

# BICICLETAS ELÉTRICAS: UMA REVOLUÇÃO ENERGÉTICA NA MOBILIDADE URBANA DAS CIDADES BRASILEIRAS

**Shanna Trichês Lucchesi**

**Láisa Braga Kappler**

**Magdala Satt Arioli**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Escola de Engenharia

**Marcio de Almeida D'Agosto**

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia

## RESUMO

O elevado índice de urbanização e motorização de grandes centros urbanos acarretam problemas socioambientais, como poluição, congestionamento e mudanças climáticas. O desenvolvimento de novas tecnologias em transportes associado a políticas de incentivo a modos sustentáveis impulsiona o uso de bicicletas elétricas nas cidades. Este artigo tem por objetivo avaliar a redução das emissões de poluentes com uma maior penetração de bicicletas elétricas na divisão modal da cidade de Belo Horizonte. Para tal, foi realizada uma pesquisa de mercado das características técnicas das bicicletas elétricas comercializadas no Brasil a fim de determinar a bicicleta média do mercado brasileiro. Após, avaliou-se a potencial redução de emissões das bicicletas elétricas frente aos automóveis, bicicleta tradicional e transporte coletivo por ônibus, para viagens de até 10 km de distância. Observou-se que para todos os poluentes atmosféricos avaliados, o cenário com a bicicleta elétrica apresentou redução do número total de kg/dia emitido para a matriz estudada.

## ABSTRACT

The high urbanization and motorization rates of large urban centers lead to socio-environmental problems, such as pollution, congestion and effects on climate change. The development of new transport technologies combined with policies to encourage sustainable modes encourage the use of electric bicycles in cities. This article aims to evaluate the reduction of pollutant emissions with a penetration increase of electric bicycles in Belo Horizonte modal share. We conduct a market survey in order to collect the technical characteristic of electric bicycles available for customers for further determination of the average bicycle in the Brazilian's market. After that, the potential reduction of emissions of electric bicycles was evaluated in comparison to the modes of cars, traditional bicycle and transit by bus, for trips until 10 km long. It was observed that for all atmospheric pollutants evaluated, the scenario with the electric bicycle showed a reduction in the total number of kg/day emitted for the matrix studied.

## 1. INTRODUÇÃO

O transporte é um elemento essencial na atividade econômica e conectividade social. Embora o aumento da mobilidade traga benefícios, o ritmo vertiginoso desse crescimento exige novos desafios, tornando necessária atenção política para atenuar as externalidades causadas pelo crescimento da mobilidade urbana (IEA, 2013). A poluição atmosférica proporcionada pelos gases poluentes emitidos na exaustão dos veículos automotores implica em uma série de efeitos que contribuem para problemas ambientais e de saúde, afetando as pessoas em todo o mundo. Mais de 3 milhões de mortes prematuras a cada ano podem ser atribuídas aos efeitos da poluição atmosférica urbana (Who, 2014). Outra grande preocupação com relação às emissões de veículos é o impacto das emissões de gases de efeito estufa (GEE), visto que o setor é responsável por aproximadamente 28% das emissões globais de GEE devido ao consumo energético (IEA 2016, 2017b).

As emissões desse setor estão crescendo mais rapidamente do que de outros setores devido às transformações demográficas e comportamentais, e impulsionadas pela economia, que estão levando a grandes aumentos na demanda de transporte, especialmente nos países em desenvolvimento (Creutzig *et al.*, 2015). Se as tendências atuais continuarem, o setor de

transportes tem potencial de se tornar um grande obstáculo para evitar mudanças climáticas. No Brasil, o setor de transportes é responsável pela maior parte das emissões de GEE do setor de energia brasileiro, contribuindo com 45% das emissões associadas ao uso de energia (SEEG, 2018). Diante desse quadro, o setor de transportes exige mudanças transformacionais para atender ao seu potencial de redução de emissões de GEE e de poluentes atmosféricos.

Nesse sentido, ações e investimentos que incentivem a migração do uso de automóveis para o transporte coletivo e modos ativos ganham cada vez mais destaque no conceito de cidades inteligentes e resilientes. No entanto, a resistência à mudança do modo de transporte individual motorizado para modos mais sustentáveis, especialmente para a bicicleta, passa por condições de terreno e clima, por longas distâncias percorridas devido à configuração de espraiamento das cidades e à falta de infraestrutura. No Brasil, 27% das viagens realizadas são por modo individual motorizado e somente 4% com o uso de bicicletas, modo de transporte foco deste estudo. Esses motoristas que se deslocam com motocicletas ou automóveis percorrem distâncias médias que variam de 4,3 a 9,5 km (ANTP, 2014). Apesar de difíceis de serem realizadas a pé, algumas dessas distâncias são cicláveis, especialmente com o uso de bicicletas elétricas (McDonald *et al.*, 2015).

A eletrificação vem sendo considerada uma possível alternativa ao consumo de combustíveis fósseis, redução de ruído e um impulsionador das viagens por bicicleta, e conseqüente redução dos congestionamentos (Weiss *et al.*, 2015). Estudos apontam que usuários de bicicletas elétricas aumentam o número de viagens diárias realizadas por bicicleta e as distâncias dessas viagens, tornando o modo mais competitivo contra viagens motorizadas (Cairns *et al.*, 2017; Fyhri e Fearnley, 2015). Os usuários costumam buscar por esse tipo de alternativa para reduzir o esforço da pedalada (Johnson e Rose, 2013) e para aumentar a flexibilidade de suas viagens por transporte coletivo. Sobre o ponto de vista ambiental, veículos elétricos geram menores emissões locais em comparação aos veículos à gasolina (Weinert *et al.*, 2008). No entanto, os diversos modelos e sistemas de eletrificação de bicicletas presentes no mercado são um desafio para a regulação (Macarthur e Kobel, 2014) e nas avaliações das reais conseqüências de disseminação da utilização do modo.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é avaliar a redução das emissões de poluentes com uma maior penetração de bicicletas elétricas na divisão modal das cidades brasileiras, com o estudo de caso na cidade de Belo Horizonte. Após pesquisa de mercado das características técnicas das bicicletas elétricas comercializadas no Brasil, foi mensurada a diminuição de emissões desse modo de transporte em comparação ao automóvel, bicicleta tradicional e transporte coletivo, para viagens de até 10 km de distância.

