Veículos sustentáveis na última milha: transporte de carga urbana

Sustainable vehicles on the last mile: urban cargo transportation

DOI: 10.34140/bjbv3n1-037

Recebimento dos originais: 20/11//2020
Aceitação para publicação: 20/12/2020

Fábio Ytoshi Shibao
Doutor em Administração pela Universidade Presbiteriana Mackenzie
Universidade Ibirapuera
Av. Interlagos, 1329 - 4º andar - Chácara Flora, São Paulo - SP, Brasil
E-mail: fabio.shibao@gmail.com

Mario Roberto dos Santos
Doutor em Administração pelo Programa de Pós-graduação (PPGA) da Universidade Nove de Julho
Universidade Nove de Julho - UNINOVE
Rua Deputado Salvador Julianelli, SN - Prédio D, Barra Funda, São Paulo - SP, Brasil
E-mail: mario.rsantos@terra.com.br

RESUMO
O advento de novas tecnologias nas entregas de última milha pode causar uma mudança no modelo de negócio tradicional aplicado no transporte de cargas urbanas, também conhecido como entrega na última milha, apresentando, assim, diversas oportunidades de pesquisa nessa área do conhecimento. Neste contexto, identificar os novos modelos de operação e veículos que podem ser aplicados para entregas de última milha em áreas urbanas tornam-se vitais em termos de sustentabilidade ambiental. Este artigo tem como objetivo identificar na literatura, por meio de uma revisão sistemática, os principais tipos de veículos que podem ser usados na última milha da distribuição de carga urbana, a fim de aumentar a sustentabilidade ambiental desse tipo de operação. Com base na literatura pesquisada, foram selecionados 28 artigos. Os resultados indicaram uma tendência para a implementação de veículos menores e mais leves para entregas na última milha em áreas urbanas, tais como o uso de bicicletas, triciclos, motocicletas e veículos urbanos comerciais (VUCs). Outra tendência observada foi a mudança de combustíveis fósseis para fontes alternativas de energia, principalmente com a utilização de veículos elétricos.

Palavras-chave: Distribuição de frete urbano. Última milha. Veículos elétricos.

ABSTRACT
The advent of new technologies in last-mile deliveries can cause a shift in the traditional business model applied to urban cargo transportation also known as last-mile delivery, thus presenting numerous research opportunities in this area of knowledge. In this context, identifying in the literature the new operating models and vehicles that can be applied to last-mile deliveries in urban areas become vital in terms of environmental sustainability. This paper aims to identify in the literature, through a systematic review, the main types of vehicles that can be used in the last mile of the urban load distribution, in order to increase the environmental sustainability of this type of operation. Within the researched literature, 28 articles were selected. The results indicated a trend towards the implementation of smaller and lighter vehicles for last mile deliveries in urban areas

such as the use of bicycles, tricycles, motorcycles and commercial VUCs. Another trend observed was the shift from fossil fuels to alternative sources of energy mainly with the use of electric vehicles.

Keywords: Distribution of urban freight. Electric vehicles. Last mile

1 INTRODUÇÃO

O transporte está causando problemas em áreas urbanas, em particular no transporte de carga: as cidades modernas precisam de soluções para reduzir os custos de externalidades, tais como congestionamento, poluição, entre outros, que aumentaram nos últimos anos, principalmente devido ao crescimento da entrega de mercadorias (Ranieri, Digiesi, Silvestri, & Roccotelli, 2018). Portanto, é necessário melhorar as condições de tráfego e estacionamento para operações de carga e descarga nas áreas urbanas. No entanto, é necessário buscar um equilíbrio entre um sistema logístico urbano efetivo e eficiente, um nível sustentável de mobilidade e dos fatores influentes no cotidiano das cidades.

Segundo o *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD, 2001), mobilidade sustentável é a capacidade de atender às necessidades da sociedade para se mover livremente, obter acesso, comunicar, negociar e estabelecer relacionamentos sem sacrificar outros valores humanos ou ecológicos essenciais hoje ou no futuro.

Por esse motivo, as soluções logísticas urbanas sustentáveis devem ser implantadas para reduzir os efeitos do transporte de mercadorias sem penalizar a vida da cidade. Afinal, o transporte de cargas urbana permite que os produtos atinjam o consumidor final por meio do comércio para manutenção da vida na cidade porque, conforme Ranieri et al. (2018), essas áreas urbanas apresentam demandas de quantidades maciças de bens, serviços e recursos.

Nesse contexto, a distribuição de bens da última milha foi detectada como principal problema urbano (Roumboutsos, Kapros, & Vanelslander, 2014). Segundo Dablanc (2009), o transporte urbano de cargas é ineficiente na maioria das cidades, incluindo-se aquelas localizadas nos países desenvolvidos, com baixas taxas de densidade populacional. Por exemplo, em Londres, a taxa de ocupação desse tipo de veículo variou entre 40 e 60% em 2002 (Schoemaker, Allen, Huschebeck, & Monigl, 2006), o que reforça a adoção de veículos menores como uma alternativa eficiente e sustentável. Para mitigar esses efeitos, as cidades precisam avançar em sua transformação e permitir a exploração inovadora das operações de frete urbano, especialmente em relação ao desenvolvimento de novas tecnologias (Björklund & Gustafsson, 2015), inovações que originarão melhorias tanto para os produtos como para os processos (Silva, Leite, & Oliveira, 2016).

Os veículos motorizados são uma grande fonte de poluição atmosférica e existem diversos planos para mitigar seus impactos. Uma das possíveis alternativas para redução dessa poluição é o uso de veículos movidos a eletricidade ou híbridos de eletricidade e queima de combustíveis (Morganti & Browne, 2018; Racz, Muntean, & Stan, 2015) e/ou distribuição de forma coletiva (*crowdsourcing*), conforme Winkenbach, Roset e Spinler (2016), e para áreas com densidade baixa ou média Joerss, Schröder, Neuhaus, Klink e Mann (2016), sugeriram o uso de *drones* para entregas no mesmo dia.

