

MODELO DE SIMULAÇÃO BASEADO EM AGENTES PARA AVALIAR POLÍTICA DE DISTRIBUIÇÃO DE CARGAS URBANAS DO E-COMMERCE

Roberta Alves

Renato da Silva Lima

Alexandre Ferreira de Pinho

Universidade Federal de Itajubá

Instituto de Engenharia de Produção e Gestão

Jose Holguín-Veras

Rensselaer Polytechnic Institute

Center for Infrastructure, Transportation, and the Environment

RESUMO

Este estudo tem como objetivo explorar como os Modelos de Simulação Baseados em Agente (MSBA) podem ajudar a reduzir o impacto das entregas de comércio eletrônico na logística urbana. No Brasil, as entregas de comércio eletrônico são à domicílio e assistidas. Isso resulta em um grande número de entregas com falha e tentativas de re-entrega. As Estações de Entrega Automática (EEA) representam uma solução para reduzir a quantidade de devoluções e consolidar a entrega de mercadorias. Simulamos quatro cenários em Belo Horizonte, Brasil, variando a implementação da EEA e a exclusão das tentativas de devolução. Os EEAs trazem melhorias em termos de redução de re-entregas e das distâncias percorridas pelos caminhões em até 46%.

ABSTRACT

This study aims to explore how Agent-Based Simulation Models (ABSM) can help reduce the impact of e-commerce deliveries in urban logistics. In Brazil, e-commerce deliveries are all person-assisted. This results in a large number of failed deliveries and redelivery attempts. Automatic Delivery Stations (EEA) represent a solution to reduce the amount of redeliveries and consolidate the delivery of goods. We simulated four scenarios in Belo Horizonte, Brazil, by varying the EEA implementation and the exclusion of the redelivery attempts. The EEAs bring improvements in terms of reducing redeliveries and the distances that the trucks traveled by up to 46%.

1. INTRODUÇÃO

O comércio eletrônico brasileiro tem apresentado índices de crescimento cada vez maiores nos últimos anos. Enquanto as vendas no varejo tradicional caíram 6,2% em 2016 em comparação com 2015, o e-commerce teve um crescimento de 7,4% com um faturamento equivalente a cerca de US\$ 15 bilhões (Ebit, 2016). Quanto maior o crescimento das compras on-line, maior é a demanda por entregas individuais, implicando em um número maior de veículos de carga circulando em áreas urbanas (Cardenas et al., 2017). Sendo assim, maiores são os desafios enfrentados na distribuição de mercadorias (Morganti; Seidel; et al., 2014 e Visser et al., 2014), com efeito direto nos sistemas logísticos em áreas urbanas, onde o congestionamento e a acessibilidade são fatores cruciais (Holguín-Veras et al., 2016 e Kedia et al., 2017).

No caso do mercado B2C as entregas assistidas à domicílio (EAD) são geralmente preferidas pelo consumidor. Este tipo de entrega constitui a solução mais problemática em termos de custos de serviços e programação (Morganti et al., 2014). Nesta modalidade, os entregadores realizam várias paradas ao longo de uma viagem e dependem da presença de uma pessoa no local para realizar a entrega. A ausência dessa pessoa resulta em falha na entrega (Song et al., 2009; Van Duin et al. (2016). De acordo com Song et al. (2009), 25% das entregas não são realizadas na primeira tentativa.

Assim como na maioria das cidades latino-americanas, no Brasil as entregas do comércio eletrônico são todas assistidas, ou seja, necessitam de uma pessoa no endereço indicado (geralmente casa ou trabalho) para receber as mercadorias. Em grande parte dos países europeus

e nos EUA, quando não há alguém no endereço para receber as mercadorias, estas são deixadas sem supervisão *on-street*. Segundo Oliveira et al. (2017), entregas sem supervisão *on-street* não são ainda viáveis no Brasil, pois representam “uma tentação para ladrões”. Esta situação, aliada a dificuldade de estipular janelas de entregas para os clientes, contribui para aumentar as entregas falhas (Visser et al., 2014).

As entregas à domicílio apresentam desvantagens para o consumidor que necessita de flexibilidade e para o entregador que busca otimizar a sua distribuição de mercadorias. Iniciativas de *city logistics* que ofereçam uma alternativa à esse tipo de entrega e minimizem os inconvenientes causados por ela têm sido objeto de estudo de várias pesquisas (Iwan et al., 2016; Liu et al., 2017). Estes autores sugerem como uma solução para este problema a consolidação das entregas da última milha. Neste contexto, encontram-se as Estações de Entrega Automática (EEA), que já foram implementados em vários países (Iwan et al., 2016; Morganti, Dablanc, et al., 2014; Weltevreden, 2008). As estações são armários automatizados que os consumidores podem utilizar para retirar e/ou retornar suas compras realizadas online.

Contudo, Taniguchi et. al. (2012) afirmam que antes de implementar qualquer iniciativa de *city logistics*, é preciso entender o comportamento (ações e objetivos) dos *stakeholders* envolvidos na logística urbana e a interação entre eles. Tal feito tem sido alcançado com sucesso ao se utilizar Modelagem e Simulação Baseados em Agentes (MSBA) (Alho et al., 2017; Schroeder et al., 2012; J. S. E. Teo et al., 2012; Wangapisit et al., 2013). Nestes trabalhos, os *stakeholders* envolvidos na logística urbana são modelados como agentes capazes de tomar decisões e interagir entre si e com o meio, ao se deparar com uma situação pré-determinada (Tamagawa, et al., 2010). No entanto, a maior parte dos trabalhos de MSBA lida com políticas que buscam de alguma forma restringir a circulação de veículos, sem analisar os impactos da aplicação de EEA no ambiente urbano.