O artigo está dividido em cinco seções. A seção 2 apresenta a revisão do estado da arte para bicicletas como solução para a mobilidade e, em especial, para bicicletas elétricas. Na seção 3 é apresentada a metodologia utilizada no estudo, incluindo os modelos de bicicletas vendidos no Brasil. Já na seção 4 é realizada a análise dos dados e a apresentação dos resultados. Na seção 5 são apresentadas as considerações finais do trabalho.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

A revisão de literatura compreendeu o entendimento da bicicleta elétrica como uma solução para a mobilidade, bem como o conhecimento de seus empecilhos, os tipos de bicicletas elétricas vendidas no mercado brasileiro e questões da legislação.

## **2.1. A bicicleta elétrica como solução de mobilidade**

Bicicletas elétricas, também chamadas de e-bikes, são semelhantes em geometria a bicicletas movidas à propulsão humana, mas possuem um pequeno motor elétrico que fornece assistência aos pedais. Elas permitem que os passageiros acelerem, escalem montanhas e superem a resistência do vento com mais facilidade do que as bicicletas comuns (MacArthur e Kobel, 2014). São especialmente importantes para a mobilidade atual, já que as distâncias das viagens urbanas aumentaram devido às cidades em rápida expansão, incentivando bicicletas mais rápidas e de longo alcance.

Tradicionalmente, o uso de bicicletas visa a facilitar percorrer trajetos pelo modo ciclável que são difíceis de serem realizadas a pé (McDonald *et al.*, 2015). Os usuários costumam buscar pelas bicicletas elétricas para aumentar ainda mais a distância ciclada, reduzindo o esforço da pedalada (Johnson e Rose, 2013) e assim conquistando novos usuários. Mais pessoas participando do ciclismo podem ajudar a aliviar preocupações ambientais de tráfego e de saúde pública. Ao passo que mais fabricantes de bicicletas elétricas podem ajudar a aumentar e diversificar a base econômica das cidades em todo o país e fornecer empregos remunerados para a família (MacArthur e Kobel, 2015).

O incentivo à mobilidade eletrônica dá-se pelo desenvolvimento de políticas e metas de proteção ao clima, que incluem a propulsão elétrica como fonte de redução de CO<sub>2</sub>. O progresso da tecnologia de baterias, conjuntamente com a expectativa quanto ao pico do preço do petróleo contribui para fabricantes de veículos adotarem uma estratégia de diversificação, incluindo veículos elétricos e híbridos em seus portfólios (Dijk *et al.*, 2012). O crescimento do mercado eletrônico depende, principalmente, de melhorias tecnológicas nas baterias para que essas possam ser cada vez menores, mais eficientes, mais rápidas de carregar e menos poluentes na sua fabricação e descarte (Weinert *et al.*, 2008).

Do ponto de vista local, as bicicletas elétricas podem ser uma forma de transporte privado de eficiência energética e baixa emissão em cidades pequenas e médias, onde o serviço de transporte público é limitado ou a cidade é geograficamente dispersa. Por outro lado, cidades maiores, com os recursos para construir sistemas eficientes de transporte público, podem se beneficiar da redução do uso de motocicletas e das bicicletas elétricas como alimentadoras do sistema de transporte de alta capacidade (Weinert *et al.*, 2008).

## **2.2. Empecilhos para uso da bicicleta elétrica**

O futuro da mobilidade elétrica vai depender do desenvolvimento de tecnologias que consigam torná-las mais eficientes e mais convenientes aos usuários de veículos motores. As principais forças que resistem ao crescimento do mercado de e-bikes são: a forte demanda por motocicletas movidas à gasolina e a proibição de e-bikes devido a preocupações de segurança viária em áreas urbanas, especialmente na relação ciclista-pedestres (Weinert *et al.*, 2008).

Outra questão é a pressão para as proibições das e-bikes, que podem aumentar devido à abundância de produtos de baixa qualidade e inseguros no mercado, o que pode se remontar à frouxa aplicação dos padrões de bicicletas elétricas. Muitos usuários reclamam que os freios dessas são insuficientes para o peso e velocidade do veículo. Também, baterias VRLA de baixa qualidade têm menor vida útil e, assim, levam a um maior desperdício de chumbo. A poluição por chumbo proveniente da produção de baterias e reciclagem de VRLA pode levar a uma maior reação ambiental contra seu uso (Weinert *et al.*, 2008). Desde o final dos anos 90, houve

melhorias na vida útil da bateria (160%), densidade de energia (30%) e eficiência motora (60%) (Weinert *et al.*, 2007a). Em geral, incentivar a transição para baterias avançadas, como lítio, reduziria os problemas de resíduos ambientais das baterias de chumbo.

