforma de comunicação. Neste modelo, é o dono do VA que define o preço que vai cobrar pelo serviço. No Modelo B2C, a estratégia altera-se. O sistema assume não só a comunicação como a gestão do pagamento. O sistema paga ao dono do veículo a disponibilização do VA, define o valor de compra, coloca o VA à disposição dos passageiros e recebe pelo serviço.

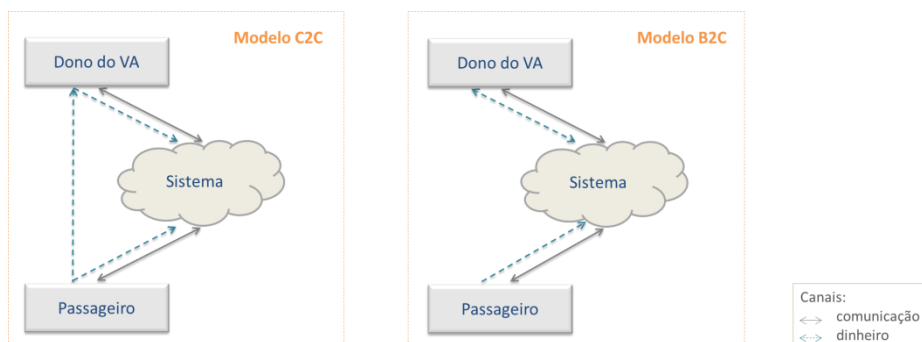


Figura 5 – Modelos de negócio (C2C e B2C).

A primeira diferença dos modelos assenta na transferência de risco para o sistema, uma vez que o pagamento *a priori*, aos donos dos VA, representa uma despesa para o sistema. Esta medida (no Modelo B2C) pode ser popular para o dono do veículo uma vez que retira o peso do uso da equação. No entanto, o valor horário recebido também acompanha este decréscimo de risco, ou seja, o dono vai receber menos por hora. O valor horário vai ser fixo no intervalo entre o mínimo que o dono está disposto a receber para alugar o VA e o valor máximo que o sistema está disposto a pagar para atingir um nível de risco aceitável. A segunda diferença relevante é que o sistema deve conseguir prever o nível de serviço para definir um valor horário a pagar ao dono. Se tiver sido considerado previamente um modelo para o cálculo dinâmico do valor horário (para o passageiro) esta questão não se coloca; caso contrário, deve ser considerada.

#### 4.4 Cenários

Os cenários que vão ser comparados são: (a) Cenário AMOD (veículos autónomos *on demand*: *fleet-based*); e (b) Cenário P2P ACS.

Para a implementação do P2P ACS alguns pressupostos devem ser tomados em conta. A literatura mostra que existem várias variáveis que podem influenciar quer a compra de um VA quer a adesão de serviços partilhados no futuro. Este trabalho propõe analisar duas variantes no cenário P2P ACS: (a) um cenário pessimista, no qual se verifica uma fraca adesão à mobilidade autónoma; e (b) um cenário otimista, no qual se gera uma onda de popularidade em redor dos VA, o que leva à grande percentagem de compra.

Os modelos de negócio B2C e C2C serão aplicados e testados no decorrer da simulação. Na fase inicial, não haverá lugar à diferenciação de preços entre proprietários. O valor é fixo em ambos os modelos.

A aplicação prática deste problema deve ainda contar com 2 fases: (1) numa primeira fase é necessário estudar o número ótimo de VA que conseguem responder aos objetivos do sistema, alterado pela introdução de VA particulares na mobilidade *on-demand*, que deve incluir a redistribuição espacial dos



veículos; (2) só depois, com base num conjunto de indicadores de desempenho da frota, se deverão ajustar combinações de parâmetros de energia ou disponibilidade.

## 4.5 Indicadores de Desempenho

Os indicadores de desempenho devem resumir as 4 vertentes na aplicação de um serviço deste tipo: (1) sistema global; (2) oferta; (3) procura; e (4) serviço P2P ACS ou sistema.

Os indicadores que caracterizam o sistema global mostram qual o impacto que a introdução deste novo serviço tem na distribuição modal atual, congestionamento ou quotas de emissões. Do ponto de vista da oferta escolhem-se indicadores que caracterizem os proprietários, que avaliem a distribuição temporal e espacial da oferta, bem como o lucro para o proprietário. Na procura pretende avaliar-se características dos passageiros e tempo de espera do serviço. Na vertente da prestação de serviço avaliam-se as características intrínsecas e o desempenho da solução, em termos de tempo e número de viagens.