Para tanto, este estudo tem como objetivo analisar a distribuição urbana de mercadorias do comércio eletrônico com auxílio da Modelagem e Simulação Baseada em Agentes. As simulações foram realizadas na região central de Belo Horizonte, MG, Brasil, a partir de cenários que procuram alternar as medidas para reduzir as falhas nas entregas. O MSBA construído foi fundamentada nos objetivos e comportamentos individuais dos *stakeholders* do transporte urbano, modelados como agentes.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 E-commerce e transporte urbano de mercadorias

As estações de entrega automática são um tipo de ponto de coleta e entrega do inglês *Collection-and-Delivery Points* (CDPs) e funcionam sem supervisão, enquanto os *Pick-up Points*, representam o outro tipo de CDP e necessitam de supervisão. AS EEA são armários automatizados operados a partir de um código eletrônico, onde os entregadores utilizam este código para informar os clientes sobre a situação de suas encomendas (Iwan et al., 2016).

As estações de entrega automáticas são o foco desse trabalho, especialmente por possuírem uma janela de tempo de funcionamento ampla. Apresentam outras vantagens: (i) o cliente não precisa ficar o dia todo em casa esperando a entrega da mercadoria (ii) alta taxa de satisfação dos clientes; (iii) apresentam alto nível de segurança no serviço; (iv) reduz distâncias extras percorrida em função de re-entregas; (v) possibilitam a otimização das rotas; (vi) possibilitam o rastreamento da entrega; (vii) possibilitam uma melhor utilização dos veículos (Wang et al., 2017).

al. (2014) (viii) aumentam a atratividade dos locais onde estão instalados e (ix) o maior benefício: 100% das entregas são realizadas (Dell'Amico e Hadjidimitriou, 2012; McLeod *et al.*, 2006; Morganti, Seidel, *et al.*, 2014; Weltevreden, 2008).

Apesar das inúmeras vantagens, quando mal dimensionado esse sistema pode gerar viagens extras de clientes em seus veículos privados para buscar seus pedidos. Para minimizar este problema, Dell'Amico and Hadjidimitriou (2012) reforçam que a localização adequada é importante para o sucesso do sistema, pois pode facilitar o encadeamento de viagens: o cliente pode conciliar uma ida ao EEA com seu trajeto diário (Liu *et al.*, 2017; Weltevreden, 2008).

Grande parte dos estudos que investigam esta alternativa para a última milha se preocupam em: (1) conceituar o tema (Cullinane, 2009; Visser *et al.*, 2014); (2) caracterizar a demanda destes serviços (I. Cardenas *et al.*, 2016; Iwan *et al.*, 2016; Kedia *et al.*, 2017; Oliveira, Morganti, *et al.*, 2017; Weltevreden, 2008) e (3) desenvolver métodos e modelos matemáticos para analisar a potencial economia da utilização dos pontos de coleta (Arnold *et al.*, 2018; I. D. Cardenas *et al.*, 2017; Liu *et al.*, 2017).

Arnold *et al.*, (2018) estudaram as viagens resultantes das compras online no contexto da cidade de Antwerp. Eles simularam o cenário atual, que trata de entregas à domicílio realizadas por furgões, e mais três cenários, que incluem o uso de CDPs, o uso de cargo bikes e um sistema híbrido. O sistema híbrido foi identificado como o cenário que traria melhores resultados em termos de custos operacionais e externos. A simulação realizada por eles é uma simulação estática que é resolvida pelo problema de roteamento de veículos. A simulação estática, segundo Van Kolck (2010), não estima o resultado para os vários agentes envolvidos no transporte urbano de mercadorias, pois adapta o interesse individual de cada agente para perspectivas e conceitos globais da sociedade.

Os estudos descritos anteriormente mostram a importância das EEA para melhorar a eficiência da distribuição de bens urbanos. Contudo, não evidenciam as implicações que esta iniciativa pode trazer para todos os envolvidos no frete urbano. Este estudo busca investigar a implantação destas estações automáticas em Belo Horizonte considerando as políticas locais por meio de modelos de simulação baseados em agentes.

2.2 Simulação baseada em agentes

De acordo com Taniguchi *et al.* (2012) a maioria dos modelos que simulam a logística urbana não consideram os interesses individuais de cada agente, adaptando os objetivos e perspectivas individuais para objetivos e perspectivas comuns. Dessa forma, os impactos das medidas da logística urbana não são estimados para os vários agentes envolvidos. Bons resultados têm sido alcançados ao se utilizar Modelos de Simulação Baseados em Agentes. (MSBA) para avaliar o comportamento e reações dos atores urbanos ante implantação de iniciativas de *city logistics*. Esses modelos começaram a ser desenvolvidos nos últimos anos e geraram grande interesse na área de frete urbano (Davidsson *et al.*, 2005; Taniguchi *et al.*, 2012)

Os MSBA quando utilizados para representar o comportamento de vários agentes dentro de um sistema são comumente chamados de Sistemas Multi-agente (*Multi-Agent System* -MAS). De forma geral o MAS considera a interação de cada agente com o seu ambiente, seguindo os seus comportamentos e objetivos pré-estabelecidos. Um agente pode ser entendido como um sistema autônomo com um objetivo determinado, que opera assincronamente e, quando necessário,

pode atuar de modo coordenado com outros agentes (Fox *et al.*, 2000). Esses agentes têm como características a autonomia, a capacidade de perceber, raciocinar e agir em seu ambiente, bem como a habilidade de interagir socialmente e de se comunicar com a finalidade de realizar tarefas (Huhns e Singh, 1997)