### **2.3. Tipos de bicicletas elétricas**

E-bikes geralmente podem ser divididas em duas categorias: bicicletas elétricas estilo bicicleta tradicional (BSEB) e bicicletas elétricas estilo *scooter*. As primeiras também podem ser chamadas de bicicletas elétricas de baixa potência ou bicicletas elétricas de baixa velocidade. Em geral, têm um motor elétrico com potência de até 750 watts que pode atingir 35 km/h quando impulsionado apenas pelo motor. Têm pedais de trabalho que servem para impulsionar a bicicleta com ou sem a ajuda do motor elétrico (MacArthur e Kobel, 2015).

Os BSEBs podem ainda ser divididos em dois grupos: bicicletas motorizadas (PB) e bicicletas assistidas (PAB). Aquelas têm um acelerador no guidão para engatar o motor, semelhante ao modo como a motocicleta ou o ciclomotor se engaja. As PABs incluem um controlador eletrônico que permite a ligação do motor somente enquanto o usuário estiver pedalando e com trava do motor quando atingida determinada velocidade (normalmente 35 km/h foi atingida). Algumas e-bikes podem operar tanto como PB quanto PAB (MacArthur e Kobel, 2015). As bicicletas utilizadas neste estudo são as elétricas equiparadas à bicicleta comum com pedal assistido, as únicas permitidas pela legislação brasileira (CONTRAN, 2013).

Já *scooters*, ciclomotores e até mesmo motocicletas são chamadas de bicicletas elétricas no estilo *scooter* (SSEB). Embora os ciclomotores elétricos possam ter pedais, eles são mais um apêndice do que uma necessidade funcional. Na verdade, esses veículos semelhantes às *scooters*, em geral, apresentam um apoio para os pés. São mais comumente confundidos com e-bikes por causa dos pedais semi-funcionais. O perfil dessas bicicletas varia entre uma bicicleta volumosa e uma Vespa (MacArthur e Kobel, 2015).

### **2.4. Aspectos da legislação**

MacArthur e Kobel (2015) destacam que ao mesmo tempo em que as e-bikes estão em ascensão, as cidades estão lutando para entender como elas devem ser regulamentadas e onde devem ser permitidas dentro da infraestrutura de bicicletas. Pois à medida que o número de usuários aumenta também aumentam os possíveis conflitos (reais ou percebidos) com outros usuários da via.

A legislação brasileira regulariza as bicicletas elétricas por meio da Resolução nº 465, de 8 de maio de 2009, do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN). Essa estabelece a equiparação de veículos ciclo-elétricos a ciclomotores, além de dispor sobre os equipamentos obrigatórios para condução nas vias públicas abertas à circulação e outras providências.

O CONTRAN alterou parte da resolução em 27 de novembro de 2013, considerando a necessidade de apoiar políticas de mobilidade sustentável e a crescente demanda por opções de transporte que priorizem a preservação do meio ambiente. Esta também aborda os avanços tecnológicos, o uso de novas fontes de energia aplicados sobre as bicicletas tradicionais e o comprometimento da segurança do trânsito provocado pelo aumento do uso de ciclos motorizados elétricos.

As bicicletas elétricas passaram, então, a ser equiparadas a bicicletas tradicionais, excluindo-se a exigência de habilitação do tipo ACC – Autorização para conduzir Ciclomotores. Sendo

necessário atender às seguintes características (CONTRAN, 2013):

- a) potência nominal máxima de 350 watts;
- b) velocidade máxima de 25 km/h (quando a propulsão estiver apoiada pelo motor elétrico);
- c) devem ser dotadas de sistema que garanta o funcionamento do motor somente quando o condutor pedalar;
- d) não devem dispor de acelerador ou de qualquer outro dispositivo de variação manual de potência;
- e) devem ser dotadas de indicador de velocidade, campainha, sinalização noturna dianteira, traseira e lateral, espelhos retrovisores em ambos os lados e pneus em condições mínimas de segurança;
- f) uso obrigatório de capacete de ciclista.

O CONTRAN (2013) permite que as bicicletas elétricas que não cumprirem os requisitos de potência máxima e velocidade continuem no mercado, porém essas devem permanecer equiparadas aos ciclomotores.

Os principais problemas existentes pela falta de clareza, compreensão e padronização das e-bikes referem-se à criação de uma barreira para a adoção de bicicletas elétricas como uma forma legítima de transporte urbano, quando se transmite incerteza a passageiros e fabricante; e às leis aplicadas às e-bikes. Muitas vezes essas não abordam de forma adequada questões urgentes, como a operação segura, requisitos de equipamentos, interações com outros usuários da via e onde a operação pode ser permitida (MacArthur e Kobel, 2015).

Uma questão importante é a lacuna entre os requisitos de segurança prescritos para as bicicletas elétricas e o risco real representado para a segurança dos ciclistas de bicicletas elétricas e outros. Requisitos adicionais podem desencorajar o uso de e-bikes e, portanto, o ciclismo em geral. Ainda assim, os planejadores e formuladores de políticas de transporte devem avaliar suas instalações para bicicletas, a fim de determinar se as bicicletas elétricas devem ser permitidas (MacArthur e Kobel, 2015).

A política de fabricantes e planejadores deve considerar a segurança de bicicletas elétricas e *scooters* misturando-se com ciclistas, pedestres e outros usuários. Mas eles também devem pensar sobre as metas da mudança climática e como o fato de privilegiar as e-bikes para usar a infraestrutura de bicicletas ainda incentivaria mais pessoas a sair de seu carro para um veículo mais eficiente. Uma vez que são desejáveis os benefícios do ciclismo e de uma indústria emergente, é importante ter uma definição padronizada e regulamentação uniforme das e-bikes no nível estadual e federal. Os fabricantes devem sentir-se confiantes em expandir seus mercados e não se preocupar com o status legal de seus produtos (MacArthur e Kobel, 2015).