Assim, torna-se essencial desenvolver iniciativas estratégicas que permitam um melhor entendimento sobre a implementação dessas novas tecnologias em entregas na última milha. Consequentemente, há diversas oportunidades de pesquisa nessa área do conhecimento, desde a previsão do advento de novas tecnologias, até a compreensão de quais contextos elas poderiam ser aplicadas e a explicação das diferenças na aceitação social dessas tecnologias, bem como das restrições e motivações associadas com a sua adoção. No entanto, o primeiro passo é identificar os novos modelos de veículos que poderiam ser utilizados nas entregas de última milha.

Este trabalho tem como objetivo identificar, por meio de uma revisão sistemática da literatura, os principais tipos de veículos na literatura que podem ser usados na última milha da distribuição de carga urbana, a fim de aumentar a sustentabilidade ambiental desse tipo de operação.

Para atender a esse objetivo, foi realizada uma revisão sistemática da literatura com objetivo de identificar se os veículos elétricos/híbridos são considerados para utilização na última milha de distribuição de cargas urbanas com meta de aumentar a sustentabilidade ambiental deste tipo de operação.

Além dessa breve introdução, esse artigo inclui a fundamentação teórica sobre veículos elétricos/híbridos para utilização na última milha de distribuição de cargas urbanas, os procedimentos metodológicos, a apresentação dos resultados e discussões e as considerações finais apresentando novas oportunidades de pesquisa.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste tópico, será apresentada a revisão teórica sobre última milha de distribuição de cargas urbanas e veículos elétricos/híbridos.

2.1 ÚLTIMA MILHA DE DISTRIBUIÇÃO DE CARGAS URBANAS

A logística integra os processos ao longo da cadeia de suprimentos em termos de fluxos de materiais, de informação e de dinheiro em que os agentes participantes atuam em sincronia e de forma estratégica, buscando os melhores resultados possíveis em termos de redução de custos, de

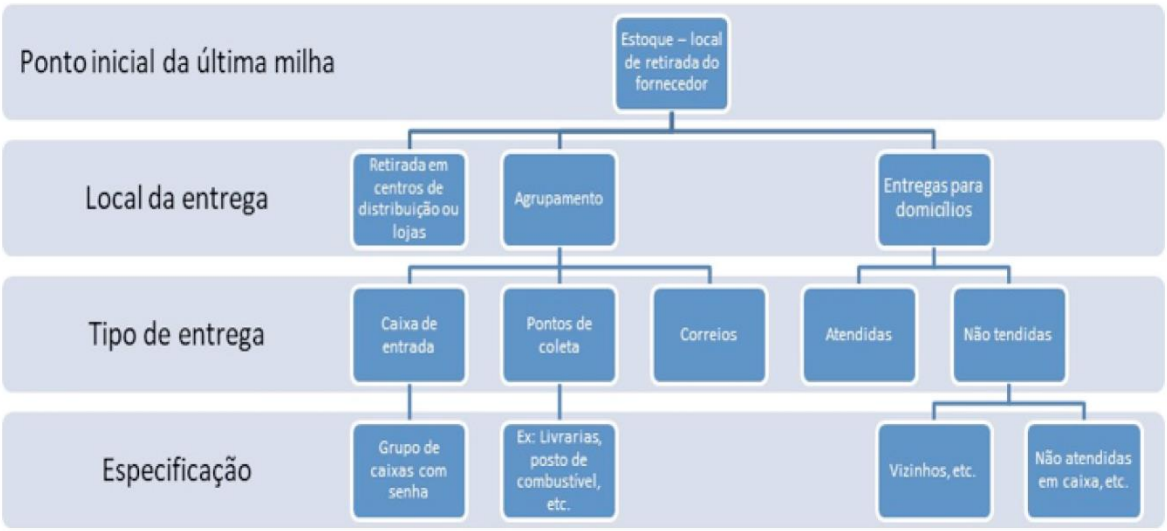
desperdícios e de agregação de valor para o consumidor final. Ela pode ser classificada em dois grandes grupos, o primeiro, que administra o fluxo de materiais no processo de produção, e o segundo, responsável pela distribuição que cuida do produto acabado desde a sua saída da fábrica até o cliente final (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, 2018).

O transporte de cargas, dentro da logística, pode ser dividido em três etapas distintas, a primeira é conhecida por *first mile* ou primeira milha, é a etapa na qual ocorre o transporte intercontinental, sendo, em sua maioria, a transferência do fabricante para os centros de distribuição em outros países. A segunda etapa, *middle mile* ou milha do meio, e refere-se ao transporte intracontinental, normalmente engloba a distribuição das mercadorias do centro de distribuição para os centros de transbordo. A última etapa, *last mile* ou última milha, é a responsável pela entrega do produto ao consumidor final (*business to consumer* – B2C) e a entrega do produto para centros de varejo (*business to business* – B2B) (Takano, 2016).

Para este artigo, foi abordada somente a visão de entrega em última milha, porque é uma das partes mais dispendiosas, menos eficientes e mais poluentes de toda a operação de entrega, devido ao alto grau de falhas nas entregas, ineficiência na rotina dos funcionários, falta de densidade de entrega em uma mesma área. Todos estes fatores aumentam o custo do frete e as emissões de poluentes e são conhecidos como problemas de última milha (Gevaers; Voorde; Vanelslander, 2011). As entregas na última milha enfrentam um duplo desafio, devem satisfazer as demandas do comércio globalizado e, ao mesmo tempo, atender aos requisitos ambientais, enfatizando, portanto, a importância da logística da última milha na cadeia de suprimentos (Ranieri et al., 2018).

A Figura 1 apresenta alguns tipos de entrega em última milha.

Figura 1 – Métodos de entrega em última milha



Fonte: Adaptado de Gevaers et al. (2011)

O tipo de frota veicular utilizado pode impactar nos custos por meio do consumo de combustíveis, da utilização de capacidade máxima de carga, métodos de carga e descarga, segurança etc. Os veículos mais comumente utilizados dentro de áreas urbanas e em operações de última milha são veículos utilitários e os veículos urbanos comerciais [VUC] (Gevaers et al., 2011).