De acordo com Luck *et al.* (2005) o MAS pode ser utilizado em dois paradigmas: como um sistema de decisão multi-agente ou como um sistema de simulação multi-agente. No primeiro, os agentes que participam do sistema devem tomar decisões conjuntas como um grupo. Essas decisões são tomadas a partir de em alguns mecanismos estabelecidos, que podem ser baseados no mercado e em fatores econômicos, como contratos e leilões, por exemplo (Roorda *et al.*, 2010). Já os sistemas de simulação multi-agente, são utilizados para simular alguns domínios do mundo real. A simulação fornece uma saída de algum tipo especificado para auxiliar o processo de decisão do usuário. Neste caso, a decisão é realizada por uma pessoa, não pelo sistema de software. De acordo com Davidsson *et al.* (2005), esta última situação é um Sistema de apoio a tomada de decisão (*Decision Support System-DSS*).

Em relação ao transporte urbano de mercadorias, existem vários interessados (varejista, transportadora, embarcador, cliente etc) que possuem objetivos diferentes perante a movimentação de mercadorias. Por esta razão, os trabalhos nesse contexto que utilizam MSBA são tratados como Sistemas Multi-Agente (Davidsson *et al.*, 2005) e em geral essa modelagem é utilizada para compreender e analisar a resposta dos diferentes agentes às medidas e iniciativas de *city logistics* (Wangapisit *et al.*, 2013). A maior parte dos trabalhos que utiliza MAS como um sistema de decisão multi-agente e lidam com políticas que buscam de alguma forma restringir a circulação de veículos (Alho *et al.*, 2017; Davidsson *et al.*, 2005; Roorda *et al.*, 2010; Schroeder *et al.*, 2012; Wangapisit *et al.*, 2013). Nenhum desses trabalhos analisa os impactos da aplicação de EEAs no ambiente urbano por meio de MSBA, que é o foco desse trabalho.

3. MODELAGEM E SIMULAÇÃO BASEADA EM AGENTES

3.1 Identificação da Situação-Problema

Toda a modelagem foi realizada baseada em ações e interações dos *stakeholders* do processo, que são representados como agentes na simulação. O modelo foi desenvolvido para região conhecida como “*Contorno*” da cidade de Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais, Brasil. Belo Horizonte tem o quinto maior PIB das cidades brasileiras e uma população motorizada de 1.714.233 veículos (julho de 2015) (68% de carros, 16% de carga leve, 12% de motocicletas, 3% de pesados e 1% de ônibus), indicando um índice de motorização de 1,46 habitantes por veículo (IBGE, 2015). Atualmente, as entregas do e-commerce em Belo Horizonte são todas domiciliares. No contexto brasileiro, essas entregas obedecem a política das três tentativas, ou seja, quando a entrega não acontece em uma primeira tentativa, podem acontecer até duas tentativas nos dias seguintes. Fica evidente que esta política gera mais viagens e conseqüentemente aumenta os custos do frete. Dessa forma, este estudo busca investigar uma alternativa para as re-entregas com a implantação das EEA e estimar os impactos deste novo sistema.

3.2 Modelo conceitual

Para a construção do modelo foram necessárias informações sobre o comportamento do agente que realiza uma ação, que geram então os *outputs* que permitem analisar os cenários. Estas informações foram obtidas de forma direta a partir de dados do Ebit (2018) e da pesquisa realizada por (Oliveira, Morganti, *et al.*, 2017) e a de forma indireta com base em dados obtidos

da revisão de literatura. O modelo considera a interação dos quatro principais agentes envolvidos no processo de entregas de mercadorias do comércio eletrônico: (i) transportadora; (ii) loja do comércio eletrônico; (iii) EEAs e (iv) cliente. A modelagem de cada agente é apresentada a seguir.

3.2.1 Modelagem dos Agentes

Modelagem do Cliente e Ponto de EEA

A região do Contorno região possui cerca de 93.684 habitantes (IBGE, 2010). Como levantado por Oliveira (2017), a porcentagem de clientes que realiza compras online é cerca de 30% da população, ou seja, 28100 clientes. Como no Brasil a única forma de entrega é à domicílio, estimamos a quantidade de clientes que estaria disposta a utilizar as EEAs baseado em Oliveira (2017), onde os autores relatam que em Belo Horizonte 43% dos *e-shoppers* gostariam de utilizar esse tipo de sistema. Os clientes e os pedidos são distribuídos de forma aleatória pelo *software*, bem como a parcela de clientes que utilizara na simulação as EEAs.

O modelo tem dois tipos diferentes de clientes, que executam ações diferentes: o cliente que escolhe pela entrega em domicílio, possui dois estados: um estado em que a entrega é realizada, ou seja, ele está em casa e recebe a mercadoria e um estado onde a entrega não é realizada, pois ele está ausente e não recebe a mercadoria. Adotamos uma probabilidade da entrega não acontecer na primeira tentativa de 25%, na segunda tentativa de 60% e na terceira tentativa de 80%, Segundo McLeod et al. (2006) as entregas que falharam na primeira vez teriam uma chance maior de falha na segunda ou terceira tentativa de entrega, dessa forma adotamos uma alta taxa de falhas para essas segundas e terceiras tentativas O cliente que escolhe receber sua entrega nas estações de entrega automática possui 3 estados: Realizando a compra, Aguardando e Movimentando. Primeiro, ele faz o pedido e escolhe qual EEA ele quer receber a sua mercadoria. Nós assumimos que o Agente Cliente prefere receber a sua mercadoria na EEA mais próxima de sua casa, conforme sugerido em Iwan et al. (2016), Morganti et al., (2014a) e Kedia et al., (2017). Após realizar essa escolha, o cliente fica aguardando a entrega do seu pedido, quando o pedido é entregue na EEA ele recebe então uma mensagem de “Pedido Entregue” enviada pelo Agente Caminhão. O cliente então se desloca até o EEA para retirar o seu pedido, e então retorna para casa.