### **3. METODOLOGIA**

O estudo buscou identificar quais as reduções nas emissões dos poluentes provenientes do transporte poderiam ser evitadas caso determinadas viagens fossem atendidas por bicicleta elétricas. Para tanto, foi definida a bicicleta elétrica média do Brasil e, após, foi realizada uma avaliação da redução dos poluentes emitidos ao aumentar a participação das bicicletas elétricas na divisão modal das viagens internas do município de Belo Horizonte.

### 3.1. Metodologia para definição da bicicleta elétrica média do Brasil

Para definir a e-bike média do Brasil, foi realizada uma pesquisa mercadológica dos modelos de bicicletas elétricas comercializados no país. Como os modelos de e-bikes disponíveis no mercado brasileiro são muito heterogêneos, buscaram-se os modelos mais vendidos junto a sites de três grandes lojas: Americanas, Ponto Frio e Walmart. Dessa pesquisa, foram selecionados quinze modelos mais vendidos, somente de bicicletas elétricas que atendam à legislação definida pelo parágrafo 3º da Resolução nº 465 do CONTRAN (2013).

### 3.2. Metodologia para avaliação do potencial de redução das emissões de poluentes

Como forma de avaliar o impacto das bicicletas elétricas na mobilidade urbana de grandes cidades buscou-se calcular o inventário das emissões de transporte para situações antes e depois da alteração de modo para o uso de bicicletas elétricas e comparar o potencial do modal em reduzir emissões dos principais poluentes relacionados com a área de transportes.

A avaliação dos poluentes foi realizada com base em quatro etapas: i) cálculo das emissões para cada viagem da matriz origem e destino; ii) identificação da matriz de emissões (distância x modo) da base de dados; (iii) aplicação dos fatores de mudança de modo para obtenção da matriz de emissões com maior participação das e-bikes; (iv) comparação do cenário atual (pesquisa OD) com o cenário com bicicletas elétricas.

As análises foram realizadas para o estudo de caso da cidade de Belo Horizonte. Foi utilizado o banco de dados proveniente da pesquisa origem e destino da cidade, aplicada em 2012, e utilizadas somente as viagens internas ao município. Como parte da primeira etapa, buscaram-se as informações relativas ao modo da viagem e a distância de deslocamento para criação da matriz de viagens. As distâncias utilizadas foram as distâncias reais na malha viária de Belo Horizonte de centroide a centroide.

Os fatores de emissões para automóveis e ônibus urbanos foram obtidos no estudo conduzido e publicado pelo Instituto de Energia e Meio Ambiente para a cidade de Belo Horizonte, cujo objetivo principal era avaliar o potencial de reduções das emissões atmosféricas para a cidade com a implantação das medidas propostas no seu plano de mobilidade (Instituto de Energia e Meio Ambiente, 2014). A Tabela 1 apresenta os fatores considerados no estudo para o ano de 2014 separados por ônibus urbano e automóvel movidos à gasolina C e etanol.

**Tabela 1: Fatores de emissão**

| Poluentes                            | Unidade     | Automóveis | Ônibus | Metrô |
|--------------------------------------|-------------|------------|--------|-------|
| CO (Monóxido de Carbono)             | g/km.pass   | 0.72       | 0,03   | -     |
| NOx (Óxidos de Nitrogênio)           | mg/km.pass. | 79.67      | 135.75 | -     |
| RCHO (Aldeídos)                      | mg/km.pass. | 6.60       | -      | -     |
| NMHC (Hidrocarbonetos não metano)    | mg/km.pass. | 139.00     | 6.28   | -     |
| CH4 (Metano)                         | mg/km.pass. | 16.80      | -      | -     |
| MPEscapamento (Material Particulado) | mg/km.pass. | 0.39       | 2.05   | -     |
| MP Desgaste                          | mg/km.pass. | 14.20      | 1.31   | -     |
| CO2 (Dióxido de Carbono)             | kg/km.pass  | 0.07       | 0.02   | 0.006 |

Para a transformação dos fatores de emissão dos ônibus urbanos para g/km, a fim de permitir sua comparação com os fatores dos automóveis, foi utilizado o consumo de 2,3 km/l proveniente do Inventário de Emissões para Veículos Rodoviários (Brasil, 2014). Já os fatores

de emissão para as viagens de metrô foram obtidas do trabalho de Andrade (2015). Os emissores dos ônibus urbanos foram transformados para representar a emissão por passageiros com base na ocupação e na capacidade média dos transportes coletivos urbanos de Belo Horizonte provenientes do trabalho de Ferreira e Barbosa (2015). A ocupação média veicular foi obtida junto ao órgão fiscalizador do transporte coletivo, sendo 45 passageiros/veículos para os ônibus urbanos e 1,5 passageiro/veículos para os automóveis.

Tendo em vista o potencial das bicicletas elétricas de aumentar a distância percorrida para até 10 km, foram aplicados os percentuais de troca de modo para bicicleta elétrica na matriz concebida como parte da segunda etapa. Na terceira etapa, os fatores de emissão relativos à utilização da energia foram aplicados para cada viagem, distinguidos por modal. Foram avaliadas as emissões quanto ao total de CO, NMHC, NOx, material particulado no desgaste e escapamento, CO<sub>2</sub>, RCHO e CH<sub>4</sub>. As emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> foram convertidas para CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>e) a partir do índice, Potencial de Aquecimento Global (*Global Warming Potential* – GWP), fornecido pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC, 2014). Por fim, foi comparado o total de emissões para cada poluente para as duas matrizes: cenário atual e cenário com inserção da bicicleta elétrica.