Na cidade de São Paulo, os VUCs podem ter, no máximo, 2,2 metros de largura e 7,2 metros de comprimento, carregam**,** no máximo, 3,5 toneladas e tem limite de emissão de poluentes especificados pelo Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), estando enquadrados nas L-4, L-5, P-5 ou P-6. Possuem versões com carroceria baú, refrigerada, frigorífica, dentre outras (Alcântara, 2016).

A dificuldade encontrada para operacionalização da logística em centros urbanos acaba agravando o problema de última milha, porque aumenta o número de entregas não efetuadas. Assim, é maior o número de viagens extras até a realização do objetivo de entrega das mercadorias, assim, o problema de última milha e de logística urbana estão intrinsicamente ligados (Castro, Lima, Dias, Loureiro, & Noletto, 2015).

Esse aumento do número de viagens extras agrava ainda mais as externalidades, relacionados ao congestionamento de tráfego, ruído, poluentes e emissões, bem como maior risco de acidentes de trânsito. Nesse contexto, os veículos elétricos/híbridos surgem como uma alternativa porque as principais vantagens dos carros elétricos são baixa emissão de gases, não necessitam de aquecimento prévio e seu desempenho é superior aos veículos de combustão interna (VCI).

2.2 VEÍCULOS ELÉTRICOS/HÍBRIDOS

Veículos elétricos (VE) são aqueles tracionados, em parte ou completamente, por um motor elétrico. Embora muitos veículos possuam motores elétricos para acionamento de periféricos, tais como vidros e travas, somente aqueles nos quais o motor elétrico é responsável pela tração do veículo são considerados veículos elétricos (Castro & Ferreira, 2010).

A carroceria do VE é igual a carroceria de veículos à combustão interna, de forma que visualmente não se pode perceber diferença entre eles. Em seu funcionamento esta diferença é pontuada pela redução nos ruídos. Tais veículos substituem o tradicional motor a combustão e tanque de combustível por um motor elétrico, controlador e conjunto de baterias recarregáveis. As baterias armazenam a energia elétrica que é enviada ao motor, somente na quantidade necessária e a gestão de energia é realizada pelo controlador (Racz et al., 2015).

Os VEs utilizam como combustível a eletricidade e sua forma de obtenção é variada podendo ser com conexão direta a fonte externa de eletricidade, por meio de *plugs* ou cabos aéreos, por sistemas de indução eletromagnética, pela eletrólise do oxigênio com o hidrogênio em uma célula

de combustível ou por meio da frenagem regenerativa, isto é, energia mecânica da frenagem (Delgado, Costa, Febraro, & Silva, 2017).

Os VEs podem ser subdivididos em veículos puramente elétricos (VPE) e veículos híbridos (VH). O que diferencia estes modelos é a fonte de energia elétrica, nos VPEs esta fonte é a bateria e nos VHs a energia elétrica vem da bateria, e esta**,** por sua vez, é carregada por um motor de combustão interna (Castro & Ferreira, 2010).

Os VPEs não geram gás carbônico durante sua operação, enquanto os VHs possuem uma emissão de gás carbônico, sendo esta inferior a emissão gerada por veículos de combustão interna. Entretanto, os VHs possuem uma autonomia maior que os VPEs e contam com uma infraestrutura melhor por poderem ser abastecidos com combustíveis fósseis (Chan, 2007), conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Características dos veículos puramente elétrico (VPE) e veículo híbrido (VH)

Tipos	**Veículo Puramente Elétrico (VPE)**	**Veículo Híbrido (VH)**
Propulsão	• Motor elétrico	• Motor elétrico • Maquinário de combustão interna
Sistema de energia	• Bateria • Ultracapacitor	• Bateria • Ultracapacitor • Unidade de geração por maquinário de combustão interna
Fonte de energia e infraestrutura	• Facilidades de carregamento por *grid* elétrico	• Postos de gasolina • Facilidades de carregamento por *grid* elétrico (para os *plugin*)
Características	• Zero emissões • Alta eficiência energética • Independência de combustíveis fósseis • Baixa autonomia • Alto custo inicial • Disponibilidade comercial	• Emissões muito baixas • Elevada economia de combustível quando comparado ao veículo de combustão interna (VCI) • Alta autonomia • Dependência de combustíveis (exceto para os *plugin*) • Elevado custo quando comparado ao VCI • Comercialmente disponível

Fonte: Adaptado de Chan (2007)

Os VPEs são tracionados por um motor elétrico, provido de energia pelas baterias, por placas fotovoltaicas (solares) ou ligados a rede elétrica como alguns modelos de trólebus. A maioria dos VPEs atuais tem seus motores providos de energia por baterias recarregáveis que, por sua vez, são carregadas por cargas diretas (Castro & Ferreira, 2010).

A vantagem dos VPEs é o fato de não emitirem nenhum poluente durante seu funcionamento e sua maior desvantagem é a autonomia limitada, que varia de acordo com sua bateria (Ornellas, 2013).

VHs são movidos por eletricidade ou uma combinação de eletricidade e combustíveis fósseis, com isso, se alcança uma redução nos níveis de emissão de gás carbônico, aumento da autonomia do veículo e redução no custo do transporte (Racz et al., 2015).

VHs possuem melhor eficiência energética e menor geração de poluentes do que veículos a combustão. A melhor eficiência energética se dá pela assistência do motor elétrico ao de combustão interna, permitindo, assim, o uso de motores com menor perda, possibilidade de desligamento automático do motor em caso de parada; e pela recarga da bateria por frenagem regenerativa e otimização da transmissão (Castro & Ferreira, 2010).

Os VHs podem ter três desenhos diferentes no que diz respeito conexão do motor elétrico com o motor a combustão. A primeira possibilidade é uma ligação de motores em série, na qual o motor a combustão produz energia, esta energia é armazenada em um gerador e usada para recarregar as baterias, que**,** por sua vez**,** fornecem energia ao motor e este traciona o veículo (Racz et al., 2015).

A segunda possibilidade é uma ligação em paralelo entre os motores, na qual tanto o motor a combustão quanto o motor elétrico tracionam o veículo. Esta distribuição de energias para o tracionamento é gerenciada por um controlador (Racz et al., 2015).