A quantidade de EEA representada no modelo seguiu a proporção de 5 para cada 100.000 habitantes, proporção utilizada nos locais onde estes sistemas já estão em funcionamento (Morganti, Seidel, *et al.*, 2014; Weltevreden, 2008). Com relação a localização, segundo Weltevreden, (2008) os supermercados estão entre os principais locais onde são instalados esses sistemas. Como essa também foi a preferência declarada pelos *e-shoppers* em Oliveira (2017), adotamos no modelo 5 supermercados espalhados na região para a operação dos EEA.

Pedidos e modelagem da Loja

Os pedidos são recebidos e gerenciados pelo Agente Loja. Cada pedido possui um determinado volume e peso e um endereço, que depende da escolha do cliente: pode ser sua casa ou a EEA. Assim que os pedidos vão sendo realizados, a loja inicia o processo de formação da carga, (a carga neste modelo contém uma coleção de pedidos). Este processo obedece dois fatores: a capacidade do caminhão e o tempo. O tempo refere-se a quantos dias um cliente espera para receber o seu pedido e foi utilizado o tempo médio informado pelo Ebit (2017). Assim que um desses fatores é atendido, uma carga é enviada para a transportadora. O Agente Loja ainda utiliza uma heurística para montar a carga, ou seja, os pedidos são separados em uma carga de

acordo com a proximidade dos clientes e o Agente ainda separa na mesma carga os pedidos referentes ao mesma EEA. Consequentemente, essa heurística melhora a rota realizada pelo caminhão. Os pedidos não entregues têm prioridade perante os outros pedidos e são alocados na carga do dia seguinte, pois obedecem a política das três tentativas.

Transportadora

A transportadora gerencia um número específico de caminhões para realizar a entrega da loja. Ela possui um centro de distribuição que está situado próximo à Avenida do Contorno. O processo de modelagem foi realizado a partir das ações do caminhão, que inicia a simulação no centro de distribuição aguardando a formação da carga. Se existe uma carga, o *Agente Loja* envia uma mensagem para *Agente Caminhão* “Iniciar Entrega”.

A rota do caminhão segue o princípio do algoritmo do vizinho mais próximo, sua regra consiste em sair do ponto de partida v_i e encontrar sempre o nó mais próximo v_k que ainda não foi visitado. Continua-se assim até que todos os nós tenham sido visitados, e por fim retorna-se ao ponto de partida v_k (Bodin, 1983). O ponto de partida neste modelo é o centro de distribuição (CD) da loja, ao sair do CD o *Agente Caminhão* faz uma lista de destinos, pois, como citado, os pedidos são entregues tanto na casa dos clientes como em pontos de EEA. A partir desta lista, o algoritmo identifica qual o destino que está mais próximo e se desloca até ele. Na situação em que o destino mais próximo é um ponto de EEA o *Agente Caminhão* verifica entre os outros pedidos da carga se existe outro com este mesmo destino e então descarrega e distribui todos os pedidos nos armários. Após esse processo ele envia uma mensagem de “Pedido Entregue” ao *Agente Cliente* para que ele possa retirar seu pedido. Já quando o destino é a casa do *Agente Cliente*, se o cliente estiver em casa o pedido é entregue; se o cliente estiver ausente o pedido retorna ao CD para uma posterior tentativa de entrega, até o número de tentativas ser igual a 3.

Os tempos de entrega incluem tempo de parada do caminhão e descarregamento. No caso do EEA, o tempo de descarregamento é função do número de pedidos entregues. Quando ocorre uma falha na entrega o único tempo contado é o de parada. Por fim, após percorrer a sua rota, o *Agente Caminhão* retorna ao CD, e aguarda até que outra carga seja enviada a ele

3.3 Modelo Computacional

O modelo foi implementado no software *Anylogic*®, por apresentar a funcionalidade de MSBA e Mapa GIS (do inglês *Geographic Information Systems*). Essa funcionalidade permite que a simulação contenha os dados do ambiente georreferenciados, e ainda mover o agente com a velocidade especificada de um local para outro ao longo das rotas existentes (Anylogic, 2018). Os dados de entrada do modelo computacional estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros de entrada

Agente	Parâmetro	Quantidade
Caminhão	Número de caminhões	06
	Peso	1500 kg
	Volume	10 m ³
	Velocidade	10 km/h
	Tempo de parade	15 minutos
	Tempo de descaregamento	8 minutos
Clienter	Localização	Aleatório
	Escolha de entrega	Casa ou EEA
	Quantidade de pedidos	1/ Ano

	Média de tempo receber pedido	9 dias
Pedidos	Volume	triangular(0.1, 1, 0.6) m ³
	Peso	triangular(5, 20, 15) kg
	Quantidade	79/dia

Fonte: Ebit (2018) e (Oliveira, Morganti, *et al.*, 2017)

Foram simulados 4 cenários variando a situação de re-entrega e a implantação de EEAs. Conforme apresentado na Tabela 2

