

# CENÁRIOS DE EMISSÕES DE CARBONO PARA OS TÁXIS ELÉTRICOS E VERDES UTILIZANDO MOVIMENTO GEOMÉTRICO BROWNIANO

Fausta Joaquim Faustino\*. Erick Alberto Somocurcio Holguín\*\*. Joel David Melo Trujillo\*\*\*.

\* *University Federal of ABC, Santo André, SP, 09210-580, (e-mail: 11-98893-4881 fausta.j@ufabc.edu.br).*

\*\* *Engie Energía Perú, Lima,*

*Perú (Tel: 01-940-186697; e-mail: ericksomocurcioh@yahoo.com)*

\*\*\* *University Federal of ABC, Santo André, SP, 09210-580*

*Brazil (Tel: 11-4996-0145; e-mail: joel.melo@ufabc.edu.br)*

**Abstract:** In the current scenario of concern about climate change, several governments have encouraged electric mobility in a metropolis. From this, some taxi fleet companies have started to measure the impacts on energy planning for this kind of transport. However, in some countries, the penetration of electric taxis can compete with other sources such as alcohol and natural gas, which are known as green taxis because they contribute to the reduction of polluting gases. Thus, planners need to create carbon emission scenarios in order to measure the impacts on the country's energy planning. The values of these emissions are based on the trips made by taxis. In general, the annual emissions calculation considers an average number of total trips, traveling an average number of kilometers. However, the total of trips on the horizon can be altered by the variation in the penetration values of electric vehicles. Likewise, the total number of trips may show volatility or dispersion due to urban traffic. In order to create emission scenarios, this work presents a methodology based on the Brownian geometric movement that considers the variation in the number of trips and the dispersion of trips during the analysis horizon. The results of the proposal are curves that show the maximum and minimum values of the expected emissions for electric and green taxis each year analyzed. Such results can help planners to define energy policies for incentives to electric and green taxis, as well as the environmental and economic impacts in the country.

**Resumo:** No atual cenário de preocupação pelas mudanças climáticas, diversos governos tem incentivado a mobilidade elétrica nas grandes metrópoles. A partir desses incentivos, algumas empresas de frotas de táxis têm começado a incorporar veículos elétricos. Porém, em alguns países, a penetração de táxis elétricos pode concorrer com outras fontes como: álcool e gás natural, sendo estes conhecidos como táxis verdes pois contribuem com a diminuição de gases poluentes. Assim, os planejadores precisam a criação de cenários de emissões de carbono, a fim de mensurar os impactos no planejamento energético para esse tipo de transporte. Os valores dessas emissões estão em função das viagens realizados pelos táxis. Em geral, no cálculo anual de emissões se consideram um número médio do total de viagens, percorrendo uma quantidade média de quilômetros. No entanto, o total de viagens no horizonte pode ser alterado pela variação nos valores de penetração de veículos elétricos. Igualmente, o total de viagens pode apresentar volatilidade ou dispersão por causa do trânsito urbano. Com o intuito de criar cenários de emissões, neste trabalho se apresenta uma metodologia fundamentada no movimento geométrico browniano que considera a variação no número de viagens e dispersão das viagens durante o horizonte de análise. Os resultados da proposta são curvas que mostram os valores máximos e mínimos das emissões esperadas para os táxis elétricos e verdes em cada ano analisado. Tais resultados podem ajudar aos planejadores a definir políticas energéticas para os incentivos aos taxis elétricos e verdes, assim como, os impactos ambientais e econômicos no país.

**Keywords:** Carbon emissions; electric taxis; green taxis; sustainable mobility.

**Palavras-chaves:** Emissões de carbono; táxis elétricos; táxis verdes; mobilidade sustentável.

## 1. INTRODUÇÃO

A adoção de veículos elétricos (VE) para o desenvolvimento de atividades de transporte terrestre reduz as emissões de CO<sub>2</sub> que são causadas por veículos convencionais. A promoção do uso de VE na execução do serviço de táxi é uma política

adotada por vários países, produzindo bons resultados quando avaliada do ponto de vista da redução de impactos ambientais. Esses bons resultados se devem principalmente ao fato de um veículo utilizado para prestar serviço de táxi percorrer mais de 100 km por dia (Rayle *et al.*, 2016). Tal quantidade de quilômetros fornece um equilíbrio ideal entre os aspectos técnicos, econômicos e ambientais (Tseng, Chau and Liu,

2019). Em relação aos custos operacionais de combustível e manutenção para os táxis, o uso de VE gera melhorias importantes que os tornam atrativos para empresas de frotas de táxis (Teixeira and Sodré, 2018).