Abaixo podem encontrar-se os indicadores mais relevantes para cada vertente.

sistema global	Quotas diárias de modo de transporte	procura	Número de utilizadores de P2P ACS por faixa etária
	Número total de viagens por hora do dia		Número de utilizadores de P2P ACS por género
	Número de viagens por tipo de atividade por hora do dia		Número de veículos (frota AMOD)
	Número de viagens por modo de transp. por hora do dia		Número de veículos (frota P2P ACS)
	Número de viagens por pessoa		Valor médio do tempo de espera
	Número de etapas ( <i>sub-trips</i> ) por pessoa		Elasticidade da procura (face ao preço)
	Nível de congestionamento (total)		
	Quantidade de emissões no sistema (total)		
	VKT (veíc.km viajado) totais por modo de transporte		
oferta	Número de proprietários de VA por faixa etária	serviço	Número médio de serviços por hora
	Número de proprietários de VA por género		Distância média dos serviços realizados
	Número de subscritores de P2P ACS por faixa etária		Número total de serviços realizados
	Número de subscritores de P2P ACS por género		Número de serviços realizados por hora
	Número de veículos P2P disponíveis por hora do dia		Número de serviços incompletos (e % face ao número total de serviços)
	Distribuição espacial da origem dos veículos		Tempo médio em espera (parado)
	Distância viajada (km) (e respetivo custo)		Tempo total em viagem
	Distância viajada com passageir. (e respetiva receita)		Tempo total em espera (e %)
	Número de horas requisitadas (e respetivo custo) – Modelo B2C		

## 5 CONCLUSÕES

A mobilidade autónoma promete revolucionar o sistema de transportes; e as características das novas tecnologias abrem espaço à entrada de novas soluções no mercado. Uma destas soluções é o P2P ACS que utiliza os VA particulares, durante o período em que o veículo iria estar estacionado, para servir a necessidade de mobilidade de outros cidadãos. Esta solução traz vantagens quer para os intervenientes quer para o sistema global.

O P2P ACS pode ser introduzido no mercado de diferentes formas e os modelos de negócio apresentados diferem no interveniente que acarreta o risco, o proprietário ou o sistema. O próprio serviço é definido por diferentes características que estão relacionadas com a tríade da solução: a oferta, a procura e o sistema. A simulação do serviço deve considerar estas características. A implementação da nova solução tem por base o trabalho já realizado para o simulador *SimMobility* para a solução AMOD.

O trabalho expõe uma nova solução, o P2P ACS, catapultada pela avançada automação dos veículos e apresenta uma reflexão do que pode ser a caracterização da solução *peer-to-peer*, a implementação do cenário num *software* de simulação e a comparação de mobilidade partilhada P2P e *fleet-based*.

## 6 AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece à Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), do Ministério da Economia e do Emprego, o apoio financeiro concedido através da bolsa de investigação PD/BD/128045/2016 e ao professor Moshe Ben-Akiva, a integração do autor na equipa do ITS.Lab (*Intelligent Transportation Systems*) no MIT.

## 7 REFERÊNCIAS

- [1] S. Shaheen, A. Cohen, and M. Jaffee, “Innovative Mobility: Carsharing Outlook,” 2018.