A última possibilidade é uma ligação mista, na qual a energia gerada pelo motor a combustão tanto pode ser usada para tracionar o veículo quanto para carregar as baterias (Castro & Ferreira, 2010).

A seguir serão descritos os procedimentos metodológicos aplicados neste artigo.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Uma revisão sistemática da literatura visa relatar o estado da arte de um campo particular de conhecimento (Rowley & Slack, 2004) e requer o uso de procedimentos sistemáticos para maior confiabilidade dos dados (Brereton, Kitchenham, Budgen, Turner, & Khalil, 2007), que devem seguir protocolos bem definidos para localizar, selecionar e avaliar os artigos existentes e posteriormente apresentar os principais achados, porque a revisão sistemática da literatura é um esforço de pesquisa e não apenas uma busca por publicações passadas (Thomé, Scavarda, & Scavarda, 2016).

Para o desenvolvimento da revisão foram utilizados os bancos de dados: *Web of Science*, SCOPUS e *Science Direct*, conforme recomendado por Thomé et al. (2016). A escolha desses três bancos de dados foi por disponibilidade de acesso. Foi utilizada uma combinação de palavras-chave - *last mile and (urban freight or urban freight distribution or city logistics) and vehicles* - direcionada ao título, resumo e palavras-chave dos artigos para selecionar pesquisas que propuseram

diferentes tecnologias a serem adotadas em entregas urbanas de última milha. Foram considerados os artigos publicados no período janeiro de 2013 a março de 2018.

Inicialmente foram identificados 96 artigos, mas, com a exclusão de artigos duplicados, por estarem em mais de um banco de dados, resultou em uma lista de 61 artigos, cujos resumos foram lidos por dois pesquisadores, por intermédio do processo de seleção iterativo, considerando a concordância entre os pesquisadores (Thomé et al., 2016).

Os critérios de inclusão e exclusão dos artigos foram baseados em uma análise de conteúdo (Bardin, 2009) relacionado à distribuição da última milha e, especificamente, no tipo de veículo adotado no frete urbano. Foram selecionados 49 artigos para leitura completa, destes 21 foram eliminados seguindo os critérios de exclusão descritos, restando 28 artigos. As informações foram registradas em uma planilha *Excel*, a fim de facilitar a avaliação dos estudos utilizados nesta pesquisa.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A Figura 3 mostra a relação dos 28 artigos selecionados, relacionando ano da publicação, título, periódico/congresso e respectivos autores.

Figura 3 – Artigos pesquisados

Nº	Ano	Título	Periódico/Congresso	Autores
1	2018	A Review of Last Mile Logistics Innovations in an Externalities Cost Reduction Vision	Sustainability	Ranieri et al.
2	2018	Technical and operational obstacles to the adoption of electric vans in France and the UK: An operator perspective	Transport Policy	Morganti & Browne
3	2017	An ex ante evaluation of mobile depots in cities: a sustainability perspective	International Journal of Sustainable Transportation	Arvidsson & Pazirandeh
4	2017	Carros elétricos	Cadernos FVG Energia	Delgado et al.
5	2017	Sustainable vehicles-based alternatives in last mile distribution of urban freight transport: a systematic literature review	Sustainability	Oliveira, Bandeira, Goes, Gonçalves, & D'Agosto
6	2016	Designing new models for energy efficiency in urban freight transport for smart cities and its application to the Spanish case	Transportation Research Procedia	Navarro, Roca-Riu, Furió, & Estrada
7	2016	Evaluating the impacts of urban freight traffic: application of micro-simulation at a large establishment	European Journal of Transport and Infrastructure Research	Aditjandra, Galatioto, Bell, & Zunder
8	2016	Innovative two wheeler technologies for future mobility concepts	International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies	Schier et al.
9	2016	New opportunities and challenges for city logistics	Transportation Research Procedia	Taniguchi, Thompson, & Yamada

10	2016	Parcel delivery the future of last mile	Travel, Transport and Logistics	Joerss et al.
11	2016	Reject or embrace? Messengers and electric cargo bikes	Transportation Research Procedia	Gruber & Kihm
12	2016	Strategic redesign of urban mail and parcel networks at La Poste	Interfaces	Winkenbach et al.
13	2016	The constraints of vehicle range and congestion for the use of electric vehicles for urban freight in France	Transportation Research Procedia	Rizet, Cruz, & Vromant
14	2016	The parcel industry in the spatial organization of logistics activities in the Paris Region- inherited spatial patterns and innovations in urban logistics systems	Transportation Research Procedia	Heitz & Beziat
15	2015	A look into electric/hybrid cars from na ecological perspective	Procedia Technology	Racz et al.
16	2015	A study of the feasibility and potential implementation of metro-based freight transportation in Newcastle upon Tyne	Urban Rail Transit	Dampier & Marinov
17	2015	Automated Vehicles and the Rethinking of Mobility and Cities	Transportation Research Procedia	Alessandrini, Campagna, Site, Filippi, & Persia
18	2015	Advances in consumer electric vehicle adoption research: A review and research agenda	Transportation Research Part D: Transport and Environment	Rezvani, Jansson, & Bodin
19	2015	On the electrification of road transportation – A review of the environmental, economic, and social performance of electric two-wheelers	Transportation Research Part D: Transport and Environment	Weiss, Dekker, Moro, Scholz, & Patel
20	2015	Ponto de apoio como solução para distribuição de cargas em centros urbanos	Congresso Nacional de pesquisa em transporte da ANPET	Castro et al.
21	2015	Sustainable city logistics —Making cargo cycles viable for urban freight transport	Research in Transportation Business & Management	Schliwa, Armitage, Aziz, Evans, & Rhoades
22	2015	Toward sustainability with the coordinated freight distribution of municipal goods	Journal of Cleaner Production	Björklund & Gustafsson
23	2014	A new vehicle for urban freight? An ex-ante evaluation of electric cargo bikes in courier services	Research in Transportation Business &Management	Gruber, Kihm, & Lenz
24	2014	Electric fleets in urban logistics	Procedia - Social and Behavioral Sciences	Foltynski
25	2014	Green city logistics: Systems of Innovation to assess the potential of E-vehicles	Research in Transportation Business & Management	Roumboutsos et al.
26	2014	Impact of cycle rickshaw trolley (CRT) as non-motorised freight transport in Delhi	Transport Policy	Sadhu, Tiwari, & Jain
27	2014	Urban Freight research roadmap	European Commission within the Sixth Framework Programme (2002-2006)	Alice & ERTRAC Urban mobility WG
28	2013	Impactos do consumo colaborativo de veículos elétricos na cidade de São Paulo	Future Studies Research Journal	Ornellas

