

Desafios e impactos dos ônibus elétricos para o alcance da mobilidade sustentável: uma revisão sistemática da literatura



Laryssa Curty da Silva

Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Sistemas Produtivos PPDSP,
Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca CEFET RJ, Brasil.
ORCID: 0000-0002-8713-548X

Andrea Justino Ribeiro Mello

Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Sistemas Produtivos PPDSP,
Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca CEFET RJ, Brasil.
ORCID: 0000-0002-4927-960X

Recibido: 25/5/2023. Aceptado: 26/7/2023.

Resumo

Este artigo apresenta os resultados de uma revisão sistemática da literatura sobre o emprego de ônibus elétricos, principalmente no transporte público, como uma das formas de se contribuir com o alcance da mobilidade urbana sustentável. A partir de pesquisa eletrônica nas bases Web of Science, Scopus e SciELO, os resultados *open access* foram sumarizados e apoiaram-se na metodologia PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), seguindo orientações da comunidade científica Cochrane Collaboration. Após a realização de buscas, nas diferentes bases, o material selecionado passou por uma análise individual e comparativa, adotando-se critérios de exclusão e inclusão. Foi possível constatar que a utilização dos ônibus elétricos tem crescido em todo o mundo, por se apresentar como uma forma mais sustentável de garantir a mobilidade urbana, com o uso do transporte motorizado. Apesar de seu potencial de contribuição para a mobilidade urbana sustentável, por ser algo relativamente novo no mercado, ainda precisa de alguns aperfeiçoamentos que permitam uma operação adequada e que atenda às necessidades de transporte e uso de energia das cidades.

PALAVRAS CHAVE: ÔNIBUS ELÉTRICO. MOBILIDADE SUSTENTÁVEL. CIDADES.

Challenges and Impacts of Electric Buses for Achieving Sustainable Mobility: A Systematic Literature Review

Abstract

This article presents the results of a systematic review of the literature on the use of electric buses, mainly in public transport, as one of the ways to contribute to the achievement of sustainable urban mobility. From electronic research on the Web of Science, Scopus and SciELO databases, the open access results were summarized and supported

Desafios e impactos dos ônibus elétricos para...
L. CURTY DA SILVA Y A. JUSTINO RIBEIRO MELLO

by the PRISMA methodology (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), following guidelines from the Cochrane Collaboration scientific community. After conducting searches in the different databases, the selected material underwent an individual and comparative analysis, adopting exclusion and inclusion criteria. It was possible to verify that the use of electric buses has grown worldwide, as it presents itself as a more sustainable way to guarantee urban mobility, with the use of motorized transport. Despite its potential to contribute to sustainable urban mobility, as it is relatively new to the market, it still needs some improvements that allow an adequate operation and that meets the transport needs and energy use of cities.

KEY WORDS: ELECTRIC BUSES. SUSTAINABLE MOBILITY. CITIES.

Introdução

O aumento da densidade populacional e a rápida urbanização são grandes fatores geradores de impactos nas áreas urbanas (Biscalchim e Barreira, 2020), os quais podem ser facilmente percebidos no setor de transporte, que é essencial no processo de desenvolvimento econômico de uma região (Law *et al.*, 2022; Potkany, Hlatka, Debnar e Hanzl, 2018; Potkány, Hitka e Krajčirová, 2017; Hitka, Vetráková, Balážová, e Danihelová, 2015). Um sistema altamente dependente dos veículos motorizados individuais acarreta uma série de impactos à sociedade nas diversas dimensões da sustentabilidade. Esse predomínio do emprego de veículos movidos à combustão interna, por serem em sua grande maioria, automóveis de uso particular, causa problemas de tráfego, afeta a qualidade do ar nos centros urbanos, resulta na diminuição da velocidade das viagens realizadas e gera impactos negativos ao meio ambiente e na qualidade de vida do cidadão (Kazemzadeh *et al.*, 2022; Hamurcu e Eren, 2020; Guerra, Dutra, Schwinden e Andrade, 2014).