No âmbito da 70ª edição da Assembleia Geral das Nações Unidas, realizada em 25 de setembro de 2015 em Nova York, os 193 países membros elaboraram a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável (Centro de Informação Regional das Nações Unidas para a Europa Ocidental, 2016). Este documento define diversos objetivos, sendo uns dos principais interesses a proteção do planeta. Assim, a partir desses objetivos, os governos de diversos países têm implementado programas para o transporte sustentável nas grandes metrópoles. Por exemplo, no Peru, o Ministério de Energia e Minas por meio da Direção Geral de Eficiência Energética (DGEE) têm impulsionado o desenvolvimento do transporte elétrico terrestre por meio de: estudos quantitativos dos impactos na redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE), programas de disseminação e projetos pilotos para a eletrificação do transporte elétrico (Osinegim, 2019). Um outro exemplo é a exigência do governo de Canadá para que a venda de veículos com emissão zero obtenham créditos de carbono (Manjunath and Gross, 2017).

A capital do Peru, Lima, é uma das cidades com a maior quantidade de taxis por habitante, sendo mais de 70 mil taxis que percorrem na cidade por dia (La Republica, 2019). Embora, nessa cidade exista uma grande quantidade de taxis movidos a gás natural, sendo considerados como taxis verdes, atualmente os órgãos regulares discutem a implementação de taxis elétricos (Osinegim, 2019). Tal discussão é semelhante em diversos países do mundo que contam com outras fontes menos poluentes que podem diminuir gases de efeito estufa (Tseng, Chau and Liu, 2019). Dessa forma, os planejadores precisam realizar avaliações do ponto de vista econômico e ambiental, quantificando as emissões de carbono de cada tipo de veículo.

Na literatura encontram-se algumas metodologias para calcular as emissões de carbono de veículos elétricos. Em (Teixeira and Sodré, 2018) é proposta uma metodologia para simular VE e veículos com motor de combustão interna (ICEV) para calcular emissões de CO<sub>2</sub>, consumo de combustível e eficiência energética. Os resultados demonstram que as emissões da frota VE podem ser dez vezes menores que o ICEV, considerando uma mesma quantidade média de quilômetros percorridos por dia.

Em (Manjunath and Gross, 2017) é apresentado um método para quantificar as emissões totais de VE, considerando a produção de carbono das fontes fósseis para sua recarga. Além disso, apresentou-se uma comparação das emissões totais entre VE e ICEV. Os resultados fornecem uma avaliação dos impactos ambientais e economia de combustível.

Em (André, Pasquier and Carteret, 2018), mostrou-se os resultados das emissões de CO<sub>2</sub> em uma rede rodoviária por meio de um monitoramento de vídeo, caracterizando a frota de veículos em vários pontos de uma cidade. Essa classe de resultados permite calcular as emissões de carbono segundo a

antiguidade dos veículos observados.

Uma metodologia é apresentada em (Hill *et al.*, 2019) para calcular as emissões incorporadas de CO<sub>2</sub> na produção de veículos, mostrando os efeitos da adoção acelerada de VE nos próximos anos.

Nas metodologias supracitadas se tem calculado em forma individual as emissões para VE e outros tipos de veículos, correlacionando com a quantidade de quilômetros percorridos. A partir dessas informações se podem criar cenários de emissões de carbono anuais, considerando uma quantidade de viagens e quilômetros percorridos por ano, como se explica em (Mofijur *et al.*, 2016; Wu *et al.*, 2018; Li and Yu, 2019). No entanto, para o cálculo de emissões de carbono das frotas de táxis, a quantidade de viagens podem ter variações e dispersões em função do número de veículos percorrendo a cidade e a dificuldade de movimentação do trânsito urbano que varia hora a hora do dia. Assim, no caso de cálculo de emissões para o setor de táxis, as variações e dispersões no número de viagens durante o horizonte de análise devem ser consideradas. Tais valores de variações e dispersões podem ser incorporados na construção de cenário utilizando os conceitos relacionada a teoria do movimento geométrico browniano e processos estocásticos.

