

## **MOBILIDADE 4.0: POTENCIAIS IMPACTOS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS, AUTÔNOMOS OU MOBILIDADE COMPARTILHADA NA MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL**

**Anna Luíza Nobre Bezerra**  
**Antônio Néelson Rodrigues da Silva**  
Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos

### **RESUMO**

O objetivo dessa pesquisa é contribuir com os estudos da mobilidade urbana através da aplicação de uma metodologia desenvolvida para identificar os potenciais impactos decorrentes da introdução de tecnologias associadas à Mobilidade 4.0 nas cidades, bem como entender e avaliar a sua contribuição para a mobilidade urbana sustentável. A primeira etapa do estudo consistiu em analisar documentos técnicos e científicos relacionados à mobilidade urbana sustentável e às três principais tendências abordadas (veículos elétricos, autônomos e mobilidade compartilhada). Em seguida, uma segunda etapa contemplou a elaboração e aplicação de um questionário *online* para consulta a técnicos e especialistas das áreas de planejamento urbano, transportes e mobilidade sobre o potencial impacto das tendências em análise sobre os padrões de sustentabilidade da mobilidade. Os resultados evidenciaram a expectativa de impactos, mas com distintas avaliações para cada tendência analisada, com destaque para o domínio de aspectos ambientais da mobilidade.

### **ABSTRACT**

The objective of this research is to contribute to the studies of urban mobility by applying a methodology developed to identify the potential impacts arising from the use of selected technologies associated with Mobility 4.0 in cities, as well as to understand and evaluate their contribution to sustainable urban mobility. Initially, we analyzed technical and scientific documents related to sustainable urban mobility and the three main trends addressed (i.e., electric vehicles, autonomous vehicles, and shared mobility). Next, we elaborated and applied an online questionnaire to inquire technicians and experts working with urban planning, transport, and mobility about the potential impacts of the trends under analysis on the sustainability standards of mobility. The results confirmed that impacts are expected, but with different assessments for each trend analyzed. Furthermore, the respondents placed particular emphasis on the environmental aspects domain of urban mobility.

### **1. INTRODUÇÃO**

Inúmeros impactos associados à sustentabilidade da mobilidade surgem quando as cidades, em diversas partes do mundo, enfrentam dificuldades para expandir suas redes de transporte de média a alta capacidade, visando atender ao desenvolvimento de suas zonas urbanas. Além disso, existe também uma necessidade significativa de resolver problemas de micromobilidade, que envolvem deslocamentos mais curtos e associados a uma grande quantidade de origens e destinos bastante dispersos no tempo e no espaço. Mudanças tecnológicas atualmente em curso criam, no entanto, desde já, uma expectativa de que os veículos em circulação passem a ser elétricos ou autônomos, conectados e compartilhados, o que eventualmente ajudaria a resolver estes problemas e ainda tornaria a mobilidade mais sustentável. Isto ocorre no contexto da “Quarta Revolução Industrial” dentro do ambiente urbano, em que se verifica uma união entre o espaço físico e virtual.

Assim, acredita-se que aquilo que se passou a denominar como “Mobilidade 4.0” deve promover mudanças no sistema de transporte, sendo possível identificar importantes tendências que poderão afetar a mobilidade, assegurada por diferentes modos. No geral, segundo McKinsey & Company e Bloomberg (2016), tecnologias como veículos elétricos e autônomos, acompanhados da mobilidade compartilhada, têm gerado uma expectativa de que as cidades venham a combinar fatores e criar condições que favoreçam o transporte público, a

infraestrutura e os sistemas de energia. Estas mudanças nos recursos e tecnologias existentes nos sistemas de transporte das cidades, esperadas para atender às necessidades da chegada da mobilidade 4.0, devem alterar as formas de deslocamento das pessoas e a demanda por viagens, além de diversificar as fontes de energia usadas pelos diversos tipos de veículos, entre outros fatores. Não é possível ainda identificar, no entanto, que impactos essas mudanças terão sobre a mobilidade, do ponto de vista de sua sustentabilidade.

Diante disso, com o propósito de preencher esta lacuna, o presente estudo apresenta uma análise exploratória dos dados de um questionário aplicado a técnicos e especialistas das áreas de planejamento urbano, transportes e mobilidade sobre o potencial impacto de veículos elétricos, autônomos e compartilhados em relação a temas específicos da sustentabilidade da mobilidade urbana. O objetivo principal dessa pesquisa é contribuir com os estudos de mobilidade urbana sustentável, através da aplicação de uma metodologia que possibilite a identificação os potenciais impactos decorrentes da introdução dos novos recursos e tecnologias associados à Mobilidade 4.0 nas cidades. As seguintes questões de pesquisa foram consideradas para orientar o desenvolvimento do estudo: a) Os dados coletados fornecem indícios de que existem impactos das tendências da mobilidade 4.0 avaliadas sobre a mobilidade urbana sustentável? b) Os impactos identificados apresentam predominância de avaliações positivas, negativas ou neutras/indefinidas? c) Estes impactos atuam de forma diferente, para cada tendência considerada, na mobilidade urbana sustentável?

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Esta pesquisa é um desdobramento de projeto piloto conduzido por Rodrigues *et al.* (2021), que identificaram e classificaram, a partir de uma revisão bibliográfica nas bases *Scopus*, *Web of Science* e *Science Direct*, 104 impactos de tecnologias relacionadas à Mobilidade 4.0 nos domínios da mobilidade urbana sustentável propostos por Costa (2008). A partir das 58 referências selecionadas para consulta, foi observada maior incidência de impactos sobre os domínios Aspectos ambientais, Tráfego e circulação urbana e Sistema de transporte público. Por outro lado, os domínios Acessibilidade, Aspectos sociais e Modos não motorizados foram aqueles com menos associações.