O desafio de promover o desenvolvimento sustentável apresenta-se, dessa maneira, para além do conceito abordado no Relatório de Brundtland de manutenção das necessidades do presente para que não haja escassez para as gerações futuras. Torna-se necessário não só coordenar as dimensões ambiental, econômica e social de forma não destrutiva e eficiente, mas também considerar as demandas em cada momento e local, e ainda de que forma elas podem ser relacionadas (Redclift, 2005; Schmidt e Guerra, 2018). Dessa maneira, a partir do entendimento de que a demanda global por serviços de transporte tem crescido e que os modos tradicionais de organização desse sistema geram efeitos perversos, percebe-se que a busca pela promoção da mobilidade sustentável, passa, necessariamente, por soluções mais inovadoras (Tribioli, 2017).

Este contexto apresenta a lacuna onde o presente trabalho se insere, e evidencia a importância do fomento a alternativas de transporte que possibilitem a melhor aderência ao desenvolvimento sustentável. Assim sendo, tornando-se fundamental entender que esta situação não pode ser resolvida apenas com enfoque em infraestrutura, como apontado em Hamurcu e Eren (2020) e Silva e Uhlma (2021). É preciso pensar na reorganização interna do sistema de transporte e apostar no potencial inovador do mercado. As preocupações tornam-se ainda maiores no que tange à dimensão ambiental, que é uma questão regular no setor de transporte, e o foco do presente trabalho.

A pressão por proteção ao meio ambiente atrelada ao conceito de desenvolvimento sustentável (Maes *et al.*, 2019; Suo *et al.*, 2020; Kirby, 2020) se reflete nos transportes e

Desafios e impactos dos ônibus elétricos para...
L. CURTY DA SILVA Y A. JUSTINO RIBEIRO MELLO

sinaliza a importância da adequação do setor à um sistema de transporte público seguro e sustentável (Brdulak *et al.*, 2020; Mello *et al.*, 2020). Dessa forma, os ônibus elétricos ou *electric buses* (EBs) têm se apresentado como um meio para o alcance de resultados positivos não só ao meio ambiente, como para a qualidade de vida da população e a implantação frotas de emissão zero tem se tornado uma prioridade em muitos centros urbanos no mundo, especialmente pelo potencial dos veículos verdes de contribuírem com a redução da poluição do ar. Vários estudos (Grijalva e López Martínez, 2019; Zhou, Xie, Zhao & Lu, 2020; Potkany *et al.*, 2018; Hamurcu *et al.* 2020) vem apresentando vantagens desse tipo de veículo quando comparado aos de combustão interna ou *fuelled buses* (FBs), e dentre elas estão a baixa emissão de ruídos, o elevado desempenho global e, principalmente, a não-dependência de combustíveis fósseis.

Assim, o debate em torno da eletromobilidade vem se ampliando e se tornando mais frequente, como apontam Souza e Dantas (2020). Embora a aquisição de carros ecológicos ou EBs apresentem potencial contribuição para a causa ambiental (Grijalva e López Martínez, 2019; Zhou *et al.*, 2020; Potkany *et al.*, 2018; Brdulak *et al.*, 2020; Logan *et al.*, 2020; Hamurcu e Eren, 2020; Borén, 2020; Bezruchonak, 2019; Shelt e Sarkar, 2019; Arif *et al.*, 2020; Todorut *et al.*, 2020; Gong *et al.*, 2020; Dalala *et al.*, 2020; Topal e Nakir, 2018; Munin e Noor, 2020), ainda há desafios a serem superados, como os custos de aquisição e de operação, os intervalos de condução limitados e a longa duração das recargas (Grijalva e López Martínez, 2019; Brdulak *et al.*, 2020; Borén, 2020; Gong *et al.*, 2020; Amirhosseini e Hosseini, 2018; Langbroek, 2019). Este artigo apresenta os resultados de uma revisão sistemática da literatura sobre o emprego de ônibus elétricos, principalmente no transporte público, como uma das formas de se contribuir com o alcance da mobilidade urbana sustentável.

A estruturação proposta nesta revisão sistemática envolve, inicialmente, o detalhamento da metodologia empregada – com a classificação do estudo, a pergunta norteadora do processo de busca, as bases de dados utilizadas e a estratégia de busca, os critérios de inclusão e exclusão de artigos, a elegibilidade e a inclusão – e a apresentação dos resultados da pesquisa e sua discussão – contextualização e desdobramentos, caracterização dos *EBS* e problemas a serem superados; e, por fim, as conclusões da pesquisa.