Em suma, neste trabalho se apresenta uma metodologia fundamentada na teoria do movimento geométrico browniano para considerar as variações e as dispersões no número de viagens durante o horizonte de análise. Tal consideração permite criar cenários de emissões com valores máximos e mínimos das emissões para cada ano em análise. Os resultados da proposta são curvas que mostram tais valores para os taxis elétricos e verdes em cada ano. Estes resultados podem auxiliar empresas, agentes públicos e privados na definição programas de eficiência energética e políticas energéticas para os incentivos aos taxis elétricos e verdes. Assim como, na quantificação dos impactos ambientais e econômicos para sustentabilidade urbana.

## 2. METODOLOGIA PROPOSTA

A teoria do movimento geométrico browniano tem sido aplicada em diversas áreas do conhecimento, a fim de considerar flutuações aleatórias. Por exemplo, na determinação de preços de ativos nos instrumentos derivativos do mercado financeiro (Zhu, 2009). Em tais instrumentos, considera-se que o valor de um ativo deriva do valor de outros ativos. Neste trabalho, tal consideração tem motivado a utilizar os conceitos da teoria do movimento geométrico browniano na variação dos valores de emissões anuais de carbono dos taxis. Assim, levou-se em conta que a variação anual das emissões depende da variação e dispersões no número de viagens dos taxis, consequentemente, nos quilômetros percorridos como se mostra em (Osinegim, 2019). O agente regulador do Peru realizou cálculos de emissões de CO<sub>2</sub> por km, mostrando as influencias de cada tipo de combustível existente na região para valores médios de quilômetros percorridos.

Com o intuito de um melhor entendimento da aplicação dos conceitos da teoria do movimento geométrico browniano na

construção de cenários de emissões de carbono, na próxima seção apresentamos as principais definições utilizadas.

### 2.1 Aplicação da Teoria do Movimento Geométrico Browniano na Construção de Cenários de Emissões de Carbono

Em geral, no mercado de bolsa de valores, os preços de ações no final do ano podem ser modelados por distribuições de probabilidades, considerando que o preço está sujeito a incertezas próprias do mercado. Nesse caso a sequência de variações aleatórias forma um processo aleatório que pode ser modelado pela equação diferencial estocástica (Schuss, 2010):

$$dS(t) = \mu S(t)dt + \sigma S(t)dW(t) \quad (1)$$

Sendo:  $S(t)$  é o valor do preço no período  $t$ ;  $\mu$  é a mudança esperada de  $S(t)$ , sendo conhecido como média da taxa de *drift*;  $\sigma$  é percentagem de volatilidade ou dispersão;  $W(t)$  é uma variável aleatória cujo valor muda continuamente dentro do horizonte de estudo  $T$ . Os valores de  $\mu$  e  $\sigma$  são constantes para o horizonte de estudo  $T$ . Além disso, pequenas mudanças de  $W(t)$ , representadas por  $\Delta W$ , cumprem:

$$\Delta W = \varepsilon\sqrt{\Delta t} \quad (2)$$

Em que:  $\varepsilon$  segue uma distribuição normal com média igual a zero e desvio padrão igual a 1. Adicionalmente, em um movimento browniano se cumpre que  $\Delta W$  para qualquer período de tempo distinto são independentes (Schuss, 2010).

Em um movimento geométrico browniano, o valor de  $\mu$  é utilizado para modelar tendências determinísticas. Já, o valor de  $\sigma$  permite modelar a influência de eventos imprevisíveis que ocorrem (Schuss, 2010).

Como explicado em (Schuss, 2010), a solução de (1) é encontrada por:

$$S(t) = S(0) \exp\left(\left(\mu - \frac{1}{2}\sigma^2\right)Int + \sigma^2\varepsilon\sqrt{Int}\right) \quad (3)$$

Sendo que:  $S(0)$  é o valor inicial do preço e  $Int$  é um intervalo de tempo. O valor esperado de  $S(t)$  em (3) pode ser realizada por meio de uma simulação de Monte Carlo, definindo uma quantidade de caminhos para cada  $Int$  e calculando o valor médio após de um número de iterações (Kroese, Taimre and Botev, 2011).

Fazendo uma analogia entre o valor de preço de ativos com o valor das emissões de carbono cujo valor depende da quantidade de viagens que cumpre com (2), pode-se utilizar a Equação (3) dentro de uma simulação de Monte Carlo para encontrar o valor de emissões de carbono. Nesse cálculo do valor de emissões dos táxis se levariam em conta as variações e dispersões que podem acontecer por causa de número de veículos percorrendo a cidade e a influência do trânsito, respectivamente. Nas próximas seções, os detalhes para implementação do algoritmo da metodologia proposta serão apresentados.