Aspectos que merecem destaque no estudo original envolvem a questão ambiental, que apresentou fatores relevantes em relação ao consumo de combustíveis e emissão de poluentes. Os veículos compartilhados, por exemplo, tendem a reduzir as emissões de gases poluentes (Martin e Shaheen, 2011; Fagnant e Kockelman, 2014; Zhang e Mi, 2018) e o consumo de combustíveis (Fagnant e Kockelman, 2014; Shen *et al.*, 2018; Sun *et al.*, 2018; Becker *et al.*, 2019). Também é o caso dos veículos elétricos, que usam fontes de energia não-fóssil, menos prejudiciais ao meio ambiente (Nanaki e Koroneos, 2016; Sun *et al.*, 2018; Martínez-Díaz *et al.*, 2019).

Um aspecto também considerado relevante para a implantação das tecnologias foi a infraestrutura, como no caso de veículos autônomos e elétricos. Isto se deve ao fato, por exemplo, de que a automação vai permitir que os veículos, especialmente em rodovias, desenvolvam maiores velocidades com espaçamentos menores entre eles, efeito chamado de *platooning*, que deve causar uma diminuição do espaço necessário para a circulação dos veículos mesmo nas zonas urbanas (Howard e Dai, 2014; Heinrichs, 2016; Consilvio *et al.*,

2019; Do *et al.*, 2019). Já para os veículos elétricos há a necessidade de implantação das estruturas de recarga, condição que, ao mesmo tempo que estimula a sua utilização, se configura como um custo a mais para o sistema de transportes (Tsang *et al.*, 2012; Transportation Research Board e National Research Council, 2013; Nanaki e Koroneos, 2016).

Visto o desafio de conciliar os interesses dos diferentes níveis de implantação e disponibilidade de recepção tecnológica unidos a iniciativas governamentais e privadas (Milakis *et al.*, 2017; Fraedrich *et al.*, 2019) e a introdução de leis que regulamentem essa modalidade (McKinsey & Company e Bloomberg, 2016; Martínez-Díaz *et al.*, 2019), atribuídos igualmente entre veículos elétricos e compartilhados, é necessário caracterizar os impactos que envolvem os estímulos ao desenvolvimento da eletrificação veicular e sua infraestrutura (McKinsey & Company e Bloomberg, 2016). Neste sentido, é importante ressaltar que a classificação dos impactos como positivo, negativo e neutro/indefinido chegou a ser realizada por Rodrigues *et al.* (2021), mas teve por base apenas a percepção e experiências dos próprios autores. Além disso, como se trata de um assunto emergente, outros trabalhos foram publicados após a revisão realizada por aqueles autores, permitindo o desdobramento desse estudo.

Deste modo, a necessidade de avaliar como as tendências tecnológicas impactam a mobilidade urbana sustentável levou à análise de novos documentos, buscando identificar dados empíricos ou estudos recentes que possibilitem analisar a incidência desses impactos de forma negativa, positiva ou neutra/indefinida. Assim, para entender e estudar a sustentabilidade e seus impactos se faz necessário considerar simultaneamente os pilares propostos por Costa (2008) contemplando domínios, temas e indicadores (como sugerido por Elkington, 1998, em estudo similar).

Sendo assim, uma revisão criteriosa da literatura especializada resultou, portanto, em uma visão atualizada e abrangente sobre as tecnologias de mobilidade 4.0 selecionadas, bem como sobre seus impactos em relação a domínios, temas e indicadores de mobilidade sustentável. Além disso, deu margem a novos desafios técnicos que foram desenvolvidos a partir do esforço feito para integrar os procedimentos de análise seguindo a abordagem de classificação e caracterização adotada.

Como pouco se sabe ao certo sobre as implicações da mobilidade 4.0 para o desenvolvimento da mobilidade urbana sustentável, uma vez que, de maneira geral, as pesquisas sobre a “geração 4.0” ainda são pouco abrangentes em termos econômicos, sociais, ambientais, de infraestrutura e outros (Nara *et al.*, 2020; Bellini *et al.*, 2022). Em uma investigação extensa e sistemática, a partir de artigos publicados posteriormente ao estudo piloto que estimulou o desenvolvimento dessa pesquisa, visando identificar os impactos mais relevantes relacionados às tendências tecnológicas abordadas (veículos elétricos, autônomos e mobilidade compartilhada) e aos temas do Índice de Mobilidade Urbana Sustentável (IMUS) desenvolvido por Costa (2008), identificou-se que cada domínio do IMUS apresentava pelo menos 2 temas capazes de sintetizar e integrar os possíveis impactos às tendências estudadas, de forma sucinta e simplificada. Deste modo, foram selecionados no total 18 temas, como base de avaliação e caracterização dos impactos mais relevantes para esse estudo.

Além disso, a literatura não fornece evidências de como medir os benefícios e prejuízos associados aos impactos decorrentes das tendências tecnológicas da mobilidade 4.0. Os temas selecionados para caracterizar os impactos na mobilidade sustentável permitirão que seus

resultados sejam compreendidos sob diferentes perspectivas, nem sempre com magnitudes iguais, fazendo com que se observe eventuais desequilíbrios entre os domínios.

### **3. METODOLOGIA**

Para alcançar o objetivo de avaliar os impactos de algumas das principais tendências da mobilidade 4.0 na mobilidade urbana sustentável, sugere-se a realização de três etapas. A primeira consiste em selecionar e analisar documentos técnicos e científicos pré-existentes, relacionando a mobilidade urbana sustentável às três principais tendências a serem avaliadas nesse estudo: veículos elétricos, autônomos e mobilidade compartilhada. A segunda envolve a aplicação de questionário *online* direcionado a técnicos e especialistas das áreas de planejamento urbano, transportes e mobilidade para avaliar o potencial impacto das tendências em análise sobre os padrões de sustentabilidade da mobilidade. Por fim, a terceira etapa consiste nos procedimentos de análise dos dados obtidos e a proposição de novas etapas da pesquisa, partindo da hipótese de que algumas tendências tecnológicas selecionadas da mobilidade 4.0 (mais especificamente, veículos elétricos, autônomos e mobilidade compartilhada) devem impactar a sustentabilidade da mobilidade urbana.