Fonte: Dados da pesquisa

A pesquisa mostrou que, entre os 28 artigos avaliados, 11 artigos propuseram uso de bicicletas/triciclos elétricos como a melhor alternativa para entrega na última milha e nove artigos sugeriram que sejam movimentados por propulsão humana. Nessa amostra selecionada, 19 estudos

sugeriram o uso de VPEs ou VHs com peso bruto do veículo não superior a 3,5 toneladas. Observando-se que nove artigos apresentaram mais de uma proposta de veículos para entregas na última milha.

O uso de energia elétrica nos veículos foi indicado em 63% dos estudos e 37% referenciaram o uso de diesel, metano e biodiesel. Vale ressaltar que Alessandrini et al. (2015), consideraram o uso de VUCs não tripulado movido a eletricidade, porém, os veículos autônomos ainda estão em fase de testes para melhorar o *hardware* e o *software* (Ranieri et al., 2018), enquanto Foltynski (2014) sugeriu o uso de bicicletas, triciclos e motocicletas em conjunto com VPEs, como alternativas para a entrega na última milha.

Nesse mesmo contexto, Winkenbach et al. (2016) recomendaram ao correio de Nantes (França) ampliar a frota de bicicletas e reduzir o número de vans, pois as vans enfrentam o risco de ficarem presas no tráfego, em especial nas ruas estreitas do centro da cidade.

A literatura pesquisada também sugeriu a redução do tamanho dos veículos utilizados na última milha, especificamente na adoção de bicicletas, triciclos e VUCs. No entanto, é um desafio logístico integrar a tendência de reduzir o tamanho dos veículos com consequente redução da capacidade de carga na entrega urbana de última milha (Alice - Aliance for Logistics Innovation through Collaboration in Europe & ERTRAC Urban mobility WG, 2014). Por esse motivo, torna-se essencial o uso de centros de desconsolidação em áreas urbanas. Entende-se por centro de desconsolidação, locais estratégicos, onde são alocadas as cargas destinadas à região abrangida por esses centros e são caracterizados por menores investimentos tanto na abertura quanto no fechamento desses locais (Pires, 2006). Nesse mesmo sentido, Castro et al. (2015) propuseram a implantação de um ponto de apoio no centro da cidade, para a expedição de pedidos de pequenas quantidades, e que poderão ser atendidos por motos ou vans.

Em relação às barreiras, aqui definidas como obstáculos que impedem a implantação das propostas, foi identificada a recusa por parte de alguns clientes em assinar contratos com empresas que utilizam o serviço de entrega de bicicletas, por considerar que esse mercado ainda é operado por *freelancers*, pequenas e médias empresas (Gruber et al., 2014; Gruber & Kihm, 2016; Schliwa et al., 2015). É importante também apontar os problemas de saúde que podem ser causados pelo uso de bicicletas com propulsão humana em relação ao excesso de peso transportado (Oliveira et al., 2017; Sadhu et al., 2014). Outra barreira refere-se às infraestruturas das cidades, especialmente aos sistemas de alimentação de veículos elétricos (Morganti & Browne, 2018) e à necessidade de construção de centros de desconsolidação para facilitar a distribuição de cargas por VPEs ou VHs (Björklund & Gustafsson, 2015; Heitz & Beziat, 2016; Rizet et al., 2016; Taniguchi et al., 2016).

Referindo-se aos benefícios econômicos, alguns estudos propuseram a redução do consumo de energia, tempo de entrega e congestionamento (Dampier & Marinov, 2015; Rizet et al., 2016; Schliwa et al., 2015), uma vez que as bicicletas são capazes de usar ciclovias exclusivas e evitar restrições impostas ao tráfego (Sadhu et al., 2014). Os benefícios ambientais concentraram-se na redução das emissões de gases de efeito estufa, poluentes atmosféricos (Aditjandra et al., 2016; Delgado et al., 2017; Racz et al., 2015), emissões de ruído, qualidade do ar, enquanto os benefícios sociais incluíram a possível geração de empregos e melhoria na qualidade de vida da população (Arvidsson & Pazirandeh, 2017).

Avaliando-se a velocidade desenvolvida pelos veículos, pode-se considerar que a velocidade média das bicicletas/triciclos variava de 2 a 6 km/h (Sadhu et al., 2014), enquanto um VUC pode chegar a 25 km/h (Gruber et al., 2014).

Quanto à capacidade de carga, Schliwa et al. (2015) revelaram a existência de uma limitação de peso de 60 quilogramas (kg) para os embarques em bicicletas elétricas na Inglaterra, enquanto Gruber et al. (2014) sugeriram o peso de 100 kg para a capacidade das bicicletas elétricas na Alemanha. No caso analisado por Sadhu et al. (2014), em Nova Delhi, foi constatado o transporte de carga, por viagem, de até 195 kg em bicicletas movidas a energia humana. No entanto, Schier et al. (2016), em seu levantamento da distribuição da última milha em áreas urbanas, consideraram que bicicletas e triciclos elétricos podem carregar entre 50 e 250 kg. Bicicletas já são utilizadas em entregas ponto a ponto de documentos e refeições, conforme Joerss et al. (2016).

Por intermédio dos resultados deste estudo, foi possível identificar uma mudança na maneira de operar a distribuição da última milha. Tradicionalmente, as entregas eram realizadas por VCI. No entanto, devido a restrições na movimentação desse tipo de caminhões em áreas urbanas por causa das suas dimensões, a substituição por veículos menores estão se tornando cada vez mais comuns. A pesquisa revelou que 63% dos artigos citaram o uso de VUCs (peso bruto menor que 3,5 toneladas). Mesmo assim, alguns fatores, tais como o congestionamento e as características geográficas específicas das cidades como relevo da superfície do solo, presença de um centro histórico e densidade populacional, obrigaram o uso gradual de veículos menores, como triciclos, bicicletas e motocicletas, como evidenciado em 69% dos artigos analisados.