### 2.2 Informações de Entrada

Para a metodologia proposta se considera como informações de entrada: a quantidade de emissões para cada tipo de táxis, número de caminhos ( $P$ ) a ser considerado na simulação de Monte Carlo, número total de iterações na simulação de Monte Carlo ( $I$ ), valor de variação ( $\mu$ ) e dispersão ( $\sigma$ ) a ser consideradas no horizonte de estudo.

Como apresentado na Seção 1, existem muitas metodologias para o cálculo anual de emissões de carbono (Wu *et al.*, 2018; Li and Yu, 2019). Em geral, cada governo tem valores esperados de emissões anuais de carbono para o setor de transporte (Souza *et al.*, 2016; Lopes *et al.*, 2018). Assim, para a metodologia proposta se considera que estes valores foram previamente calculados.

Os valores de  $P$ ,  $I$ ,  $\mu$  e  $\sigma$  a ser consideradas no horizonte de estudo, dependem da experiência e conhecimento do planejador. Em geral, se recomenda que o valor de  $I$  deve ser um valor muito alto para diminuir o erro entre o valor (médio), sendo recomendado maior a 30. Já, o valor de  $P$ , depende dos caminhos a ser considerados em cada intervalo, como se recomenda em (Kroese, Taimre and Botev, 2011). Após de diferentes experimentos, encontrou-se que o número de viagens que se realiza por unidade de tempo pode ser um bom valor para  $P$ .

O valor de  $\mu$  permite modelar tendências determinísticas relacionadas com a variação de veículos percorrendo a cidade, sendo possível utilizar taxas de disponibilidade de táxis. Por outro lado, os valores de  $\sigma$  podem estar relacionados com as taxas de tempo em que os táxis não se movimentam por causa do trânsito urbano.

### 2.2 Algoritmo Proposto

Na Fig. 1 se apresenta o algoritmo proposto, podendo ser implementado em qualquer software estatístico ou linguagem de programação que trabalhe com distribuições de probabilidades normais. O algoritmo deve ser executado para cada ano do horizonte de estudo, armazenando os valores de caminho e determinado o valor médio. Como no algoritmo se considera valores aleatórios com distribuição normal, cada execução do algoritmo gerará um valor médio. Assim, após de um total de execuções se podem encontrar o menor valor e máximo valor para cada ano. Após de ter encontrado todos os valores se pode realizar uma curva com os valores armazenados.

## 3. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA

A metodologia proposta foi aplicada utilizando dados da cidade de Lima, capital de Peru. Tal cidade foi escolhida pela quantidade de táxis que percorrem essa cidade (La Republica, 2019). O principal combustível utilizado neste país para realizar atividades de transporte terrestre é o gás natural. O Governo Peruano implementou o programa Bono Gás para incentivar o uso do gás natural dos campos de Camisea localizados na zona sul do País. O 68% dos 126.172 da frota de táxis em Lima metropolitana utilizam gás natural (Osinergim, 2019).

A aplicação da proposta foi feita para comparar os cenários de emissões de carbono de táxis elétricos e táxis movidos a gás

natural, considerando um horizonte de estudo de 8 anos. Assim, considerou-se a adoção em massa de VE para executar o serviço de táxi na cidade de Lima. Tal serviço é comparado com os serviços de taxi que operam com gás natural, taxis verdes, e percorrem a mesma distância que os taxis elétricos.

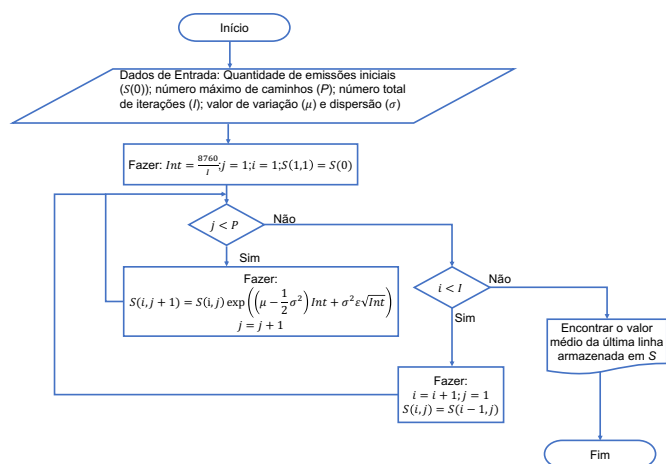


Fig. 1 Algoritmo proposto

Para os cálculos de emissão de CO<sub>2</sub> de GNV foram utilizados como base os valores de emissão disponibilizado pelo *Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería* (OSINERGIM) de Peru. Além disso, levou-se em conta o consumo de combustível por volume durante a viagem, o poder calorífico e a porcentagem de peso em carbono não renovável considerados em (Osinergim, 2019). No caso dos taxis elétricos se considerou as emissões realizadas por fontes térmicas com combustível fóssil que suprirá a demanda elétrica. Já nos taxis verdes se considerou a soma de emissões locais e das fontes supracitadas.