#### **3.1. As tecnologias selecionadas e a mobilidade sustentável na literatura**

Na primeira etapa, a seleção e análise de artigos foi conduzida a partir das bases de dados *Scopus*, *Web of Science* e *Science Direct*, além de outros materiais relevantes identificados durante o desenvolvimento da pesquisa. Estas bases de dados foram selecionadas por englobarem inúmeras revistas científicas internacionais relevantes e por apresentarem recursos avançados de busca. A busca nas bases de dados foi feita por meio de combinações de palavras-chave, em inglês, contemplando as tecnologias selecionadas da mobilidade 4.0 e os domínios do Índice de Mobilidade Urbana Sustentável (IMUS). O IMUS é uma ferramenta para auxílio na análise da mobilidade urbana, constituído por uma hierarquia de 9 domínios, 37 temas e 87 indicadores, cuja definição operacional foi proposta por Costa (2008). Os nove domínios deste índice são: Acessibilidade, Aspectos ambientais, Aspectos sociais, Aspectos políticos, Infraestrutura, Modos não motorizados, Planejamento integrado, Tráfego e circulação urbana e Sistemas de transporte público. A exemplo do que foi proposto por Rodrigues *et al.* (2021), nos casos em que houve dificuldade para encontrar trabalhos relacionados aos domínios, a busca foi feita utilizando os temas correspondentes aos respectivos domínios.

#### **3.2. Coleta de dados**

Na segunda etapa, foi conduzida uma análise dos estudos selecionados, com o propósito de identificar de que maneira as tecnologias da mobilidade 4.0 impactam a mobilidade urbana sustentável. Uma vez identificados na literatura consultada, os potenciais impactos foram organizados para apresentação e consulta a técnicos e especialistas, para classificação como positivos, negativos e neutros/indefinidos. Essa fase compõe a elaboração de um questionário para preenchimento *online*, idealizado para atingir um número elevado de respondentes, tendo como objetivo avaliar os impactos em um espectro da escala *Likert* que varia de muito positivo a muito negativo. A aplicação do questionário teve início com um modelo piloto, com o propósito de identificar possíveis falhas e introduzir melhorias ao questionário definitivo.

O questionário foi dividido em três blocos: i) Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), ii) avaliação dos impactos e iii) perfil dos respondentes. O primeiro bloco corresponde

ao aceite do TCLE; o segundo, contempla 18 sentenças referentes a dois temas selecionados para representar cada um dos 9 domínios do IMUS, de forma a permitir a avaliação dos impactos de veículos elétricos, autônomos e da mobilidade compartilhada nos referidos temas e domínios. Para avaliação dessas sentenças os respondentes se basearam em alternativas dispostas em uma escala *Likert*, variando entre muito positivo, positivo, neutro/indefinido, negativo e muito negativo. No terceiro bloco, as perguntas estavam relacionadas a informações específicas dos entrevistados, tais como gênero, idade, cidade, estado, formação, atuação profissional e nível de conhecimento das tecnologias da mobilidade 4.0 em análise.

### 3.3. Análise dos dados

Na terceira etapa, a partir da organização dos dados coletados em tabelas de contingência e gráficos, avalia-se inicialmente, por meio do *alfa* de Cronbach (1951), a consistência e confiabilidade das respostas. Em seguida, aplica-se o teste de Qui-quadrado ( $\chi^2$ ) para tentar identificar indícios de impactos das tendências da mobilidade 4.0 selecionadas na mobilidade urbana sustentável. A análise das tabelas de contingência para cada tendência torna possível identificar se seus impactos sobre a mobilidade urbana sustentável são positivos, negativos ou neutros/indefinidos e se diferem para as tendências consideradas (veículos elétricos, autônomos e mobilidade compartilhada).

## 4. RESULTADOS

Na realização da pesquisa bibliográfica constatou-se que, embora existam estudos relevantes sobre veículos elétricos, autônomos e sobre a mobilidade compartilhada, a temática de mobilidade 4.0 ainda é relativamente recente. Para selecionar dois potenciais indicadores para cada domínio do IMUS, que representassem impactos quanto às três tendências tecnológicas consideradas, foi efetuado um levantamento de características e frequências de cada indicador em cada artigo selecionado na pesquisa bibliográfica. Isso permitiu apontar 18 temas a serem avaliados, válidos para as três tendências, conforme a Tabela 1.

Visando avaliar os potenciais impactos associados aos veículos elétricos, autônomos e compartilhados sobre a mobilidade urbana sustentável, foi desenvolvido e aplicado um questionário utilizando a plataforma *Survey Monkey*. Para fins de análise preliminar, tanto do questionário (piloto) como das respostas em si, foram convidados a responder, por e-mail, entre os meses de fevereiro e julho de 2023, aproximadamente 2 mil especialistas das áreas de planejamento urbano, transportes e mobilidade, o que resultou em 198 respostas válidas. O questionário teria como meta obter respostas de pesquisadores de todas as regiões do Brasil. No estudo piloto realizado, no entanto, foram identificados respondentes de 21 estados. Para fins de caracterização do perfil dos respondentes, a Tabela 2 contém um resumo de suas características e respectivas porcentagens. Observa-se nessa amostra que a maioria dos respondentes era do gênero masculino (53,54%), com idade entre 40 e 49 anos (27,27%), entre 1 e 5 anos de experiência profissional (23,23%) e, em sua maioria, possuindo somente conhecimento teórico sobre as tendências tecnológicas consideradas.