Metodologia

Tipo de estudo

O estudo aqui apresentado consiste em uma revisão sistemática da literatura e, como tal, revela conhecimentos extraídos a partir de dados coletados de uma fonte (Macedo *et al.*, 2022; Duarte *et al.*, 2021; Lima Junior *et al.*, 2021). Tendo-se como referência uma pergunta norteadora, que fornece as delimitações e objetivos a serem considerados na análise da literatura existente sobre o tema, um conjunto de artigos é identificado e a partir de critérios claros de elegibilidade, há a seleção das publicações a serem utilizadas nas análises propostas.

Sendo assim, este tipo de pesquisa apresenta as seguintes etapas: 1) elaboração da pergunta norteadora; 2) seleção das fontes para consulta (etapa de identificação); 3) definição de critérios para inclusão e exclusão de dados (seleção); 4) avaliação dos dados

levantados e a seleção final (elegibilidade e inclusão); 5) consolidação dos resultados; 6) discussão e 7) considerações finais.

Pergunta norteadora, estratégias de busca e bases de dados

A definição da pergunta norteadora é uma etapa fundamental, pois permite delimitar o objetivo da revisão e por consequência, otimizar o processo de busca. Assim, focalizando-se nos resultados que o uso de ônibus elétricos pode gerar no setor de transporte, considerando seus impactos ambientais em comparação aos meios de transporte públicos movidos à combustão interna, a pergunta norteadora foi a seguinte: “Qual o impacto do uso de ônibus elétricos para o alcance da mobilidade sustentável?”

A partir desse questionamento, identifica-se um grupo de palavras-chave – “electric bus” and “sustainable bus” or “sustainable mobility” not “electric buzz” – para a realização do processo de buscas nas bases de dados selecionadas. Cabe ressaltar, que esta última expressão foi delimitada através do *not* no uso dos filtros avançados de busca por apresentar palavras com escrita muito próxima ao termo principal da pesquisa, porém com significado irrelevante para a proposta aqui desenvolvida.

As bases de dados selecionadas para consulta foram a *Web of Science*, a *Scientific Electronic Library Online (Scielo)* e a *Scopus*. O acesso ao CAFE (Comunidade Acadêmica Federada), um serviço provido pela Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP) do Brasil, foi o caminho que viabilizou a realização das buscas nas bases selecionadas. Nestas bases foram inseridas as palavras-chave mencionadas para buscas nos resumos, palavras-chave e títulos dos trabalhos. Assim, pôde-se obter o quantitativo de trabalhos apresentado na Figura 1, dividido por base. Finalizando-se a etapa de Identificação.

Seleção: critérios de inclusão/exclusão dos artigos

Após a primeira busca realizada conforme descrito no item anterior, foram empregados os filtros disponíveis nas bases para aperfeiçoamento e delimitação do processo. As seguintes características foram consideradas para a inclusão (em caso de trabalhos que atendessem às mesmas) e para a exclusão (em caso de não-atendimento dos pré-requisitos estabelecidos):

- Período: Somente trabalhos publicados entre os anos de 2018 e 2020;
- Tipo: Somente artigos científicos;
- Acesso: Somente trabalhos com acesso livre e gratuito ao conteúdo;
- Idioma: Somente trabalhos escritos em Inglês ou em Português;
- Singularidade: Somente trabalhos não duplicados;
- Tema: Somente trabalhos que apresentassem o termo principal da busca “bus”, ou suas variações em seu resumo.

O levantamento dos dados bibliográficos foi realizado em abril de 2021, e por isso considerou-se o período de 3 anos completos (2018, 2019 e 2020) como delimitação temporal da pesquisa, para contemplar os recentes debates acerca do tema no material coletado para o desenvolvimento da presente revisão sistemática. Quanto ao tipo, buscou-se explorar trabalhos no formato de artigo científico, por se adequarem melhor

Desafios e impactos dos ônibus elétricos para...
L. CURTY DA SILVA Y A. JUSTINO RIBEIRO MELLO