Adicionalmente, considerou-se que os taxis percorrem 200 quilômetros ao dia, trabalhando 6 dias na semana e 288 dias por ano, como mostrado em (Teixeira and Sodré, 2018). O modelo do veículo adotado nos cálculos foi o Chevrolet volt com uma autonomia de 383 km com uma bateria com capacidade de 60 kWh. Para os veículos que operam com gás natural considera-se um rendimento de 13 km/m<sup>3</sup>. Nesta aplica o se considera que o número de VE nos dois primeiros anos   de 73,5 mil unidades, para os seguintes anos considera-se uma penetra o de 84 mil unidades e no ultimo ano do estudo considera-se que 98 mil unidades de taxis utilizam energia elétrica como combustível. O algoritmo proposto foi implementado no software R utilizando as recomenda es apresentadas em (Muenchow, Schratz and Brenning, 2017) e considerando os dados de entrada apresentados na Tabela 1 e 2.

Nas Figs. 2 e 3, mostram-se os caminhos que foram gerados para todas as 8760 itera es no movimento geométrico browniano para os taxis elétricos e taxis verdes, respectivamente. Esse total de itera es foi considerado para levar em conta a quantidade de horas totais que se tem possibilidade de ter alguma varia o ou dispersão nas viagens. Após de diversos testes foi observado que quando se cumpre  $\mu > \sigma$  os caminhos gerados para todas as itera es apresentam pouca dispersão em rela o ao valor médio de viagens. Porém,

quando se cumpre  $\mu < \sigma$ , se cumpre que nas últimas simula es se tem valores maiores comparados com os valores das primeiras simula es.

Tabela. 1 Informa es de entrada

Dados de Entrada	Valor
Total de Itera�es	8760
Total de Caminhos	6
$\mu$	0,05
$\sigma$	0,1

Tabela. 2 Emissões de carbono para os taxis elétricos e verdes

Ano	Emissões de Carbono (toneladas de CO <sub>2</sub> /km) para Taxis Elétricos	Emissões de Carbono (toneladas de CO <sub>2</sub> /km) para Taxis Verdes
1	21,19	223,78
2	21,19	223,78
3	24,22	255,74
4	24,22	255,74
5	24,22	255,74
6	24,22	255,74
7	24,22	255,74
8	28,26	298,37

Nas Figs. 4 e 5, ilustram-se os cenários de emissões de carbono para os taxis elétricos e taxis verdes, respectivamente. Nessas figuras, observa-se que se tem uma menor largura ou distância entre o valor máximo e o valor mínimo para os cenários dos taxis elétricos que para os taxis verdes. Igualmente, observa-se que tal largura em um ano estudo  $t$  não se repete no próximo ano  $t+1$ , pois na modelagem por meio de movimento geométrico browniano se considera independência para cada passo de tempo, como explicado na Se o 2.1. Assim, o valor de emissões de carbono para um período  $t$  não depende do histórico, sendo influenciado pelos valores de varia o ( $\mu$ ) e dispersão ( $\sigma$ ) que foram definidos pelo planejador.

Os resultados mostrados nas Figs. 4 e 5 podem ajudar a tomar decisões para os incentivos que se fornecem para os taxis

elétricos, considerando que o valor de emissões se pode encontrar dentro largura entre o valor máximo e valor mínimo para cada ano. A partir dessa largura, observa-se que no caso dos cenários para os táxis verdes se tem valores maiores os quais podem trazer um incremento das emissões da zona de estudo.