A partir das respostas dos entrevistados, que indicaram sua opinião para cada uma das 18 sentenças propostas, foi possível realizar avaliações e comparações para cada tendência dentro de um mesmo tema. Porém, para que essas opiniões fossem consideradas válidas, foi calculado inicialmente o coeficiente *alfa* de Cronbach utilizando as tabelas de contingências obtidas a

partir dos dados coletados, contendo as frequências alcançadas para cada impacto na escala *Likert* (muito positivo, positivo, neutro/indefinido, negativo e muito negativo). Coeficientes acima de 0,90, conforme a Tabela 3, indicam alta confiabilidade para os dados coletados em todas as três tendências consideradas.

**Tabela 1:** Temas que representam cada um dos domínios do IMUS - Índice de Mobilidade Urbana Sustentável (Costa, 2008), selecionados com o propósito de identificar de que maneira as tecnologias da mobilidade 4.0 impactam a mobilidade urbana sustentável.

| DOMÍNIOS                     | TEMAS   |
|------------------------------|---|
| ACESSIBILIDADE               | 1. ACESSIBILIDADE UNIVERSAL E AOS SISTEMAS DE TRANSPORTE                  |
|                              | 2. LEGISLAÇÃO PARA PESSOAS COM NECESSIDADES ESPECIAIS                     |
| TRANSPORTE PÚBLICO           | 3. DISPONIBILIDADE, DIVERSIFICAÇÃO E QUALIDADE DO TRANSPORTE PÚBLICO      |
|                              | 4. REGULAÇÃO, FISCALIZAÇÃO E POLÍTICA TARIFÁRIA DO TRANSPORTE PÚBLICO     |
| TRÁFEGO E CIRCULAÇÃO VIÁRIA  | 5. ACIDENTES DE TRÂNSITO  |
|                              | 6. FLUIDEZ E CIRCULAÇÃO VIÁRIA  |
| PLANEJAMENTO INTEGRADO       | 7. PLANEJAMENTO E CONTROLE DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO                      |
|                              | 8. PLANO DIRETOR E LEGISLAÇÃO URBANÍSTICA                                 |
| MODOS NÃO MOTORIZADOS        | 9. TRANSPORTE CICLOVIÁRIO E DESLOCAMENTOS A PÉ                            |
|                              | 10. REDUÇÃO DE VIAGENS  |
| INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE | 11. PROVISÃO E MANUTENÇÃO DA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE                 |
|                              | 12. DISTRIBUIÇÃO DA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES PARA MODOS SUSTENTÁVEIS |
| ASPECTOS POLÍTICOS           | 13. INTEGRAÇÃO DE AÇÕES E POLÍTICAS DE MOBILIDADE URBANA                  |
|                              | 14. CAPTAÇÃO E GERENCIAMENTO DE RECURSOS                                  |
| ASPECTOS SOCIAIS             | 15. PARTICIPAÇÃO POPULAR, APOIO AO CIDADÃO, EDUCAÇÃO E CIDADANIA          |
|                              | 16. QUALIDADE DE VIDA E INCLUSÃO SOCIAL                                   |
| ASPECTOS AMBIENTAIS          | 17. CONTROLE DOS IMPACTOS NO MEIO AMBIENTE                                |
|                              | 18. RECURSOS NATURAIS   |

A aplicação do teste Qui-quadrado às tabelas de contingência, provenientes das respostas fornecidas pelos 198 entrevistados, apresenta resultados que forneceram indícios de que não existe uma distribuição homogênea entre as respostas da escala *Likert* para cada tema e cada impacto avaliado. Desta forma, é possível identificar se existem e onde se concentram os impactos, em termos da avaliação como muito positivo, positivo, neutro/indefinido, negativo ou muito negativo. Isso pode ser feito a partir de uma análise direta das frequências das opiniões dos respondentes em cada alternativa (também visíveis nas Tabelas 4, 5 e 6).

Avaliando os resultados obtidos para os veículos elétricos (Tabela 4) é possível observar que há uma maior concentração de opiniões nas avaliações neutras (11 dos 18 temas), sendo que os temas Acidentes de trânsito (5), Planejamento e controle do uso e ocupação do solo (7) e Fluidez e circulação viária (6) apresentaram taxas de resposta acima de 68% para “neutro/indefinido”. Dois temas tiveram alta concentração de respostas na avaliação muito positiva: Controle dos impactos no meio ambiente (17) e Recursos naturais (18), com taxas de resposta de 56% e 39%,

respectivamente. Merece destaque o tema 18, que, apesar da alta taxa de respostas positivas, foi também o tema que apresentou maior número de avaliações negativas (14%).

**Tabela 2:** Caracterização geral dos respondentes de questionário *online* com o propósito de identificar de que maneira as tecnologias da mobilidade 4.0 impactam a mobilidade urbana sustentável.