- [2] S. A. Shaheen, A. P. Cohen, and M. S. Chung, "North American Carsharing: 10-year retrospective," *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, vol. 2110, pp. 35–44, 2009.
- [3] D. Milakis, M. Snelder, B. van Arem, B. van Wee, and G. H. de A. Correia, "Scenarios about development and implications of automated vehicles in the Netherlands," in *95th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, 2016.
- [4] J. Nieuwenhuijsen, "Diffusion of Automated Vehicles: A quantitative method to model the diffusion of automated vehicles with system dynamics," Delft University of Technology, 2015.
- [5] S. E. Underwood, "Automated Vehicles Forecast Vehicle Symposium Opinion Survey," in *Automated Vehicles Symposium*, 2014.
- [6] D. J. Fagnant and K. Kockelman, "Preparing a nation for autonomous vehicles: Opportunities, barriers and policy recommendations," *Transp. Res. Part A Policy Pract.*, 2015.
- [7] Volkswagen, "MOIA: the Volkswagen Group's new mobility services," *Volkswagen Press release*, Dec-2016.
- [8] S. Singh, "Your Next Car Could Be A Flexible Subscription Model," *Forbes*, pp. 5–9, 2018.
- [9] USDOT, "Average Cost of Owning and Operating an Automobile," *Bureau of Transportation Statistics*, 2018. [Online]. Disponivel: <https://www.bts.gov/content/average-cost-owning-and-operating-automobile>. [Acedido: 01-Feb-2019].
- [10] D. Mendoza-moyers, "Lyft rolls out monthly subscription plan," *Houston Chronicle*, pp. 1–2, Oct-2018.
- [11] S. de Luca and R. Di Pace, "Modelling users' behaviour in inter-urban carsharing program: A stated preference approach," *Transp. Res. Part A Policy Pract.*, vol. 71, pp. 59–76, 2015.
- [12] J. Meyer, H. Becker, P. M. Bösch, and K. W. Axhausen, "Autonomous vehicles: The next jump in accessibilities?," *Res. Transp. Econ.*, vol. 62, 2017.
- [13] Y. Shen, H. Zhang, and J. Zhao, "Integrating shared autonomous vehicle in public transportation system: A supply-side simulation of the first-mile service in," *Transp. Res. Part A*, vol. 113, April, pp. 125–136, 2018.
- [14] R. Basu *et al.*, "Automated Mobility-on-Demand vs. Mass Transit: A Multi-Modal Activity-Driven Agent-Based Simulation Approach," *Transp. Res. Rec.*, no. February, 2018.
- [15] P. Beria, A. Laurino, I. Maltese, I. Mariotti, and F. Boscacci, "Analysis of Peer-to-Peer Car Sharing Potentialities," 2017, pp. 59–77.
- [16] A. Stocker and S. Shaheen, "Shared Automated Vehicles: Review of Business Models," *ITF*, 2016.
- [17] CNBC, "TURO CEO on the future of car-sharing," 2018.
- [18] UN, "World Population Prospects: The 2018 Revision," 2018.
- [19] EEA, "Transport in Europe: key facts and trends," 29-Jun-2016.
- [20] A. Dogtiev, "Uber Revenue and Usage Statistics (2017)," *Business of Apps*, 2018. [Online]. Disponivel: <http://www.businessofapps.com/data/uber-statistics/>. [Acedido: 01-Oct-2018].
- [21] A. Grosse-Ophoff, S. Hausler, K. Heineke, and T. Möller, "How shared mobility will change the automotive industry," *McKinsey&Company*, Apr-2017.
- [22] J. Dill, N. Mcneil, and S. Howland, "Peer-To-Peer Carsharing: Short-Term Effects on Travel Behavior in Portland, OR," Portland, OR, 2017.
- [23] M. Skak and G. Bloze, "Owning and letting of second homes: what are the drivers? insights from Denmark," *J. Hous. Built Environ.*, vol. 32, pp. 693–712, 2017.
- [24] B. H. Nahmias-Biran *et al.*, "From traditional to automated mobility on demand: a comprehensive framework for modeling mobility on demand services in SimMobility," *98th Annu. Meet. Transp. Res. Board (TRB 2019)*, vol. 19-01690, 2019.
- [25] R. Krueger, T. H. Rashidi, and J. M. Rose, "Preferences for shared autonomous vehicles," *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, vol. 69, pp. 343–355, 2016.
- [26] R.-H. Hwang, Y.-L. Hsueh, and Y.-T. Chen, "An effective taxi recommender system based on a spatio-temporal factor analysis model," *Inf. Sci. (Nij.)*, vol. 314, pp. 28–40, 2015.
- [27] D. J. Fagnant, K. M. Kockelman, and P. Bansal, "Operations of a Shared Autonomous Vehicle Fleet," *Transp. Res. Rec.*, vol. 2536, pp. 98–106, 2015.
- [28] K. Winter, O. Cats, B. van Arem, and K. Martens, "Impact of relocation strategies for a fleet of shared automated vehicles on service efficiency, effectiveness and externalities," in *2017 5th IEEE International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS)*, 2017, pp. 844–849.
- [29] C. L. Azevedo *et al.*, "Microsimulation of Demand and Supply of Autonomous Mobility On Demand," *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, vol. 2564, no. January, pp. 21–30, 2016.
- [30] Y. Lu *et al.*, "SimMobility Mid-Term Simulator: A State of the Art Integrated Agent Based Demand and Supply Model," *94th Annu. Meet. Transp. Res. Board*, no. JANUARY 2015, pp. 1–17, 2015.
- [31] K. W. Balac, Milos; Janzen, Maxim; Axhausen, "Alternative approach to scoring in MATSim and how it affects activity rescheduling," *ETH Zurich - Res. Collect.*, 2017.
- [32] K. Axhausen, K. Nagel, and A. Horni, *Multi-Agent Transport Simulation MATSim*. London: Ubiquity Press, 2016.
- [33] J. P. Hanna, M. Albert, D. Chen, and P. Stone, "Minimum Cost Matching for Autonomous Carsharing," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 49, no. 15, pp. 254–259, 2016.
- [34] P. M. Bösch, F. Becker, H. Becker, and K. W. Axhausen, "Cost-based analysis of autonomous mobility services," *Transp. Policy*, vol. 64, pp. 76–91, 2018.
- [35] S. Hörl, "Agent-based simulation of autonomous taxi services with dynamic demand responses," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 109, pp. 899–904, 2017.