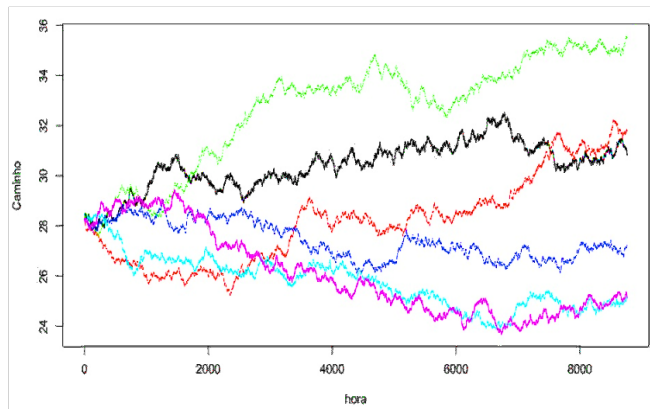


Fig. 2 Caminhos gerados para os táxis elétricos

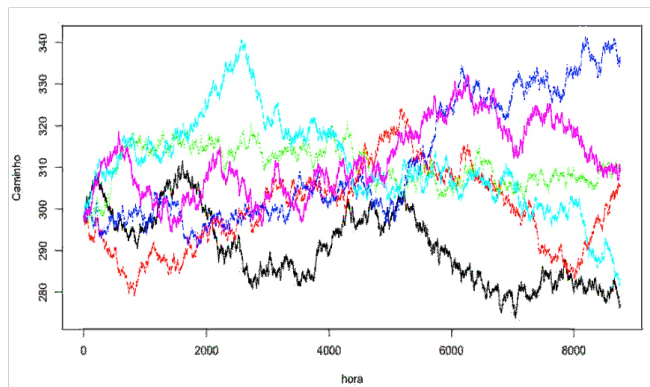


Fig. 3 Caminhos gerados para os táxis movidos a gás natural

As agências reguladoras de Peru têm realizado diversos análises econômicos para mostrar as vantagens e desvantagens entre os táxis verdes e elétricos. Com o intuito de mostrar como os cenários de carbono gerados com a metodologia podem complementar as análises econômicas, a seguir se mostram os resultados de custos de operação dessas tecnologias. Para essa análise econômica se considerou a evolução de tarifas no horizonte de estudo que se apresenta na Fig. 6. A partir dessas tarifas se podem determinar os custos de combustíveis por ano para os taxis considerados na construção de cenários de carbono, sendo apresentado na Fig. 7.

Na análise de custo de operação para os táxis elétricos e verdes, considerou-se que o custo de manutenção para um VE de acordo com a (El comercio, 2019), é de 14,99 USD por mês em quanto que para um veículo a gás foi de 69,01 USD. O veículo a gás requer maior manutenção no motor, na suspensão e no sistema de ignição. Além disso, requer que o filtro de ar seja trocado mais frequentemente. Isso ocorre pelo fato de o combustível provoca maior desgaste nesses componentes. Os custos máximos de operação para frota de taxis considerada na aplicação da metodologia proposta são apresentados na Tabela 3.

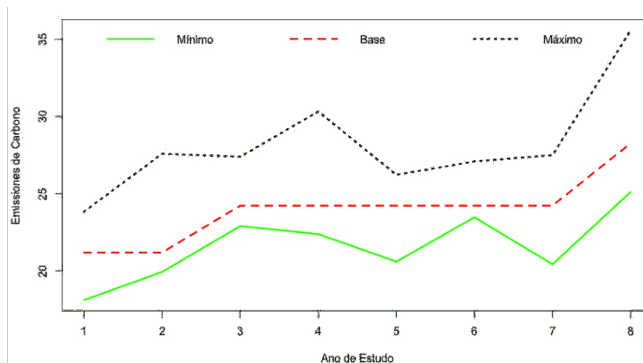


Fig. 4 Cenários de Emissões de Carbono para os táxis elétricos

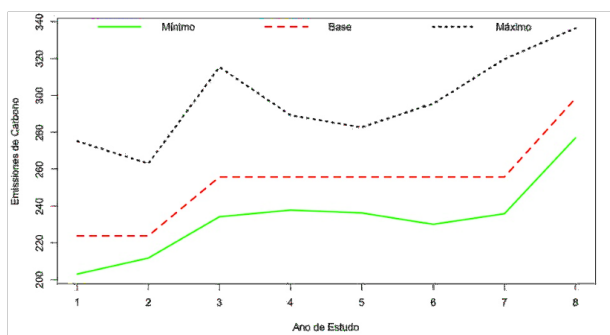


Fig. 5 Cenários de Emissões de Carbono para os táxis verdes

Em geral, na análise de custos de operação são pouco influenciados pelas pequenas variações do número total de viagens e desvio dos quilômetros percorridos no mês por causa do trânsito. Assim, planejadores associam custos a um cenário de carbono (Tseng, Chau and Liu, 2019). Por exemplo, a variação percentual a partir da Tabela 3 e tendo como referência o primeiro ano são 1,95% e 1,60% para os táxis elétricos e verdes, respectivamente. No entanto, essas percentagens supracitadas têm crescimentos consideráveis para o último ano, atingindo valores de 51,63% e 43,17% para os táxis elétricos e verdes, respectivamente. Igualmente, a partir das Figs 4 e 5, pode-se observar que para o horizonte de estudo, as emissões de carbono dos táxis elétricos terão valores menores em comparação com os táxis verdes para todos os cenários construídos.