| VARIÁVEL                                       |  | TOTAL      | %            |
|--|--|------------|--------------|
| GÊNERO   | FEMININO                                     | 90         | 45.45        |
|  | <b>MASCULINO</b>                             | <b>106</b> | <b>53.54</b> |
|  | SEM RESPOSTAS                                | 2          | 1.01         |
| IDADE  | 25 a 30 ANOS                                 | 9          | 4.55         |
|  | 31 a 39 ANOS                                 | 46         | 23.23        |
|  | <b>40 a 49 ANOS</b>                          | <b>54</b>  | <b>27.27</b> |
|  | 50 a 59 ANOS                                 | 38         | 19.19        |
|  | MAIOR QUE 60 ANOS                            | 49         | 24.75        |
|  | SEM RESPOSTAS                                | 2          | 1.01         |
| FORMAÇÃO                                       | ENSINO FUNDAMENTAL INCOMPLETO                | 0          | 0.00         |
|  | ENSINO FUNDAMENTAL COMPLETO                  | 0          | 0.00         |
|  | ENSINO MÉDIO INCOMPLETO                      | 0          | 0.00         |
|  | ENSINO MÉDIO COMPLETO                        | 0          | 0.00         |
|  | ENSINO TÉCNICO INCOMPLETO                    | 0          | 0.00         |
|  | ENSINO TÉCNICO COMPLETO                      | 0          | 0.00         |
|  | ENSINO SUPERIOR INCOMPLETO                   | 0          | 0.00         |
|  | ENSINO SUPERIOR COMPLETO                     | 198        | 100.00       |
| ATUAÇÃO PROFISSIONAL                           | Academia (estudante, PROFESSOR, PESQUISADOR) | 129        | 52.87        |
|  | Setor público                                | 59         | 24.18        |
|  | Setor privado                                | 33         | 13.52        |
|  | Outro  | 23         | 9.43         |
| TEMPO DE EXPERIÊNCIA                           | MENOR DE 1 ANO                               | 22         | 11.11        |
|  | <b>1 a 5 ANOS</b>                            | <b>46</b>  | <b>23.23</b> |
|  | 6 a 10 ANOS                                  | 39         | 19.70        |
|  | 11 a 20 ANOS                                 | 42         | 21.21        |
|  | 21 a 30 ANOS                                 | 24         | 12.12        |
|  | 31 a 40 ANOS                                 | 13         | 6.57         |
|  | MAIS DE 40 ANOS                              | 8          | 4.04         |
|  | VAZIAS                                       | 4          | 2.02         |
| NÍVEL DE CONHECIMENTO VEÍCULOS ELÉTRICOS       | CONHECIMENTO PRÁTICO AVANÇADO                | 18         | 9.09         |
|  | CONHECIMENTO PRÁTICO MODERADO                | 56         | 28.28        |
|  | <b>SOMENTE CONHECIMENTO TEÓRICO</b>          | <b>111</b> | <b>56.06</b> |
|  | NENHUM CONHECIMENTO                          | 13         | 6.57         |
| NÍVEL DE CONHECIMENTO VEÍCULOS AUTÔNOMOS       | CONHECIMENTO PRÁTICO AVANÇADO                | 13         | 6.57         |
|  | CONHECIMENTO PRÁTICO MODERADO                | 28         | 14.14        |
|  | <b>SOMENTE CONHECIMENTO TEÓRICO</b>          | <b>134</b> | <b>67.68</b> |
|  | NENHUM CONHECIMENTO                          | 23         | 11.62        |
| NÍVEL DE CONHECIMENTO MOBILIDADE COMPARTILHADA | CONHECIMENTO PRÁTICO AVANÇADO                | 42         | 21.21        |
|  | CONHECIMENTO PRÁTICO MODERADO                | 67         | 33.84        |
|  | <b>SOMENTE CONHECIMENTO TEÓRICO</b>          | <b>82</b>  | <b>41.41</b> |
|  | NENHUM CONHECIMENTO                          | 7          | 3.54         |

**Tabela 3:** Valores do *alfa* de Cronbach calculados para avaliar a confiabilidade das respostas de questionário *online* elaborado com o propósito de identificar de que maneira as tecnologias da mobilidade 4.0 impactam a mobilidade urbana sustentável.

| Tendências Tecnológicas da Mobilidade 4.0 | <i>alfa de Cronbach</i> | Confiabilidade |
|---|-------------------------|----------------|
| Veículos Elétricos                        | 0.970                   | Alta           |
| Veículos Autônomos                        | 0.985                   | Alta           |
| Mobilidade Compartilhada                  | 0.990                   | Alta           |

**Tabela 4:** Resultados obtidos com questionário *online* elaborado com o propósito de identificar de que maneira as tecnologias da mobilidade 4.0 impactam a mobilidade urbana sustentável - respostas relativas aos veículos elétricos.

| TEMAS   | VEÍCULOS ELÉTRICOS |          |                    |          |                |
|---|--------------------|----------|--------------------|----------|----------------|
|   | MUITO POSITIVO     | POSITIVO | NEUTRO/ INDEFINIDO | NEGATIVO | MUITO NEGATIVO |
| 1. ACESSIBILIDADE UNIVERSAL E AOS SISTEMAS DE TRANSPORTE              | 52                 | 69       | 65                 | 11       | 1              |
| 2. LEGISLAÇÃO PARA PESSOAS COM NECESSIDADES ESPECIAIS                 | 38                 | 48       | 106                | 5        | 1              |
| 3. DISPONIBILIDADE, DIVERSIFICAÇÃO E QUALIDADE DO TRANSPORTE PÚBLICO  | 61                 | 75       | 51                 | 8        | 3              |
| 4. REGULAÇÃO, FISCALIZAÇÃO E POLÍTICA TARIFÁRIA DO TRANSPORTE PÚBLICO | 43                 | 55       | 86                 | 12       | 2              |
| 5. ACIDENTES DE TRÂNSITO  | 14                 | 25       | 143                | 14       | 2              |
| 6. FLUIDEZ E CIRCULAÇÃO VIÁRIA  | 14                 | 38       | 135                | 9        | 2              |
| 7. PLANEJAMENTO E CONTROLE DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO                  | 18                 | 29       | 139                | 9        | 3              |
| 8. PLANO DIRETOR E LEGISLAÇÃO URBANÍSTICA                             | 37                 | 55       | 95                 | 9        | 2              |
| 9. TRANSPORTE CICLOVIÁRIO E DESLOCAMENTOS A PÉ                        | 20                 | 42       | 103                | 28       | 5              |
| 10. REDUÇÃO DE VIAGENS  | 15                 | 32       | 119                | 22       | 10             |
| 11. PROVISÃO E MANUTENÇÃO DA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE             | 18                 | 46       | 110                | 22       | 2              |
| 12. DISTRIBUIÇÃO DA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES PARA MODOS          | 36                 | 52       | 84                 | 18       | 8              |
| 13. INTEGRAÇÃO DE AÇÕES E POLÍTICAS DE MOBILIDADE URBANA              | 42                 | 81       | 66                 | 8        | 1              |
| 14. CAPTAÇÃO E GERENCIAMENTO DE RECURSOS                              | 39                 | 76       | 66                 | 16       | 1              |
| 15. PARTICIPAÇÃO POPULAR, APOIO AO CIDADÃO, EDUCAÇÃO E CIDADANIA      | 31                 | 65       | 94                 | 5        | 3              |
| 16. QUALIDADE DE VIDA E INCLUSÃO SOCIAL                               | 53                 | 63       | 57                 | 22       | 3              |
| 17. CONTROLE DOS IMPACTOS NO MEIO AMBIENTE                            | 112                | 66       | 15                 | 4        | 1              |
| 18. RECURSOS NATURAIS   | 78                 | 66       | 21                 | 28       | 5              |