Tabela 2: Cenários Simulados

DESCRİÇÃO	
Cenário 1	Neste cenário, todos os pedidos devem ser entregues em casa e existe a política das três tentativas de entrega. Quando o cliente não está em casa para receber o pedido e este não é entregue, podem acontecer mais duas tentativas de entrega por dois dias consecutivos.
Cenário 2	Agora há uma porcentagem de clientes que opta por receber suas entregas nas EEA. Permanecem as entregas EAD e, para este caso, as três tentativas de entrega.
Cenário 3	Os clientes continuam a escolher onde preferem receber as suas entregas. Contudo, para as entregas à domicílio, se a entrega não for realizada na primeira tentativa, o entregador leva a encomenda com ele para o CD da loja, que avisará aos clientes para que eles se direcionem até o CD para recolher suas encomendas.
Cenário 4	Neste caso, os clientes ainda podem escolher onde preferem receber as suas entregas. Contudo, se a entrega EAD não for realizada na primeira tentativa, o entregador deixa a encomenda no EEA mais próximo da casa do cliente e avisa ao cliente que o seu pedido está no EEA aguardando a retirada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO DA SIMULAÇÃO

Para cada cenário, foram simulados um ano de entregas, com 15 replicações cada. A Tabela 3 apresenta a quantidade de pedidos entregues e o número de re-entregas em cada cenário.

Tabela 3: Quantidade de pedidos entregues e re-entregas

	Com Três tentativas		Sem três tentativas	
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário3	Cenário4
Total de pedidos entregues em casa	25053	14300	12170	12216
Total de pedidos falhos	3408	1943	4057	4068
Total de pedidos EEA	0	12215	12235	16293
Número de re-entregas	14726	8401	4057	4068
Total de pedidos entregues	25053	26515	28462	28464

Ao se comparar o cenário 1 com o 02 (Tabela 3), que simula a implantação do EEA e mantém as três tentativas de entrega, é possível aumentar em 6% o número de pedidos entregues. Os cenários que simulam a política das três tentativas apresentam um número de re-entregas alto. Contudo, o cenário 2 que simula a implantação das EEA conseguiu reduzir em 43% o número de re-entregas, quando comparado com o cenário 1.

Os cenários 3 e 4 não consideram a política das três tentativas, comparando-os com o cenário 1, apresentam uma redução de 72% do número de tentativas de entregas. Isso acontece porque nestes cenários somente na primeira tentativa de entrega pode acontecer a falha. Os pedidos falhos do cenário 3 e 4, são os pedidos que o entregador não conseguiu entregar em casa. Entretanto, nestes cenários, após a primeira tentativa falha, os clientes conseguem retirar os seus pedidos ou no CD (cenário 3) ou no EEA mais próximo (cenário 4). Nestes cenários todos os pedidos são entregues.

Em pesquisa realizada com 300 varejistas do *ecommerce* do Reino Unido, EUA, e Alemanha o custo de uma entrega não realizada foi estimado por eles em US\$17,78 (PCAPredict, 2018), no entanto, os varejistas apontam que este valor é subestimado, já que não leva em conta o dano que uma entrega não realizada pode causar à reputação da marca a possível perda de clientes existentes e a dificuldade de adquirir novos clientes. Dessa forma, as EEA, além de reduzir o custo das re-entregas, podem contribuir para melhorar a reputação das lojas do *ecommerce*.

Além de contribuir para a redução do número de re-entregas a implantação dos EEA pode gerar uma renda extra para os supermercados que as hospedam. Segundo Weltevreden, (2008), para cada pedido entregue em um ponto de coleta o varejista recebe de US\$0.28 a US\$0.49, dessa forma os supermercados ganhariam na ordem de US\$1,600 cada. Esse é um valor pequeno, pois é calculado estimando a entrega de 15 pacotes/dia. Entretanto, os armários têm capacidade para acomodar de 40 a 100 pacotes/dia, o que pode aumentar em quase 7 vezes esse valor, dependendo do crescimento da demanda. Ainda, o fluxo extra de pessoas que visitam a loja para utilizar as EEA, pode aumentar o número de vendas dos supermercados. Segundo Iwan et al. (2016), a cada quatro usuários dos EEA, um realiza compras ao retirar seus pedidos. De acordo com Oliveira (2017), os *e-shoppers* da cidade de Belo horizonte demonstraram disposição de pagar US\$0.50 a mais por entrega para utilizar os EEA, valor que poderia contribuir para pagar os supermercados.

A Tabela 4 apresenta a distância percorrida por cada um dos 6 caminhões nos quatro cenários. Os cenários 2, 3 e 4 apresentam uma redução dos quilômetros percorridos pelos caminhões em 13%, 41% e 29 %, respectivamente, quando comparados com o cenário 1. Esse efeito era esperado devido à redução no número de locais de entrega e tentativas de devolução (Forkert e Eichhorn, 2007). Esse resultado corrobora o encontrado por Cardenas et al. (2016) e Esser and Kurte (2007), que obtiveram uma redução no quilômetros viajados por veículo (*vehicle-kilometers traveled- VKT*), com um número pequeno de pontos de coleta. Analisando isoladamente, a implantação do EEA seria suficiente para reduzir o a distância percorrida. Quando excluimos a política das três tentativas, obtemos resultados ainda melhores. As distâncias maiores no cenário 4, em comparação com o cenário 3, se explica pelo fato de que no cenário 4, quando não ocorre a entrega, o entregador precisa se dirigir ao EEA mais próximo para deixar a encomenda, sendo que esse EEA pode não estar na sua rota ou até já ter sido visitado anteriormente. No cenário 3, quando o pedido não é entregue, ele é levado junto com os demais pedidos não entregues de uma única vez ao CD, que usualmente é o ponto de destino da rota e não acarreta em nenhuma parada adicional.