O maior incremento nos custos de operação para os taxis elétricos pode ser explicado porque o gás natural, utilizado no Peru para o transporte, tem condições especiais de atualização de preços quando é fornecido desde os campos de Camisea. Porém, a diminuição de emissões no caso dos táxis elétricos pode fornecer informações para que as autoridades definam penalidades ao transporte com gás natural.

Neste trabalho, se considerou que os valores  $\mu$  e  $\sigma$  são constantes para todo o horizonte de estudo, a fim de ter cenários mais conservadores. Porém, pode ser tal variação e dispersão pode mudar durante o tempo, sendo necessário realizar uma modelagem para considerar sua evolução no tempo. Isto será explorado em trabalhos futuros para fornecer ferramentas aos tomadores de decisões.

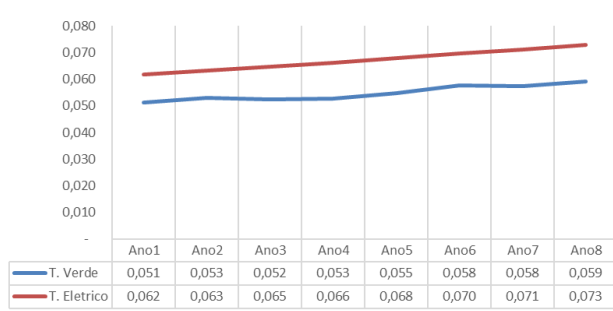


Fig. 6 Tarifas de Combustível em USD/kwh

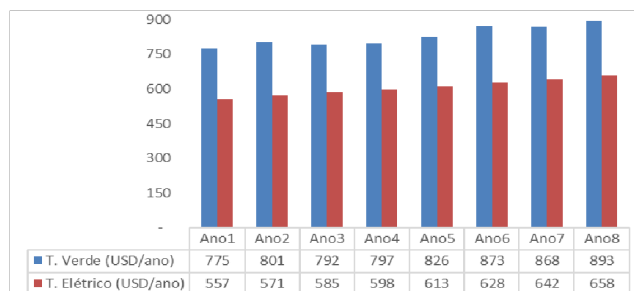


Fig. 7 Custo de Combustível por ano

**Tabela. 3 Custos de operação para os táxis elétricos e verdes**

Ano	Quantidade de Veículos	Custo de operação (USD/ano) para os táxis elétricos	Custo de operação (USD/ano) para os táxis verdes
1	73500	54.142.295,4	117.825.023,1
2	73500	55.203.458,9	119.713.860,0
3	84000	64.226.628,1	136.071.470,8
4	84000	65.363.588,9	136.518.092,3
5	84000	66.576.347,2	138.974.510,8
6	84000	67.864.902,8	142.882.449,2
7	84000	69.077.661,0	142.473.046,2
8	98000	82.093.919,4	168.693.581,5

#### 4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi aplicada a teoria do movimento geométrico browniano para permitir a modelagem de fatores aleatórios como a distancia percorrida no ano por um taxi seja este convencional ou elétrico. A partir das simulações, pode-se concluir que os taxis elétricos conseguem uma menor quantidade de emissões de carbono em comparação com os taxis verdes para o horizonte de estudo. Assim, os VE utilizados para realizar a atividade de taxi apresentam grandes

vantagens no que refere a diminuição de gases de efeito estufa. Adicionalmente, os resultados da análise econômica mostram que para a taxa de penetração de veículos elétricos considerada se terá uma economia em torno de 72 milhões de dólares por ano. A partir dos resultados apresentados neste trabalho podem auxiliar empresas, agentes públicos e privados na definição programas de eficiência energética e políticas energéticas para os incentivos aos taxis elétricos.