Na análise dos resultados alcançados para veículos autônomos (Tabela 5) é possível observar que há uma concentração ainda maior de opiniões nas avaliações neutras (12 dos 18 temas), sendo que, neste caso, apenas dois valores ultrapassaram a porcentagem de 50%: Planejamento e controle do uso e ocupação do solo (7) e Redução de viagens (10). O primeiro apresentou uma porcentagem de 60% das respostas e o segundo 52%. Neste caso, somente o tema Legislação para pessoas com necessidades especiais (2) apresentou predominância de respostas muito positivas (78 de 198, ou seja, 39% do total).

**Tabela 5:** Resultados obtidos com questionário *online* elaborado com o propósito de identificar de que maneira as tecnologias da mobilidade 4.0 impactam a mobilidade urbana sustentável - respostas relativas aos veículos autônomos.

| TEMAS   | VEÍCULOS AUTÔNOMOS |          |                    |          |                |
|---|--------------------|----------|--------------------|----------|----------------|
|   | MUITO POSITIVO     | POSITIVO | NEUTRO/ INDEFINIDO | NEGATIVO | MUITO NEGATIVO |
| 1. ACESSIBILIDADE UNIVERSAL E AOS SISTEMAS DE TRANSPORTE              | 40                 | 69       | 68                 | 18       | 3              |
| 2. LEGISLAÇÃO PARA PESSOAS COM NECESSIDADES ESPECIAIS                 | 78                 | 64       | 41                 | 13       | 2              |
| 3. DISPONIBILIDADE, DIVERSIFICAÇÃO E QUALIDADE DO TRANSPORTE PÚBLICO  | 43                 | 80       | 57                 | 15       | 3              |
| 4. REGULAÇÃO, FISCALIZAÇÃO E POLÍTICA TARIFÁRIA DO TRANSPORTE PÚBLICO | 32                 | 57       | 81                 | 23       | 5              |
| 5. ACIDENTES DE TRÂNSITO  | 52                 | 49       | 42                 | 40       | 15             |
| 6. FLUIDEZ E CIRCULAÇÃO VIÁRIA  | 38                 | 79       | 65                 | 14       | 2              |
| 7. PLANEJAMENTO E CONTROLE DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO                  | 21                 | 45       | 118                | 9        | 5              |
| 8. PLANO DIRETOR E LEGISLAÇÃO URBANÍSTICA                             | 35                 | 62       | 85                 | 15       | 1              |
| 9. TRANSPORTE CICLOVIÁRIO E DESLOCAMENTOS A PÉ                        | 18                 | 42       | 88                 | 38       | 12             |
| 10. REDUÇÃO DE VIAGENS  | 18                 | 39       | 103                | 25       | 13             |
| 11. PROVISÃO E MANUTENÇÃO DA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE             | 22                 | 57       | 77                 | 35       | 7              |
| 12. DISTRIBUIÇÃO DA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES PARA MODOS          | 25                 | 47       | 92                 | 24       | 10             |
| 13. INTEGRAÇÃO DE AÇÕES E POLÍTICAS DE MOBILIDADE URBANA              | 42                 | 73       | 68                 | 14       | 1              |
| 14. CAPTAÇÃO E GERENCIAMENTO DE RECURSOS                              | 27                 | 65       | 82                 | 22       | 2              |
| 15. PARTICIPAÇÃO POPULAR, APOIO AO CIDADÃO, EDUCAÇÃO E CIDADANIA      | 28                 | 51       | 97                 | 17       | 5              |
| 16. QUALIDADE DE VIDA E INCLUSÃO SOCIAL                               | 40                 | 48       | 73                 | 29       | 8              |
| 17. CONTROLE DOS IMPACTOS NO MEIO AMBIENTE                            | 41                 | 58       | 86                 | 9        | 4              |
| 18. RECURSOS NATURAIS   | 29                 | 47       | 89                 | 29       | 4              |

No caso da mobilidade compartilhada (Tabela 6), a predominância de maiores valores está distribuída entre muito positivo (8 de 18) e positivo (9 de 18), com destaque para os seguintes temas que tiveram avaliação muito positiva: Controle dos impactos no meio ambiente (17) e

Disponibilidade, diversificação e qualidade do transporte público (3), com 53% e 51% das respostas, respectivamente.

**Tabela 6:** Resultados obtidos com questionário online elaborado com o propósito de identificar de que maneira as tecnologias da mobilidade 4.0 impactam a mobilidade urbana sustentável - respostas relativas à mobilidade compartilhada.