#### **4. RESULTADOS**

Esta seção apresenta os resultados do estudo sobre as bicicletas elétricas no Brasil, afim de avaliar a redução das emissões dos poluentes com uma maior penetração desse modo de transporte na divisão modal da cidade de Belo Horizonte. Primeiramente é realizada a definição da bicicleta elétrica média do país, seguido da análise do potencial de redução da emissão de poluentes no cenário com aumento de bicicletas elétricas. Os resultados comparam o cenário atual (obtido da pesquisa OD) com o cenário com maior inserção de e-bikes na matriz modal.

##### **4.1. Definição da bicicleta elétrica média do Brasil**

A identificação das bicicletas elétricas disponíveis no mercado brasileiro levou em consideração características técnicas, como: tipo de quadro da bicicleta (rígido ou dobrável), material do quadro (aço ou alumínio), tamanho do aro do pneu (em polegadas), potência (em watts), autonomia máxima da bicicleta (em quilômetros) e peso (em quilogramas). A Tabela 2 apresenta uma síntese dos modelos pesquisados das bicicletas elétricas mais vendidos no Brasil.

A identificação dos principais modelos vendidos no país possibilitou a determinação da bicicleta elétrica média brasileira. Na Tabela 1 se observa que grande parte das bicicletas possui quadro rígido constituído de alumínio. Apesar de haver uma variedade de seis tamanhos de aro de pneus distintos, o tamanho de 26” é o mais recorrente. Com relação à potência, verifica-se que a maioria dos modelos possui motor de 250 watts. O tipo de bateria mais presente nas E-bikes brasileiras é de lítio. Também há uma grande variabilidade quanto ao peso e à autonomia das bicicletas apresentadas, sendo necessário calcular os valores médios dos modelos, os quais resultaram em 29 kg e 35 km, respectivamente. Por fim, o valor médio dos modelos apresentados é de R\$ 4.384,51.

**Tabela 2: Modelos de bicicletas elétricas mais vendidas no Brasil**

| Marca           | Modelo       | Quadro   | Material | Aro | Potência (W) | Autonomia (km) | Peso (kg) | Bateria | Preço        |
|-----------------|--------------|----------|----------|-----|--------------|----------------|-----------|---------|--------------|
| Biobike         | JS 12        | Dobrável | Alumínio | 20" | 250          | 35             | 25,0      | Lítio   | R\$ 5.950,00 |
| Biobike         | Urbana       | Rígido   | Aço      | 20" | 350          | 35             | 42,0      | Chumbo  | R\$ 4.299,00 |
| ECO             | Biciclete    | Rígido   | Aço      | 24" | 350          | 30             | 48,0      | Chumbo  | R\$ 3.630,00 |
| Lev             | E-bike L     | Rígido   | Alumínio | 24" | 250          | 30             | 27,0      | Lítio   | R\$ 6.590,00 |
| Machine Motors  | Retrô        | Rígido   | Aço      | 26" | 350          | 25             | 26,0      | Lítio   | R\$ 2.990,00 |
| Machine Motors  | Basic        | Rígido   | Aço      | 26" | 350          | 30             | 42,0      | Chumbo  | R\$ 2.890,00 |
| Magias Italiane | July         | Rígido   | Alumínio | 26" | 350          | 45             | 28,0      | Lítio   | R\$ 4.999,00 |
| Pedalla Bikes   | Rodda        | Rígido   | Alumínio | 29" | 250          | 45             | 26,7      | Lítio   | R\$ 5.048,89 |
| Pedalla Bikes   | Gioia        | Rígido   | Alumínio | 26" | 250          | 27             | 23,7      | Lítio   | R\$ 4.211,11 |
| Pegasus         | Echo Vintage | Rígido   | Aço      | 28" | 350          | 20             | 30,0      | Lítio   | R\$ 4.690,00 |
| Sense           | Easy         | Dobrável | Alumínio | 20" | 250          | 40             | 16,0      | Lítio   | R\$ 4.990,00 |
| Sense           | Start        | Rígido   | Alumínio | 26" | 250          | 40             | 35,0      | Chumbo  | R\$ 3.290,00 |
| Skape           | Mini Ebike   | Dobrável | Alumínio | 16" | 250          | 45             | 14,0      | Lítio   | R\$ 5.290,00 |
| Track & Bikes   | City Pas     | Rígido   | Aço      | 24" | 350          | 50             | 36,0      | Chumbo  | R\$ 2.699,90 |
| Two Dogs        | Pliage       | Dobrável | Aço      | 20" | 250          | 40             | 14,0      | Lítio   | R\$ 4.199,80 |

Além disso, os fabricantes das principais marcas vendidas no país indicam um consumo no valor de R\$ 0,01 a R\$ 0,02 por quilômetro percorrido. A Figura 1 apresenta dois modelos de bicicletas elétricas que se encaixam nessas configurações, são elas: Pedalla Bikes Gioia e Sense Start, respectivamente.

**Figura 1: Modelos de bicicletas elétricas mais comuns no Brasil**

Sendo assim, definiu-se a bicicleta elétrica padrão do mercado brasileiro com as seguintes características técnicas: quadro rígido de alumínio, aro 26", 250 W de potência, 29 kg, autonomia de até 35 km, bateria de lítio e custo de aquisição de R\$ 4.384,51.

#### **4.2. Avaliação do potencial de redução das emissões de poluentes**

Com a definição da bicicleta média, partiu-se para a segunda etapa da análise que visava a calcular o potencial de redução de emissões de poluentes atmosféricos com a inserção da bicicleta elétrica. O estudo foi dividido em quatro etapas, descritas a seguir.