Tabela 4: Distâncias percorridas pelos caminhões

Distâncias (km)	Com Três tentativas		Sem três tentativas	
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Caminhão 1	4966	4520	2968	3745
Caminhão 2	4577	3974	2833	3671
Caminhão 3	4189	3714	2587	3192
Caminhão 4	3931	3599	2320	2601
Caminhão 5	3814	3304	2179	2367
Caminhão 6	3847	2920	1984	2151
TOTAL	25324	22031	14872	17728

Analisamos também o número de quilômetros percorridos pelos clientes ao buscar suas mercadorias (Tabela 5). Os Clientes EAD são aqueles que inicialmente optam por receber seus

pedidos em casa; os Clientes EEA são aqueles que escolhem receber seus pedidos nas estações de entrega. A distância média percorrida pelos clientes EEA estão entre 1.2 km e 1.6 km. Dependendo da topografia, são distâncias, viáveis para transporte não-motorizado (a pé ou bicicleta). Este fator é importante, pois um efeito indesejado da implantação dos EEA são as viagens extras de clientes em seus veículos privados para buscar seus pedidos. Se as estações puderem ser acessadas em distâncias curtas, os clientes tenderão a buscar suas encomendas a pé ou podem conciliar seus trajetos diários em seus veículos privados com uma ida ao EEA (i.e. percorre nenhuma distância adicional).

Tabela 5: Distância percorrida por clientes ao buscar suas mercadorias no CD e EEA.

Distâncias(km)	Clientes EAD			Clientes EEA		
	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
CD	11868					
EEA			5625	19677	19890	19812
Média		3	1.4	1.6	1.6	1.2

De modo contrário, temos maiores distâncias médias percorridas pelos Clientes EAD no cenário 3, que sugerem o uso de modos motorizados para recolher seus pedidos. No pior caso, resultaria em 338 viagens por mês ao CD para retirar os pedidos falhos. Quando o local onde os clientes buscam suas entregas falhas passa a ser o EEA (cenário 4), temos uma redução de 46% da distância individual média percorrida. Este é um ganho muito positivo, pois, quanto menor a distância maior será a tendência dos clientes em buscarem suas encomendas por meios não motorizados. O cenário 4 apresenta uma alternativa melhor tanto para os clientes que escolheram receber suas encomendas nas EEA quanto para aqueles que utilizariam o sistema para buscar uma entrega não realizada. Segundo pesquisa realizada por McLeod et al., (2006) , a maior parte dos clientes preferem retirar sua entrega falha em um EEA ao invés de ir buscá-las no CD da loja, quando isto representar uma economia em tempo e distância percorrida. Esta distância menor percorrida pelos clientes no cenário 4, contribui para equilibrar a distância percorrida a mais pelos caminhões neste cenário em comparação com o cenário 3.

Embora a distância percorrida seja a principal variável analisada nos trabalhos sobre a implantação dos pontos de coletas (I. Cardenas *et al.*, 2016; Esser e Kurte, 2007; McLeod *et al.*, 2006), observamos que ao consolidar as cargas e excluir as tentativas de entrega o número de cargas entregues por caminhão teve uma redução considerável.

No cenário 2, onde se tem a implantação do EEA, houve uma redução de 12% do número de cargas transportadas por ano quando comparado com o cenário 1. Nos cenários onde excluimos a terceira tentativa, temos uma redução 28% no número de cargas. Dessa forma, a fim de obter uma utilização maior dos caminhões, simulamos a alteração na quantidade de caminhões, mantendo inalterados os outros parâmetros de entrada. A melhor configuração obtida, em termos de redução do número de caminhões, foi a de cinco caminhões para o cenário 2 e quatro caminhões para os cenários 3 e 4, obedecendo as janelas de tempo da transportadora. Assim os cenários já apresentados foram novamente simulados, alterando o número de caminhões para cinco (cenário 2) e quatro (cenários 3 e 4). As cargas transportadas nestes novos cenários são apresentadas na Tabela 6

Tabela 6: Quantidade de cargas entregues alterando número de caminhões

	Cenário 2		Cenário 3		Cenário 4	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois

Caminhão 1	415	416	341	425	359	428
Caminhão 2	397	414	320	418	342	420
Caminhão 3	389	411	289	414	294	416
Caminhão 4	381	408	262	412	247	407
Caminhão 5	375	404	241		224	
Caminhão 6	372		219		205	
Total	2329	2053	1672	1669	1671	1671

A nova simulação não altera o número de cargas transportada por ano, mas aumenta a utilização de cada caminhão. Não houve alteração significativa na distância percorrida pelos caminhões nestas novas simulações, quando comparadas com as simulações anteriores (seis caminhões). Os demais resultados percentuais discutidos anteriormente com relação a distância percorrida pelos clientes, números de pedidos entregues e falhos permanecem similares.

Reduzir o número de caminhões é um benefício potencial das estações de entrega automática que é ainda pouco explorado na literatura, pois a maior parte dos estudos analisa os resultados em termos de distância percorrida pelos caminhões e clientes (I. D. Cardenas *et al.*, 2017; Esser e Kurte, 2007; Kedia *et al.*, 2017; McLeod *et al.*, 2006; Weltevreden, 2008). A redução do número de caminhões resultará ainda em um número menor de motoristas, menor gasto com manutenção/impostos dos veículos e menor custo da transportadora como um todo.