| TEMAS   | MOBILIDADE COMPARTILHADA |          |                    |          |                |
|---|--------------------------|----------|--------------------|----------|----------------|
|   | MUITO POSITIVO           | POSITIVO | NEUTRO/ INDEFINIDO | NEGATIVO | MUITO NEGATIVO |
| 1. ACESSIBILIDADE UNIVERSAL E AOS SISTEMAS DE TRANSPORTE              | 99                       | 81       | 14                 | 3        | 1              |
| 2. LEGISLAÇÃO PARA PESSOAS COM NECESSIDADES ESPECIAIS                 | 65                       | 72       | 51                 | 9        | 1              |
| 3. DISPONIBILIDADE, DIVERSIFICAÇÃO E QUALIDADE DO TRANSPORTE PÚBLICO  | 100                      | 67       | 22                 | 7        | 2              |
| 4. REGULAÇÃO, FISCALIZAÇÃO E POLÍTICA TARIFÁRIA DO TRANSPORTE PÚBLICO | 73                       | 65       | 39                 | 16       | 5              |
| 5. ACIDENTES DE TRÂNSITO  | 31                       | 45       | 97                 | 23       | 2              |
| 6. FLUIDEZ E CIRCULAÇÃO VIÁRIA  | 83                       | 74       | 27                 | 14       | 0              |
| 7. PLANEJAMENTO E CONTROLE DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO                  | 67                       | 88       | 37                 | 6        | 0              |
| 8. PLANO DIRETOR E LEGISLAÇÃO URBANÍSTICA                             | 74                       | 87       | 31                 | 6        | 0              |
| 9. TRANSPORTE CICLOVIÁRIO E DESLOCAMENTOS A PÉ                        | 76                       | 65       | 41                 | 14       | 2              |
| 10. REDUÇÃO DE VIAGENS  | 82                       | 69       | 32                 | 11       | 4              |
| 11. PROVISÃO E MANUTENÇÃO DA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE             | 48                       | 76       | 62                 | 11       | 1              |
| 12. DISTRIBUIÇÃO DA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES PARA MODOS          | 70                       | 80       | 32                 | 13       | 3              |
| 13. INTEGRAÇÃO DE AÇÕES E POLÍTICAS DE MOBILIDADE URBANA              | 84                       | 86       | 21                 | 7        | 0              |
| 14. CAPTAÇÃO E GERENCIAMENTO DE RECURSOS                              | 58                       | 88       | 44                 | 7        | 1              |
| 15. PARTICIPAÇÃO POPULAR, APOIO AO CIDADÃO, EDUCAÇÃO E CIDADANIA      | 68                       | 90       | 35                 | 4        | 1              |
| 16. QUALIDADE DE VIDA E INCLUSÃO SOCIAL                               | 91                       | 82       | 21                 | 3        | 1              |
| 17. CONTROLE DOS IMPACTOS NO MEIO AMBIENTE                            | 104                      | 70       | 17                 | 7        | 0              |
| 18. RECURSOS NATURAIS   | 78                       | 80       | 31                 | 8        | 1              |

Dentre os impactos existentes e identificados como mais positivos na mobilidade urbana sustentável, é possível observar que eles interferem de forma diferente nas tendências tecnológicas aqui estudadas. De acordo com o apresentado na fase anterior, o tema Controle dos impactos no meio ambiente (17) apareceu com predominância de avaliações muito positivas em duas tendências (veículos elétricos e mobilidade compartilhada, em ambos os casos acima de 50%). Outro tema com duas avaliações em destaque foi Planejamento e controle do uso e ocupação do solo (7), neste caso, com predominância de avaliação neutra em duas tendências (veículos elétricos, com 70% das respostas, e veículos autônomos, com 60%).

## 5. CONCLUSÃO

Com o propósito de avaliar os impactos associados às tendências da mobilidade 4.0 aqui estudadas (veículos elétricos, autônomos e mobilidade compartilhada), foram selecionados para análise 18 temas (Tabela 1) relacionados à mobilidade urbana sustentável (com base no índice proposto por Costa, 2008), elaborado e aplicado um questionário *online* e efetuada a análise dos dados coletados. A justificativa principal para o estudo reside no fato de que as tecnologias consideradas são ainda relativamente recentes, como ficou evidenciado pela revisão da literatura que deu início a esta pesquisa. Desta forma, faltam ainda evidências empíricas que permitam identificar os impactos destas tecnologias sobre a sustentabilidade da mobilidade. Para suprir esta lacuna, nesse estudo foram coletados dados por meio de um questionário aplicado à especialistas da área, com o propósito de identificar os potenciais impactos e categorizá-los (se positivos, negativos ou neutros/indefinidos).

O questionário desenvolvido foi testado em um estudo piloto, que gerou um total de 198 respostas válidas, um número pequeno frente ao total de quase 2000 convidados para esta fase. Não foram reportados, no entanto, problemas que justificassem a relativamente baixa taxa de respostas (como a extensão das perguntas e/ou o tempo de preenchimento), e a considerável parcela de abandono do preenchimento pelos respondentes que chegaram a iniciar o processo. Presume-se que as dificuldades podem estar relacionadas com o tema das questões, com a extensão das perguntas ou com o intervalo de tempo disponibilizado para a coleta. Apesar disso, considerando o esforço de síntese que já foi realizado na elaboração da versão inicial do questionário, não se vislumbra alterações que possam ser feitas para a sua aplicação em caráter definitivo, para um público-alvo de 9 mil pessoas.

Ainda que a amostra obtida até o momento seja pequena, as respostas se mostraram confiáveis e consistentes, e sugerem tendências quanto à natureza dos impactos. Em síntese, segundo os respondentes, existem potenciais impactos dos veículos elétricos, autônomos e mobilidade compartilhada que afetam de forma positiva, negativa ou neutra/indefinida a mobilidade urbana sustentável. Merecem destaque, por exemplo, as avaliações muito positivas dos veículos elétricos e mobilidade compartilhada sobre o tema Controle dos impactos no meio ambiente, pertencente ao domínio Aspectos ambientais do Índice de Mobilidade Urbana Sustentável.

### Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bellini, P.; P. Nesi e G. Pantaleo. (2022) IoT-Enabled Smart Cities: A Review of Concepts, Frameworks and Key Technologies. *Applied Sciences*, v. 12, n. 3, <https://doi.org/10.3390/app12031607>.
- Becker, H.; M. Balac; F. Ciari e K. W. Axhausen (2019) Assessing the Welfare Impacts of Shared Mobility and Mobility as a Service (MaaS). *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 131, p. 228-243. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.09.027>.
- Consilvio, A.; A. Di Febbraro; N. Sacco e A. Torre (2019) On Exploring the Potentialities of Autonomous Vehicles in Urban Spatial Planning. *6<sup>th</sup> International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems*. <https://doi.org/10.1109/MTITS.2019.8883388>.
- Costa, M. S. (2008) Um Índice de Mobilidade Urbana Sustentável. Tese (Doutorado em Planejamento e Operação de Sistemas de Transportes). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. <https://doi.org/10.11606/T.18.2008.tde-01112008-200521>.
- Cronbach, L. J. (1951) Coefficient alpha and the internal structure of test. *Psychometrika*, v. 16, n. 3, p. 297-334, 1951.

- Do, W.; O. M. Rouhani e L. Miranda-Moreno (2019) Simulation-based Connected and Automated Vehicle Models on Highway Sections: A Literature Review. *Journal of Advanced Transportation*, v. 2019, Article ID 9343705, 14 pages. <https://doi.org/10.1155/2019/9343705>.
- Elkington, J. (1998) Partnerships from Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st-Century Business. *Environmental Quality Management*. v. 8, n. 1, p. 37-51. <https://doi.org/10.1002/tqem.3310080106>.
- Fagnant, D. J. e K. M. Kockelman (2014) The Travel and Environmental Implications of Shared Autonomous Vehicles, Using Agent-based Model Scenarios. *Transportation Research Part C*, v. 40, p. 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2013.12.001>.
- Fraedrich, E.; D. Heinrichs; F. J. Bahamonde-Birke e R. Cyganski (2019) Autonomous Driving, the Built Environment and Policy Implications. *Transportation Research Part A*, v. 122, p. 162-172. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.02.018>.
- Heinrichs, D. (2016) Autonomous Driving and Urban Land Use. In: Maurer, M., Gerdes, J., Lenz, B., Winner, H. (eds) *Autonomous Driving*. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 213-231. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-48847-8\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-662-48847-8_11).
- Howard, D. e D. Dai (2014) Public Perceptions of Self-Driving Cars: The Case of Berkeley, California. *Transportation Research Board 93<sup>rd</sup> Annual Meeting*, Washington D.C., Estados Unidos da América.
- Martin, E. W. e S. A. Shaheen (2011) Greenhouse Gas Emission Impacts of Carsharing in North America. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, v. 12, n. 4, p. 1074-1086. <https://doi.org/10.1109/TITS.2011.2158539>.
- Martínez-Díaz, M.; F. Soriguera e I. Pérez (2019) Autonomous Driving: A Bird's Eye View. *IET Intelligent Transport Systems*, v. 13, n. 4, p. 563-579. <https://doi.org/10.1049/iet-its.2018.5061>.
- Milakis, D.; B. van Arem e B. van Wee (2017) Policy and Society Related Implications of Automated Driving: A Review of Literature and Directions for Future Research. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, v. 21, n. 4, p. 324-348. <https://doi.org/10.1080/15472450.2017.1291351>.
- Mckinsey & Company e Bloomberg (2016) *An Integrated Perspective on the Future of Mobility*. [https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2016/10/BNEF\\_McKinsey\\_The-Future-of-Mobility\\_11-10-16.pdf](https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2016/10/BNEF_McKinsey_The-Future-of-Mobility_11-10-16.pdf).
- Nanaki, E. A. e C. J. Koroneos (2016) Climate Change Mitigation and Deployment of Electric Vehicles in Urban Areas. *Renewable Energy*, v. 99, p. 1153-1160. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.08.006>.
- Nara, E. O. B.; Becker da Costa, M.; Baierle, I. C.; Schaefer, J. L.; Benitez, G. B.; Lima dos Santos, L. M. A. e L. B. Benitez (2020) Expected Impact of Industry 4.0 Technologies on Sustainable Development: A Study in the Context of Brazil's Plastic Industry, *Sustainable Production and Consumption*. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.07.018>.
- Rodrigues, M. R.; M. C. Rodrigues de Jesus e A. N Rodrigues da Silva (2021) Impacts of Mobility 4.0 on Sustainable Urban Mobility. *Proceedings of the 17<sup>th</sup> International Conference on Computational Urban Planning and Urban Management*, CUPUM, Helsinque, Finlândia.
- Shen, Y.; H. Zhang e J. Zhao (2018) Integrating Shared Autonomous Vehicle in Public Transportation System: A Supply-Side Simulation of the First-Mile Service in Singapore. *Transportation Research Part A*, v. 113, p. 125-136. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.04.004>.
- Sun, L.; S. Wang; S. Liu; L. Yao; W. Luo e A. Shukla (2018) A Complete Research on the Feasibility and Adaptation of Shared Transportation in Mega-Cities: A Case Study in Beijing. *Applied Energy*, v. 230, p. 1014-1033. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.09.080>.
- Transportation Research Board e National Research Council (2013) *Overcoming Barriers to Electric-Vehicle Deployment: Interim Report*. The National Academies Press. Washington D.C., Estados Unidos da América. <https://doi.org/10.17226/18320>.
- Tsang, F.; J. Pedersen; S. Wooding e D. Potoglou (2012) Bringing the Electric Vehicle to the Mass Market: a Review of Barriers, Facilitators and Policy Interventions. *RAND Corporation*, Santa Monica, CA, Estados Unidos da América. [https://www.rand.org/pubs/working\\_papers/WR775.html](https://www.rand.org/pubs/working_papers/WR775.html).
- Zhang, Y. e Z. Mi (2018) Environmental Benefits of Bike Sharing: A Big Data-Based Analysis. *Applied Energy*, v. 220, p. 296-301. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.101>.

Anna Luiza Nobre Bezerra (annaluizamb@usp.br)

Antônio Néilson Rodrigues da Silva (anelson@sc.usp.br)

Departamento de Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo  
 Av. Trabalhador São-carlense, 400 - São Carlos, SP, Brasil