#### 4.2.1. Cálculo das emissões para cada viagem da matriz origem e destino

A primeira etapa consistiu na identificação da matriz de viagens (distância x modo) da base de dados da pesquisa OD de 2012 da cidade de Belo Horizonte, apresentada na Tabela 3. A divisão modal da cidade apresenta-se equilibrada entre os modos a pé (38,29%); transporte coletivo, o qual inclui ônibus urbanos, metrô, fretados e escolares (29,04%); e transporte individual motorizado, que inclui automóvel como motorista ou carona, motocicleta como motorista ou carona e táxi (21,34%). As bicicletas representam somente 1,06% das viagens totais do município.

**Tabela 3: Matriz de viagens de Belo Horizonte**

| Modo                  | Até 2km | De 2 a 5 km | De 5 a 10 km | Mais de 10 km | Total  |
|-----------------------|---------|-------------|--------------|---------------|--------|
| A pé                  | 31.70%  | 3.07%       | 2.68%        | 0.84%         | 38.29% |
| Bicicleta             | 0.69%   | 0.18%       | 0.13%        | 0.05%         | 1.06%  |
| Transporte coletivo   | 7.50%   | 8.75%       | 9.06%        | 3.74%         | 29.04% |
| Individual motorizado | 10.96%  | 9.02%       | 8.32%        | 3.04%         | 31.34% |
| Outros                | 0.11%   | 0.07%       | 0.06%        | 0.03%         | 0.28%  |
| Total                 | 50,96%  | 21,09%      | 20,25%       | 7,70%         | 100%   |

É possível observar que cerca de 60% das viagens realizadas por automóvel, seja como motorista ou passageiro, ocorrem em viagens de até 5 km. Viagens com essas distâncias poderiam ser realizadas facilmente por modos mais sustentáveis, como a bicicleta convencional. Quanto às viagens de bicicleta convencional 82% delas já são viagens de até 5 km, com somente 13% das demais viagens de 5 a 10 km.

A divisão modal atesta que as bicicletas, em especial as bicicletas elétricas, podem ser um importante substituto a modos mais poluentes, como os individuais motorizados. Considerando essa divisão e o cálculo de emissões por viagens, é possível dizer que a viagem média de Belo Horizonte emite 85,89 g de CO, 16,48 g de NMHC, 24,26 g de Nox, 2,03 g de material particulado, 11,42 kg de CO<sub>2</sub>, 0,749 g de RCHO e 1,90 g de CH<sub>4</sub>. Ressalta-se que a matriz OD e os fatores calibrados para a malha da cidade indicam que existem 11.503.861,26 viagens todos os dias no município.

#### 4.2.2. Identificação da matriz de emissões da base de dados

A Tabela 4 apresenta os totais de poluentes para a cidade de Belo Horizonte separados por distância de transporte. Os valores são diários, visto que contabilizam todas as viagens/dia realizadas no município.

**Tabela 4: Matriz de emissões OD**

| Poluentes (kg/dia) | Até 2km   | De 2 a 5km | De 5 a 10km | Mais de 10km | Total        |
|--------------------|-----------|------------|-------------|--------------|--------------|
| CO                 | 778,81    | 2701,18    | 5.013,39    | 3.577,80     | 12.071,19    |
| NMHC               | 149,51    | 518,39     | 961,98      | 686,35       | 2.316,23     |
| NOx                | 176,05    | 711,23     | 1.411,58    | 1.110,88     | 3.409,74     |
| MP Escapamento     | 1,81      | 7,82       | 15,92       | 12,95        | 38,50        |
| MP Desgaste        | 15,73     | 55,06      | 102,63      | 73,75        | 247,17       |
| CO <sub>2</sub> e  | 96.622,39 | 35.2296,46 | 66.9941,67  | 49.4737,47   | 1.613.597,98 |
| RCHO               | 6,90      | 23,68      | 43,74       | 30,97        | 105,28       |
| Total              | 97.751,20 | 356.313,82 | 677.490,91  | 500.230,17   | 1.631.786,10 |

A maior quantidade de poluentes emitidos é do tipo CO<sub>2</sub> equivalente, seguido por CO. Já a maior emissão está nas viagens entre 5 e 10 km. Os automóveis são os maiores responsáveis pela emissão de CO<sub>2</sub>, com o valor g/km.passageiros três vezes maior que o do transporte coletivo por ônibus. Para o CO o valor é 21 vezes maior. Ainda, apesar de mais da metade das viagens da cidade serem de até 2 km, as longas distâncias percorridas contribuem para que as viagens de 5 a 10 km sejam a maior fonte de emissões. Esse resultado ressalta a importância, sobre o ponto de vista ambiental, do planejamento urbano prever medidas para tornar as cidades mais conectadas e compactas.

#### 4.2.3 Aplicação dos fatores de mudança de modo para obtenção da matriz de emissões com maior participação das bicicletas e das bicicletas elétricas

Nesta etapa, calculou-se qual seria a redução das emissões para uma maior inserção na mudança da bicicleta elétrica na divisão modal da cidade. Nenhum estudo no Brasil e poucos estudos internacionais foram encontrados sobre qual era o modo de transporte previamente utilizando antes da bicicleta elétrica. Para essa análise utilizaremos os resultados de Hendriksen *et al.* (2003)<sup>1</sup> reportado por Weiss *et al.* (2015), em que é estimado o modal utilizado antes da bicicleta elétrica: em 34% dos casos usavam bicicleta convencional, 18% automóvel e 2% transporte coletivo. Esses percentuais foram aplicados para as viagens de até 10 km.

A Tabela 5 apresenta a matriz de emissões simuladas com a inserção da bicicleta elétrica. Os resultados demonstram que, mesmo reduzidos, as maiores emissões seguem sendo de CO<sub>2</sub> equivalente e as viagens que mais emitem são as de 5 a 10 km de extensão.