Conforme indicado pela MSBA, cada agente possui um comportamento e um ou mais objetivos a atingir. Contudo, esses objetivos trazem ganhos maiores ou menores, dependendo das regras a serem observadas em cada cenário. Como o cenário 1 é o cenário mais próximo da situação real, os ganhos para cada agente foram calculados em comparação com este cenário (Tabela 7). Embora o cenário 3 apresente o menor número de quilômetros percorridos pelos caminhões, o cenário 4 apresenta distâncias menores percorridas pelos clientes ao buscar seus pedidos nos EEA e ganhos maiores para os supermercados que os abrigam. Dessa forma o cenário 4 onde há a maior utilização dos EEA, apresenta melhores resultados globais.

Tabela 7: Resumo dos ganhos obtidos por cada agente na simulação

	<i>Cenário 2</i>	<i>Cenário 3</i>	<i>Cenário 4</i>
Transportadores	Redução de 13% VKT Redução de 1 Caminhão	Redução 41% VKT Redução de 2 Caminhões	Redução de 29 % VKT Redução de 2 Caminhões
Loja Ecommerce	Aumentou número de pedidos entregues em 5.8%	Aumentou número de pedidos entregues em 13.5%	Aumentou número de pedidos entregues em 13.5%
EEAs	Hospedou 12215 pedidos	Hospedou 12235 pedidos	Hospedou 16293 pedidos
Clientes	93% Pedidos entregues Número médio de km percorridos Clientes EEA 1.6 km	100% Pedidos entregues Número médio de km percorridos Clientes EAD 3 km Número médio de km percorridos Clientes EEA 1.6 km	100% Pedidos entregues Número médio de km percorridos Clientes EAD 1.4 km Número médio de km percorridos Clientes EEA 1.2 km

5. CONCLUSÕES

Demonstramos neste estudo que o Modelo de Simulação Baseado em Agentes é uma ferramenta útil para modelar o transporte urbano de mercadorias. No contexto das entregas do comércio eletrônico foi capaz de simular corretamente as interações entre os agentes e as ações tomadas por eles diante de diferentes situações. Um efeito indesejado da implantação das estações de

entrega automática é o aumento do número de viagens particulares dos clientes ao buscarem suas mercadorias. O MSBA mostrou que, ao buscar suas entregas falhas no CD da loja (cenário 3), os clientes precisam percorrer longas distâncias, o que poderia aumentar o tráfego de veículos na região. Quando as EEA são utilizadas para receber as entregas falhas, as distâncias percorridas pelos clientes podem ser reduzidas em até 46% podendo, em muitos casos, ser percorridas por bicicleta ou a pé. O mesmo ocorre com os clientes que escolhem inicialmente os EEA para receber seus pedidos.

O MSBA mostrou ainda que as EEA apresentam ganhos para as transportadoras que vão além da redução dos quilômetros percorridos. Quando simulamos cenários com as EEA, observamos reduções no número de caminhões entre 17% a 33%, dependendo da exclusão ou não da política das três tentativas. Isoladamente, tanto a implantação das EEA quanto a exclusão das três tentativas não parecem benéficas para todas as partes interessadas. No entanto, a combinação de ambos os conceitos representa um sistema de entrega B2C atraente para todos os envolvidos. A eficiência de tal sistema de entrega pode ser ainda mais aprimorada se mais clientes utilizarem as EEA para receber suas encomendas.

Esses resultados destacam a importância de tratar a distribuição B2C por uma perspectiva global. Os diversos *stakeholders* seguem diferentes metas e estratégias. As entregas à domicílio são as preferidas pelos clientes e as EEA são as que trazem maiores redução de custos para as transportadoras e lojas do e-commerce. Esse cenário de interesses contraditórios poderia ser melhorado com políticas de incentivo para que o cliente utilizasse a EEA através, por exemplo, de um desconto na entrega ou outro tipo de bônus, monetário ou não.

Além disso, um diálogo objetivo entre as partes interessadas requer uma avaliação realista de possíveis cenários "*what-if*". Nós demonstramos que tal avaliação é possível ao se utilizar a Simulação baseada em agentes. Por meio da simulação, foi possível modelar e avaliar diferentes estratégias de entrega, o que nos permitiu obter resultados comparáveis para cada agente. Pela comparação de diferentes cenários, constatamos que a implantação das EEA e a exclusão das três tentativas, podem aumentar o número de pedidos entregues em 14% e diminuir em 29% a distância percorrida pelos caminhões.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES, ao CNPq e a FAPEMIG, pelo apoio financeiro concedido a diversos projetos que subsidiaram o desenvolvimento desse trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alho, A., Bhavathrathan, B. K., Stinson, M., Gopalakrishnan, R., Le, D. T., e Ben-Akiva, M. (2017) A multi-scale agent-based modelling framework for urban freight distribution. *Transportation Research Procedia*, 27, 188–196. doi:10.1016/j.trpro.2017.12.138
- Anylogic. (2018) No Title. Obtido 28 de maio de 2018, de <https://www.anylogicbrasil.com.br/>
- Arnold, F., Cardenas, I., Sörensen, K., e Dewulf, W. (2018) Simulation of B2C e-commerce distribution in Antwerp using cargo bikes and delivery points. *European Transport Research Review*, 10(1).
- Cardenas, I., Beckers, J., Vanelslander, T., e Verhetsel, A. (2016) Spatial characteristics of failed and successful E-commerce deliveries in Belgian cities. *ILS 2016, 6th International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain*, 1–10.
- Cardenas, I. D., Dewulf, W., Vanelslander, T., Smet, C., e Beckers, J. (2017) The e-commerce parcel delivery market and the implications of home B2C deliveries vs pick-up points. *International Journal of Transport Economics*, 44(2), 235–256. doi:10.19272/201706702004
- Cullinane, S. (2009) From bricks to clicks: The impact of online retailing on transport and the environment. *Transport Reviews*, 29(6), 759–776. doi:10.1080/01441640902796364