Também foi observado um aumento na extensão da viagem da última milha de distribuição, porque o estudo revelou que muitas empresas passaram a adotar uma combinação de VUCs, triciclos, bicicletas e motocicletas nesse estágio da cadeia de distribuição. Assim, a extensão da viagem para suportar a demanda de última milha em áreas urbanas variou entre 10 e 30 km (Navarro et al., 2016).

Em relação ao tipo de energia utilizada pelos veículos propostos, analisando os artigos, verificou-se que 49% lidam com veículos movidos a eletricidade. Esse resultado mostra o uso potencial de VPEs ou VHs no transporte urbano de cargas, especialmente na distribuição de última milha. A eletrificação é amplamente considerada como uma estratégia viável para reduzir a dependência do petróleo e os impactos ambientais do transporte rodoviário (Weiss et al., 2015), sendo o uso de tecnologia movida a eletricidade o que poderá proporcionar beneficios ambientais e econômicos (Ornellas, 2013). Roumboutsos et al. (2014) advertiram que, para que isso ocorra, será necessário um maior envolvimento das autoridades municipais, a fim de passar da fase experimental para a fase de implementação dos projetos. Os outros tipos de energia utilizados nas aplicações relatadas na literatura foram metano, biodiesel e diesel (28% das pesquisas) e propulsão humana (23% das pesquisas).

Joerss et al. (2016) sugeriram o uso de veículos autônomos para a entrega na última milha (*drones*, veículos autônomos terrestres) e afirmaram que a maioria dos pré-requisitos econômicos já está em vigor para que o futuro delineado da última milha se torne realidade, mas a velocidade com que diferentes países se adaptarão depende fundamentalmente de três fatores:

1) custo de oportunidade, à medida que o custo do trabalho aumenta, a tecnologia se torna relativamente mais acessível, acelerando a transição para a automação e esse será o caso nos países em desenvolvimento;

2) regulamento, a regulamentação atual não trata adequadamente de veículos autônomos e precisará mudar drasticamente; e

3) aceitação pública, o público geralmente é muito cético em relação a mudanças e fica a dúvida como ele responderá à introdução em larga escala de veículos autônomos.

Na avaliação de Delgado et al. (2017, p.88), “[...]a inserção do carro elétrico cria novos modelos de negócios, novas oportunidades econômicas e, praticamente, toda uma nova cadeia produtiva”.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo teve como objetivo identificar, por meio de uma revisão sistemática da literatura, os principais tipos de veículos que podem ser usados na última milha da distribuição de carga urbana.

Como resultado, apresentou uma síntese e uma análise do estado da arte da literatura no campo do transporte urbano de cargas, em relação ao tipo de veículos que podem ser utilizados na última milha dessas operações.

A literatura revelou que a redução de tamanho dos veículos e também da sua capacidade de carga nas entregas de última milha em áreas urbanas como alternativas mais sustentáveis e eficientes. Vale ressaltar que as pressões impostas ao tráfego, devido ao uso da terra, como as restrições à movimentação de caminhões e os aspectos geográficos, tornaram um desafio a operação das entregas de última milha. Segundo Ranieri et al. (2018), as interferências dos transportes nas áreas urbanas são diversas como, por exemplo, poluição do ar, devido às emissões dos veículos; poluição sonora, produzida pelo elevado número de veículos em circulação e por motores convencionais; acidentes, principalmente relacionados à distração do motorista; congestionamento, gerado pelo elevado número de veículos na cidade; uso do solo, devido à quantidades de veículos; desgaste da infraestrutura, gerado pela frequência e peso dos veículos; dependência energética causada pela tecnologia tradicional de energia e ineficiência do motor.

Por essa razão, as pesquisas sugerem que as entregas devem ser feitas por bicicletas/triciclos/motocicletas ou VUCs. No entanto, essa alternativa implica outras questões que requerem mais estudos, como as consequências para o nível operacional do serviço, aumentando o número de viagens feitas por veículos menores e como adaptar a rede viária para integrar esses tipos de veículos, especialmente bicicletas e triciclos. Outro ponto relevante a ser abordado em estudos futuros são os impactos da adoção de bicicletas e triciclos, principalmente em relação à saúde dos trabalhadores e os problemas que podem ser causados pelo excesso de peso da carga, como mostrou a literatura que, em uns casos, alcançou 195 kg.

Além disso, os resultados também mostraram o uso potencial de VPEs e VHs no transporte urbano de carga, especialmente na distribuição de última milha, como uma alternativa com potenciais benefícios em termos de sustentabilidade ambiental e eficiência. Essa mudança na fonte de propulsão de veículos de combustíveis fósseis para energia elétrica foi indicada em 72% dos estudos.

Esses dados mostraram uma preocupação não apenas em evitar os efeitos adversos de uma rede rodoviária congestionada, mas também em tomar medidas baseadas na sustentabilidade social e ambiental do transporte urbano de cargas. Portanto, é fundamental desenvolver novos estudos que analisem como o crescimento dos VPEs e VHs podem ser integrados à cadeia de suprimentos e como pode surgir oportunidades de cooperação entre todos os *stakeholders*.

Verificou-se que houve tendência à eletrificação e a preocupação em promover a sustentabilidade socioambiental das operações das empresas. O uso de energia elétrica para o transporte é pertinente para reduzir consideravelmente as emissões de gases de efeito estufa, especialmente o monóxido de carbono, a principal causa do aquecimento global (Racz et al., 2015; Rezvani et al., 2015; Weiss et al., 2015).

Por fim, pode-se inferir que há viabilidade do uso de VPEs e VHs no transporte de carga em última milha, em grandes cidades, como, por exemplo, na cidade de São Paulo, considerando-se que a matriz elétrica brasileira é qualificada como limpa. Mas a adoção desses tipos de veículos enfrenta barreiras relacionadas à autonomia limitada (distância), filas para recarregar as baterias, limite de carga dos veículos e infraestrutura da rede para recarga, afetam a aceitação pelos operadores logísticos, como mostrou a pesquisa de Morganti e Browne (2018), nas cidades de Paris (França) e Londres (Reino Unido).