**Tabela 5: Matriz de emissões com inserção da bicicleta elétrica**

| Poluentes (kg/dia) | Até 2km   | De 2 a 5km | De 5 a 10km | Mais de 10km | Total        |
|--------------------|-----------|------------|-------------|--------------|--------------|
| CO                 | 658,97    | 2295,21    | 4286,85     | 3577,80      | 10818,83     |
| NMHC               | 126,48    | 440,39     | 822,39      | 686,35       | 2075,61      |
| NOx                | 161,57    | 659,36     | 1316,24     | 1110,88      | 3248,06      |
| MP Escapamento     | 1,72      | 7,49       | 15,29       | 12,95        | 37,45        |
| MP Desgaste        | 13,37     | 47,05      | 88,29       | 73,75        | 222,47       |
| CO <sub>2</sub> e  | 83.833,53 | 308.514,36 | 59.1176,44  | 494.737,47   | 1.478.261,81 |
| RCHO               | 5,80      | 19,99      | 37,14       | 30,97        | 93,91        |
| Total              | 84.801,46 | 311.983,85 | 597.742,66  | 500.230,17   | 1.494.758,14 |

#### 4.2.4 Comparação o cenário atual (pesquisa OD) com o cenário com e-bike

Por fim, o valor total de quilograma de poluente emitido por cada modo e cada viagem foram somados, sendo possível encontrar os valores totais de emissões para cada poluente nas duas matrizes. A Tabela 6 apresenta os valores totais para cada matriz e a comparação entre os dois cenários.

<sup>1</sup> Hendriksen, I., Engbers, L., Schrijver, J., van Gijlswijk, R., Weltevreden, J., Wiltink, J., 2008. Elektrisch fietsen – Marktonderzoek en verkenning toekomstmogelijkheden. Report KvL/B&G/2008.067. TNO Kwaliteit van Leven. Leiden, The Netherlands.

**Tabela 6: Comparação entre os dois cenários apresentados**

| Poluente atmosférico (kg/dia) | Total Matriz OD | Total matriz E-bike | $\Delta$ cenários |
|-------------------------------|-----------------|---------------------|-------------------|
| CO                            | 12.071,27       | 10.818,83           | -11,58%           |
| NMHC                          | 2.316,25        | 2.075,61            | -11,59%           |
| NOx                           | 3.409,77        | 3.248,06            | -4,98%            |
| MP Escapamento                | 38,50           | 37,45               | -2,78%            |
| MP Desgaste                   | 247,17          | 222,47              | -11,10%           |
| CO <sub>2</sub>               | 1.613.609,46    | 1.478.261,81        | -9,16%            |
| RCHO                          | 105,28          | 93,91               | -12,11%           |
| Total                         | 1.631.797,71    | 1.494.758,14        | -9,17%            |

É possível notar que para todos os poluentes atmosféricos tradicionalmente avaliados em inventários de emissões, o cenário com a bicicleta elétrica apresenta redução do número total de kg/dia emitidos para a matriz estudada. A redução mais expressiva foi na quantidade de RCHO (12,11%). De forma próxima, CO, material particulado e NMHC têm percentuais de redução maiores que 11%. Já para CO<sub>2</sub> equivalente, a redução é igual a 9,14% e é seguida por redução NO<sub>x</sub> (4,98%). A redução total de emissões é igual a 9,17%.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do elevado nível de urbanização e de motorização de cidades, especialmente de países menos desenvolvidos, é notável o crescimento de impactos socioambientais negativos nos grandes centros urbanos, como poluição e doenças respiratórias (Weinert *et al.*, 2008). Em conformidade com a crescente preocupação com mudanças climáticas que estão ocorrendo no mundo (Dijk *et al.*, 2012), o incentivo à mobilidade por propulsão elétrica se dá pelo desenvolvimento de políticas e metas de proteção de clima, que incluem a propulsão elétrica como fonte de redução de CO<sub>2</sub> e buscam a descarbonização da matriz de transporte.

Os resultados deste estudo permitiram avaliar se o aumento do uso de bicicletas elétricas ocasionaria redução de emissões de poluentes atmosféricos na cidade de Belo Horizonte. Para todos os poluentes atmosféricos avaliados, o cenário com a bicicleta elétrica apresentou redução do número total de kg/dia emitido para a matriz OD estudada. Dos oito poluentes avaliados, cinco apresentaram redução superior a 10%, sendo a redução dos gases de efeito estufa igual a 12%. Ressalta-se que esses valores representam as emissões no uso do transporte, e não no ciclo de vida da energia ou na produção do veículo.

Conclui-se, no entanto, que o Brasil apresenta grandes vantagens em relação a outros países, com barreiras quanto à tecnologia e à legislação já superadas. O mercado de bicicletas elétricas brasileiro utiliza, em grande parte, a tecnologia de baterias a lítio, as quais são menos poluentes do que o chumbo e apresentam grande valor de mercado, permitindo sua reutilização de forma sustentável. Além disso, o país conta com uma legislação bem definida referente aos padrões de uso e classificação de e-bikes, segundo o CONTRAN (2013).