#### REFERÊNCIAS

- André, M., Pasquier, A. and Carteret, M. (2018). Experimental determination of the geographical variations in vehicle fleet composition and consequences for assessing low-emission zones. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, (65), pp. 750–760. doi: 10.1016/j.trd.2018.10.005.
- Centro de Informação Regional das Nações Unidas para a Europa Ocidental (2016). *Agenda 2030 de desenvolvimento sustentável, Guia sobre desenvolvimento sustentável: 17 objetivos para transformar o nosso mundo*.
- El Comercio (2019) Empiezan a circular en Lima los primeros taxis eléctricos. Available at: <https://elcomercio.pe/lima/empiezan-circular-lima-primeros-taxis-electricos-notepases-noticia-640586noticia/>.
- Hill, G. *et al.* (2019). The role of electric vehicles in nearterm mitigation pathways and achieving the UK's carbon budget. *Applied Energy*. doi: 10.1016/j.apenergy.2019.04.107.
- Kroese, D. P., Taimre, T. and Botev, Z. I. (2011) *Handbook of Monte Carlo Methods, Handbook of Monte Carlo Methods*. Wiley (Wiley Series in Probability and Statistics). doi: 10.1002/9781118014967.
- La Republica (2019). Hay más de 68 mil taxis informales solo en Lima. 22 June. Available at: <https://larepublica.pe/economia/2019/06/22/hay-mas-de-68mil-taxis-informales-solo-en-lima/>.
- Li, X. and Yu, B. (2019). Peaking CO2 emissions for China's urban passenger transport sector. *Energy Policy*. doi: 10.1016/j.enpol.2019.110913.
- Lopes, T. F. A. *et al.* (2018). Estimativa das emissões veiculares na região metropolitana de Fortaleza, CE, ano-base 2010. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 23(5), pp. 1013– 1025. doi: 10.1590/s1413-41522018173312.
- Manjunath, A. and Gross, G. (2017). Towards a meaningful metric for the quantification of GHG emissions of electric vehicles (EVs). *Energy Policy*, (102), pp. 423–429. doi: 10.1016/j.enpol.2016.12.003.
- Mofijur, M. *et al.* (2016). Role of biofuel and their binary (diesel-biodiesel) and ternary (ethanol-biodiesel-diesel)

- blends on internal combustion engines emission reduction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. doi: 10.1016/j.rser.2015.08.046.
- Muenchow, J., Schratz, P. and Brenning, A. (2017). RQGIS: Integrating R with QGIS', *The R Journal*, 9(2), pp. 409–428. Available at: <https://cran.r-project.org/package=RQGIS>.
- Osinergim (2019) *Conceptos, políticas y lecciones aprendidas para EL PERÚ*. Available at: [https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/Institucional/Estudios\\_Economicos/Libros/OsinergminElectromovilidad-conceptos-politicas-lecciones-aprendidaspara-el-Peru.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/OsinergminElectromovilidad-conceptos-politicas-lecciones-aprendidaspara-el-Peru.pdf).
- Rayle, L. et al. (2016) 'Just a better taxi? A survey-based comparison of taxis, transit, and ridesourcing services in San Francisco', *Transport Policy*. Elsevier, 45, pp. 168–178. doi: 10.1016/j.tranpol.2015.10.004.
- Schuss, Z. (2010) 'Stochastic Differential Equations', in *Applied Mathematical Sciences (Switzerland)*, pp. 92–132. doi: 10.1007/978-1-4419-1605-1\_4.
- Souza, L. L. P. et al. (2016). Análise do ciclo de vida de veículos convencional, elétrico e híbrido plug-in para condições brasileiras. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 7(3), pp. 144–159. doi: 10.6008/SPC21796858.2016.003.0012.
- Teixeira, A. C. R. and Sodr e, J. R. (2018). Impacts of replacement of engine powered vehicles by electric vehicles on energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, (59), pp. 375–384. doi: 10.1016/j.trd.2018.01.004.
- Tseng, C.-M., Chau, S. C.-K. and Liu, X. (2019). Improving Viability of Electric Taxis by Taxi Service Strategy Optimization: A Big Data Study of New York City. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(3), pp. 817–829. doi: 10.1109/TITS.2018.2839265.
- Wu, T. et al. (2018). Development and application of an energy use and CO<sub>2</sub> emissions reduction evaluation model for China's online car hailing services. *Energy*, (154), pp. 298–307. doi: 10.1016/j.energy.2018.04.130.
- Zhu, J. (2009). Testing for expected return and market price of risk in Chinese A and B share markets: A geometric Brownian motion and multivariate GARCH model approach. *Mathematics and Computers in Simulation*, 79(8), pp. 2633–2653. doi: 10.1016/j.matcom.2008.12.005.