Como contribuição para a teoria, foram identificadas diversas oportunidades de pesquisa nessa área do conhecimento, desde a previsão do advento das novas tecnologias, até a compreensão em que contextos elas poderiam ser aplicadas e a explicação das diferenças na aceitação social dessas tecnologias, bem como restrições e motivações associadas à sua adoção.

Como contribuição para a prática, pode se citar que o escopo do artigo foi buscar apenas estudos que enfocam especificamente o tipo de veículo adotado na operação na última milha de entregas urbanas. Portanto, os especialistas em transportes de última milha poderão verificar quais são as alternativas que estão sendo utilizadas em diversas cidades pois, segundo Mangini, Rossini, Conejero e Urdan (2018, p. 17), "[...] as empresas podem usar diversas fontes de informação, interna ou externa, para o desenvolvimento de novos produtos ou serviços.

Outras alternativas potenciais para aumentar a sustentabilidade da logística urbana, como o uso de caixas ou *crowdsourcing*, não foram analisadas neste trabalho, uma vez que não são soluções baseadas em veículos, objeto de estudo deste artigo. Algumas soluções intermodais, tal como o uso de transporte ferroviário para o transporte urbano de cargas com a integração de outro modo de estrada até a última milha da entrega, também não foram avaliadas, já que foi concentrado apenas na última milha do transporte de mercadorias. Isso pode ser considerado como uma das limitações deste estudo, mas também uma oportunidade de pesquisas futuras, uma vez que novas revisões sistemáticas da literatura podem ser desenvolvidas com foco nesses tópicos.

REFERÊNCIAS

Aditjandra, P. T., Galatioto, F., Bell, M. C., & Zunder, T. H. (2016). Evaluating the impacts of urban freight traffic: application of micro-simulation at a large establishment. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, *16*(1), 4-22. https://doi.org/10.18757/ejtir.2016.16.1.3110.

Alcântara, J. (2016). *Os principais veículos utilizados no transporte rodoviário brasileiro de cargas.* 2016. Recuperado em 23 outubro, 2019 de https://blog.truckpad.com.br/industria/veiculos-transporte-rodoviario-cargas/.

Alessandrini, A., Campagna, A., Site, P. D., Filippi, F., & Persia, L. (2015). Automated vehicles and the rethinking of mobility and cities. *Transportation Research Procedia*, *5*, 145-160. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2015.01.002.

Alice - Aliance for Logistics Innovation through Collaboration in Europe, & ERTRAC Urban mobility WG. *Urban Freight Research Roadmap*. European Commission within the Sixth Framework Programme (2002-2006). (2014). Brussel, Belgium. Recuperado em 17 novembro, 2019 de http://www.ertrac.org/uploads/documentsearch/id36/ERTRAC_Alice_Urban_Freight.pdf.

Arvidsson, N., & Pazirandeh, A. (2017). An ex ante evaluation of mobile depots in cities: A sustainability perspective. *International Journal of Sustainable Transportation*, *11*(8), 623-632. https://doi.org/10.1080/15568318.2017.1294717.

Bardin, L. (2009). *Análise de conteúdo*. Lisboa: Edições 70.

Björklund, M., & Gustafsson, S. (2015). Toward sustainability with the coordinated freight distribution of municipal goods. *Journal of Cleaner Production*, *98*, 194-204. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.043.

Brereton, P., Kitchenham, B. A., Budgen, D., Turner, M., & Khalil, M. (2007). Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain. *Journal of Systems and Software*, *80*(4), 571-583. https://doi.org/10.1016/j.jss.2006.07.009.

Castro, B. H. R. D., & Ferreira, T. T. (2010). Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades. *BNDES Setorial*, *32*, 267-310.

Castro, R. B., Lima, O. F., Dias, M. D., Loureiro, S. A., & Noletto, A. P. (2015). Ponto de apoio como solução para distribuição de cargas em centros urbanos. *Anais do Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANPET.* Ouro Preto, MG, Brasil, 29.

Chan, C. C. (2007). The state of the art of electric, hybrid, and fuel cell vehicles. *Proceedings of the IEEE*, *95*(4), 704-718. https://doi.org/10.1109/JPROC.2007.892489.

Dablanc, L. (2009). *Freight transport for development toolkit: urban freight*. Washington: The World Bank.

Dampier, A., & Marinov, M. (2015). A study of the feasibility and potential implementation of metro-based freight transportation in Newcastle upon Tyne. *Urban Rail Transit*, *1*(3), 164-182. https://doi.org/10.1007/s40864-015-0024-7.

Delgado, F., Costa, J. E. G., Febraro, J., & Silva, T. B. (2017). Carros Elétricos. *FGV Energia*, *4*(7), 1-99. Recuperado em 20 outubro, 2018 de http://fgvenergia.fgv.br/publicacao/caderno-de-carros-eletricos.

Foltynski, M. (2014). Electric fleets in urban logistics. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, *151*, 48-59. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.10.007.

Gevaers, R., Voorde, E. V., Vanelslander, T. (2011). Characteristics and typology of lastmile logistics from an innovation perspective in an urban context. In C. Macharis & S. Melo (Eds). *City Distribution and Urban Freight Transport: Multiple Perspectives* (p. 56-71). https://doi.org/ 10.4337/9780857932754.00009.

Gruber, J., Kihm, A., & Lenz, B. (2014). A new vehicle for urban freight? An ex-ante evaluation of electric cargo bikes in courier services. *Research in Transportation Business & Management*, *11*, 53-62. https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2014.03.004.

Gruber, J., & Kihm, A. (2016). Reject or embrace? Messengers and electric cargo bikes. *Transportation Research Procedia*, *12*, 900-910. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.02.042.

Heitz, A., & Beziat, A. (2016). The parcel industry in the spatial organization of logistics activities in the Paris region: Inherited spatial patterns and innovations in urban logistics systems. *Transportation Research Procedia*, *12*, 812-824. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.02.034.