- Davidsson, P., Henesey, L., Ramstedt, L., Törnquist, J., e Wernstedt, F. (2005) An analysis of agent-based approaches to transport logistics. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 13(4), 255–271. doi:10.1016/j.trc.2005.07.002
- Dell’Amico, M., e Hadjidimitriou, S. (2012) Innovative Logistics Model and Containers Solution for Efficient Last Mile Delivery. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 48, 1505–1514.
- Ebit. (2018) WEBSHOPPERS 37ª Edição 2018..
- Esser, K., e Kurte, J. (2007) Strategies for Optimizing Pick-up and Delivery Traffic of Internet Commerce – Packstations in Cologne (OPTIMAL)).
- Forkert, S., e Eichhorn, C. (2007) Alternative Solution for Home Delivery. *Niches Transport*.
- Fox, M. S., Barbuceanu, M., e Teigen, R. (2000) Agent-oriented supply-chain management. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 12(2), 165–188.
- Holguín-Veras, J., Sánchez-Díaz, I., e Browne, M. (2016a) Sustainable Urban Freight Systems and Freight Demand Management. *Transportation Research Procedia*. doi:10.1016/j.trpro.2016.02.024
- Huhns, M. N., e Singh, M. P. (1997) Readings in Agents. *Morgan Kaufmann*, 523.
- Iwan, S., Kijewska, K., e Lemke, J. (2016) Analysis of parcel lockers ’ efficiency as the last mile delivery solution – the results of the research in Poland. *The 9th International Conference on City Logistics, Tenerife, Canary Islands (Spain)*, (June 2015), 644–655. doi:10.1016/j.trpro.2016.02.018
- Kedia, A., Kusumastuti, D., e Nicholson, A. (2017) Acceptability of collection and delivery points from consumers’ perspective: A qualitative case study of Christchurch city. *Case Studies on Transport Policy*, 5(4), 587–595. doi:10.1016/j.cstp.2017.10.009
- Liu, C., Wang, Q., e Susilo, Y. O. (2017) Assessing the impacts of collection-delivery points to individual’s activity-travel patterns: A greener last mile alternative? *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. doi:10.1016/j.tre.2017.08.007
- Luck, M., McBurney, P., Shehory, O., e Willmott, S. (2005) Agent technology: Computing as interaction.,19-25.
- McLeod, F., Cherrett, T., e Song, L. (2006) Transport impacts of local collection/delivery points. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 9(3), 307–317. doi:10.1080/13675560600859565
- Morganti, E., Dablanc, L., e Fortin, F. (2014) Final deliveries for online shopping : The deployment of pickup point networks in urban and suburban areas. *Research in Transportation Business & Management Final*, 11(February 2012), 23–31. doi:10.1016/j.rtbm.2014.03.002
- Oliveira, L. K. de, Morganti, E., Laetitia Dablanc, e Oliveira, R. L. M. de. (2017) Analysis of the potential demand of automated delivery stations for e-commerce deliveries in Belo Horizonte, Brazil.
- PCAPredict. (2018) Fixing Failed Deliveries: Improving Data Quality in Retail.
- Roorda, M. J., Cavalcante, R., McCabe, S., e Kwan, H. (2010) A conceptual framework for agent-based modelling of logistics services. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46(1), 18–31. doi:10.1016/j.tre.2009.06.002
- Schroeder, S., Zilske, M., Liedtke, G., e Nagel, K. (2012) Towards a Multi-Agent Logistics and Commercial Transport Model: The Transport Service Provider’s View. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 39, 649–663. doi:10.1016/j.sbspro.2012.03.137
- Song, L., Cherrett, T., McLeod, F., e Guan, W. (2009) Addressing the Last Mile Problem. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2097(2097), 9–18. doi:10.3141/2097-02
- Taniguchi, E., Thompson, R. G., e Yamada, T. (2012) Emerging Techniques for Enhancing the Practical Application of City Logistics Models. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*.
- Van Duin, J. H. R., De Goffau, W., Wiegmans, B., Tavasszy, L. A., e Saes, M. (2016) Improving Home Delivery Efficiency by Using Principles of Address Intelligence for B2C Deliveries. *Transportation Research Procedia*, 12(June 2015), 14–25. doi:10.1016/j.trpro.2016.02.006
- Van Kolck, A. H. (2010) *Multi-agent model for an Urban Distribution Centre*. Kyoto University.
- Visser, J., Nemoto, T., e Browne, M. (2014) Home Delivery and the Impacts on Urban Freight Transport: A Review. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 125, 15–27. doi:10.1016/j.sbspro.2014.01.1452
- Wangapisit, O., Taniguchi, E., e Qureshi, A. G. (2013) Multi-Agent Modelling Systems for Evaluating Urban Freight Policy Measures on Parking Space Restriction. *General Proceedings of the 13th World Conference on Transport Research Society (15-18 July 2013, Rio de Janeiro, Brazil)*, 1–12.
- Weltevreden, J. W. J. (2008) B2c e-commerce logistics: the rise of collection-and-delivery points in The Netherlands. *International Journal of Retail & Distribution Management*, 36(8), 638–660.