Contudo, as emissões só serão efetivamente reduzidas se políticas de incentivo aos modos ativos como a bicicleta, seja elétrica ou convencional, fizerem parte das agendas dos municípios brasileiros. Para a cidade de Belo Horizonte, os novos ciclistas serão atraídos pelos 1000 km de ciclovia, com previsão de construção até 2030, podendo utilizar e-bikes para vencer longas distâncias ou o terreno acidentado. Espera-se, portanto, que políticas de incentivo ao uso do

modo, especialmente voltadas à migração de modos individuais motorizados, possam tornar a mobilidade das grandes cidades brasileiras mais limpa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, C. E. S. de. (2015) Cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> para os metrôes brasileiros. sob a abordagem operacional: aplicação nos metrôes do rio de janeiro e de são paulo.. 2454–2457.
- ANTP. (2014) Sistema de Informações da Mobilidade Urbana: Relatório Geral 2014. ANTP - Associação Nacional de Transportes Públicos. 96. Obtido de [http://files.antp.org.br/2016/9/3/sistemasinformacao-mobilidade--geral\\_2014.pdf](http://files.antp.org.br/2016/9/3/sistemasinformacao-mobilidade--geral_2014.pdf)
- Brasil. (2014) Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013: Ano-base 2012. Brasília. Obtido de [http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80060/Inventario\\_de\\_Emissoes\\_por\\_Veiculos\\_Rodoviaros\\_2013.pdf](http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80060/Inventario_de_Emissoes_por_Veiculos_Rodoviaros_2013.pdf)
- Buehler, R., Pucher, J., Gerike, R., e Götschi, T. (2016) Reducing car dependence in the heart of Europe: lessons from Germany, Austria, and Switzerland. *Transport Reviews*. 1647(May). 1–25. doi:10.1080/01441647.2016.1177799
- Cairns, S., Behrendt, F., Raffo, D., Beaumont, C., e Kiefer, C. (2017) Electrically-assisted bikes: Potential impacts on travel behaviour. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 103. 327–342. doi:10.1016/j.tra.2017.03.007
- Cherry, C. R., Weinert, J. X., e Xinmiao, Y. (2009) Comparative environmental impacts of electric bikes in China. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 14(5). 281–290. doi:10.1016/j.trd.2008.11.003
- Creutzig, F. et al. *Transport: A roadblock to climate change mitigation?* *Science*, v. 350, n. 6263, p. 911–912, 2015.
- Dijk, M., Orsato, R. J., e Kemp, R. (2013) The emergence of an electric mobility trajectory. *Energy Policy*. 52. 135–145. doi:10.1016/j.enpol.2012.04.024
- Ferreira, S. S., e Barbosa, H. M. (2015) Análise da ocupação veicular para a inserção de beneficiários no transporte coletivo urbano. *Journal of Transport Literature*. 10(2). 40–44. doi:10.1590/2238-1031.jtl.v10n2a8
- Fyhri, A., e Fearnley, N. (2015) Effects of e-bikes on bicycle use and mode share. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 36. 45–52. doi:10.1016/j.trd.2015.02.005
- IEA. (2013) Policy Pathway A policy guide on how to transform cities by improving energy efficiency in urban transport systems. Obtido de [http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Renewed\\_Cities\\_WEB.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Renewed_Cities_WEB.pdf). Acesso em: 15.07.2019
- IEA. (2017) CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion online data service 2017 edition. Obtido de <https://www.iea.org/statistics/relateddatabases/co2emissionsfromfuelcombustion/>
- Instituto de energia e meio ambiente. (2014) Estimativa de redução das emissões atmosféricas resultante da implantação do Plano de Mobilidade Urbana de Belo Horizonte. 2014. Belo Horizonte.
- IPCC. (2014) Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Johnson, M., e Rose, G. (2013) Electric bikes – cycling in the New World City : an investigation of Australian electric bicycle owners and the decision making process for purchase.. (October). 1–10.
- Macarthur, J., e Kobel, N. (2014) Regulations of E-Bikes in North America Regulations of E-Bikes in North America.
- McDonald, Z., Fulton, L., e Mason, J. (2015) A Global High Shift Scenario: The Potential for Dramatically Increasing Bicycle and E-bike Use in Cities Around the World. with Estimated Energy, CO<sub>2</sub>, and Cost Impacts. *International Journal for Sustainable Transportation*. (November). Obtido de [https://www.itdp.org/wp-content/uploads/2015/11/A-Global-High-Shift-Cycling-Scenario\\_Nov-2015.pdf](https://www.itdp.org/wp-content/uploads/2015/11/A-Global-High-Shift-Cycling-Scenario_Nov-2015.pdf)
- SEEG. (2018) Sistema de estimativa de emissões de gases de efeito estufa. Obtido de <http://plataforma.seeg.eco.br/sankey>
- UN Habitat. (2013) Planning and Design for Sustainable Urban Mobility. Planning and Design for Sustainable Urban Mobility: Global Report on Human Settlements 2013. doi:10.4324/9781315857152
- Weinert, J., Ogden, J., Sperling, D., e Burke, A. (2008) The future of electric two-wheelers and electric vehicles in China. *Energy Policy*. 36(7). 2544–2555. doi:10.1016/j.enpol.2008.03.008
- Weiss, M., Dekker, P., Moro, A., Scholz, H., e 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. doi:10.1016/j.trd.2015.09.007
- WHO. (2014) Ambient (outdoor) air quality and health. Fact sheet N°313. Obtido de: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>

---

Shanna Trichês Lucchesi (slucchesi@gmail.com)

Láisa Braga Kappler (laisakappler@hotmail.com)

Magdala Satt Arioli (magdala.arioli@gmail.com)

Departamento de Engenharia de Produção e Transportes, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Av. Osvaldo Aranha DEPROT/PPGEP, 99 – Porto Alegre, RS, Brasil

Marcio de Almeida D’Agosto (dagosto@pet.coppe.ufrj.br)

Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE), Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro

Av. Horácio Macedo, 2030/Bloco H – Rio de Janeiro, Brasil