Joerss, M., Schröder, J., Neuhaus, F., Klink, C., & Mann, F. (2016). *Mckinsey & company parcel delivery:* The future of last mile. McKinsey & Company: Travel, Transport Logist. Recuperado em 14 maio, 2018 de http://www.mckinsey.com/industries/travel-transport-and-logistics/our-insights/how-customerdemands-are-reshaping-last-mile-delivery.

Mangini, E. R., Rossini, F. H. B., Conejero, M. A., & Urdan, A. T. (2018). Gestão do conhecimento como fator de alavancagem de inovação aberta: o caso Foco Virtual. *Revista de Administração, Sociedade e Inovação, 4*(1), 16-33. http://doi.org/10.20401/rasi.4.1.154.

Morganti, E., & Browne, M. (2018). Technical and operational obstacles to the adoption of electric vans in France and the UK: An operator perspective. *Transport Policy*, *63*, 90-97. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.12.010.

Navarro, C., Roca-Riu, M., Furió, S., & Estrada, M. (2016). Designing new models for energy efficiency in urban freight transport for smart cities and its application to the Spanish case. *Transportation Research Procedia*, *12*, 314-324. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.02.068.

Oliveira, C. M. D., Bandeira, R. A. M., Goes, G. V., Gonçalves, D. N. S., & D'Agosto, M. D. (2017). A. Sustainable vehicles-based alternatives in last mile distribution of urban freight transport: a systematic literature review. *Sustainability*, *9*(8), 1-15. https://doi.org/10.3390/su9081324.

Ornellas, R. (2013). Impactos do consumo colaborativo de veículos elétricos na cidade de São Paulo. *Future Studies Research Journal*, *5*(1), 33-62. https://doi.org/10.24023/FutureJournal/2175-5825/2013.v5i1.93.

Pires, T. (2006). *Configuração de uma rede de distribuição capacitada com restrição de cobertura*. Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.

Racz, A. A., Muntean, I., & Stan, S. D. (2015). A look into electric/hybrid cars from an ecological perspective. *Procedia Technology*, *19*, 438-443. https://doi.org/10.1016/j.protcy.2015.02.062.

Ranieri, L., Digiesi, S., Silvestri, B., & Roccotelli, M. (2018). A review of last mile logistics innovations in an externalities cost reduction vision. *Sustainability*, *10*(3), 1-18. https://doi.org/10.3390/su10030782.

Rezvani, Z., Jansson, J., & Bodin, J. (2015). Advances in consumer electric vehicle adoption research: A review and research agenda. *Transportation research part D: transport and environment*, *34*, 122-136. https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.10.010.

Rizet, C., Cruz, C., & Vromant, M. (2016). The constraints of vehicle range and congestion for the use of electric vehicles for urban freight in France. *Transportation Research Procedia*, *12*, 500-507. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.02.005.

Roumboutsos, A., Kapros, S., & Vanelslander, T. (2014). Green city logistics: systems of innovation to assess the potential of e-vehicles. *Research in Transportation Business & Management*, *11*, 43-52. https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2014.06.005.

Rowley, J., & Slack, F. (2004). Conducting a literature review. *Management Research News*, *27*(6), 31-39. https://doi.org/10.1108/01409170410784185.

Sadhu, S. S., Tiwari, G., & Jain, H. (2014). Impact of cycle rickshaw trolley (CRT) as non-motorised freight transport in Delhi. *Transport Policy*, *35*, 64-70. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.05.015.

Schier, M., Offermann, B., Weigl, J. D., Maag, T., Mayer, B., Rudolph, C.; & Gruber, J. (2016). Innovative two wheeler technologies for future mobility concepts. *Proceedings of International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER)*. Monte Carlo, Monaco, 11. https://doi.org/10.1109/EVER.2016.7476399.

Schliwa, G., Armitage, R., Aziz, S., Evans, J., & Rhoades, J. (2015). Sustainable city logistics—making cargo cycles viable for urban freight transport. *Research in Transportation Business & Management*, *15*, 50-57. https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2015.02.001.

Schoemaker, J., Allen, J., Huschebeck, M., & Monigl, J. (2006). *Quantification of urban freight transport effects. Best Urban Freight Solutions II*. Recuperado em 17 setembro, 2019, de http://www.bestufs.net/download/BESTUFS_II/key_issuesII/BESTUF_Quantification_of_effects.pdf.

Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. (2018). Brasilia: Senai. Recuperado em 17 novembro, 2019, de http://www.portaldaindustria.com.br/senai/.

Silva, J. C., Leite, R. T., & Oliveira, M. A. (2016). Capacidades de inovação e indicadores não convencionais: um estudo exploratório. *Revista de Administração, Sociedade e Inovação*, *2*(2), 167-186. https://doi.org/10.20401/rasi.2.2.110.

Takano, H. (2016). *Direto ao ponto:* a última milha. Recuperado em 18 outubro, 2019, de http://comprovei.com/logistica/o-que-e-last-mile/.

Taniguchi, E., Thompson, R. G., & Yamada, T. (2016). New opportunities and challenges for city logistics. *Transportation Research Procedia*, *12*, 5-13. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.02.004.

Thomé, A. M. T., Scavarda, L. F., & Scavarda, A. J. (2016). Conducting systematic literature review in operations management. *Production Planning & Control*, *27*(5), 408-420. https://doi.org/10.1080/09537287.2015.1129464.

Weiss, M., Dekker, P., Moro, A., Scholz, H., & Patel, M. K. (2015). On the electrification of road transportation–a review of the environmental, economic, and social performance of electric two-wheelers. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *41*, 348-366. https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.09.007.

Winkenbach, M., Roset, A., & Spinler, S. (2016). Strategic redesign of urban mail and parcel networks at La Poste. *Interfaces*, *46*(5), 445-458. https://doi.org/10.1287/inte.2016.0854.

WBCSD - World Business Council for Sustainable Development. (2001). *Mobility 2001: world mobility at the end of the twentieth century and its sustainability*. Recuperado em 17 dezembro, 2019 de https://www.wbcsd.org/Projects/SiMPlify/Resources/world-mobility-at-the-end-of-the-twentieth-century-and-its-sustainability.