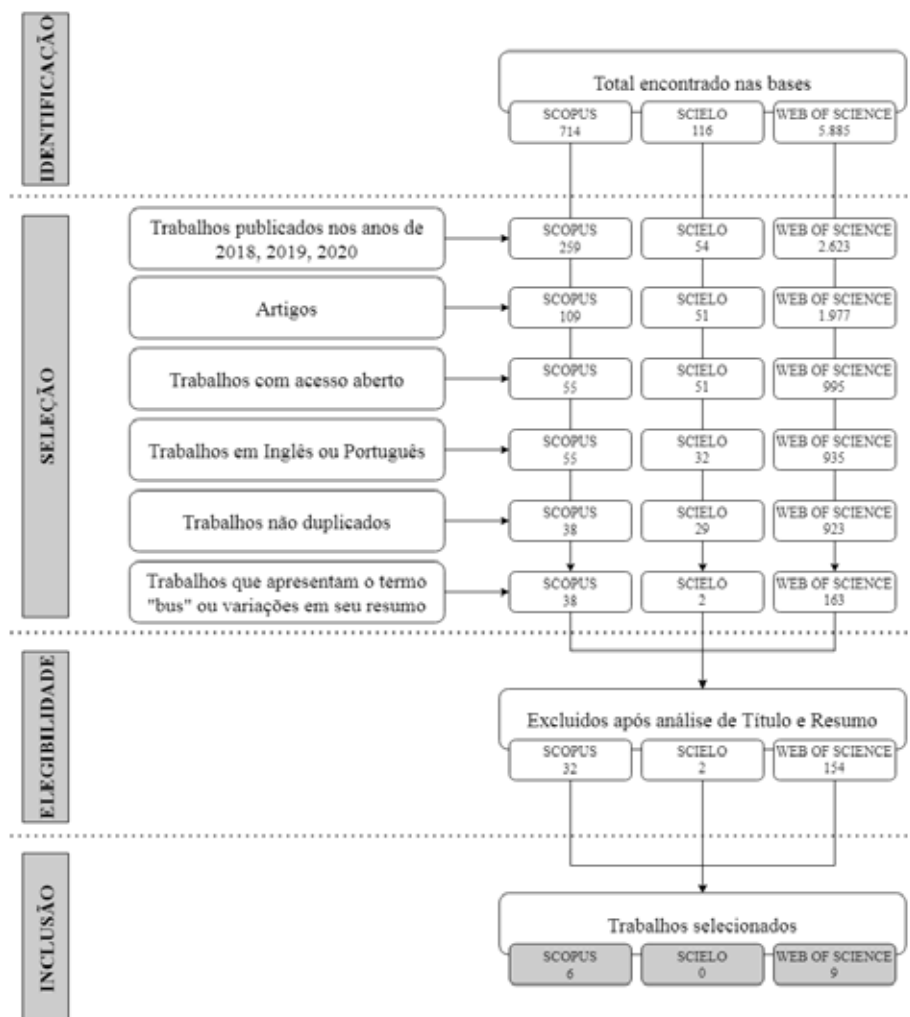


Figura 1. Estrutura de análise e seleção. Fonte: Elaboração própria.

à proposta de pesquisa e por apresentarem em seu corpo textual os itens a serem analisados, como: Título, Resumo, Revisão de Literatura, Resultados, entre outros.

Para acesso, buscou-se o de tipo livre para possibilitar as análises de conteúdo necessárias para o desenvolvimento do trabalho. Os idiomas selecionados foram Português e Inglês, uma vez que um é o idioma utilizado pelos autores e o outro é o mais empregado em debates acerca do tema. E por fim, as buscas foram refinadas para que não houvessem trabalhos repetidos ou com temas que não contivessem em seu resumo o termo principal do tema proposto: "bus" e/ou variações.

A aplicação dos filtros com os critérios determinados na etapa de Seleção resultou na distribuição dos artigos por base da seguinte forma: 38 artigos na Scopus, 2 artigos na Scielo e 163 artigos na Web of Science, conforme demonstra a Figura 1. Passando-se assim para a etapa de Elegibilidade, e posteriormente a de Inclusão.

Desafios e impactos dos ônibus elétricos para...
L. CURTY DA SILVA Y A. JUSTINO RIBEIRO MELLO

Elegibilidade e inclusão: procedimentos de revisão e seleção

Com base nos critérios de inclusão e exclusão apresentados, o resultado desta busca resultou em um amplo grupo de artigos, que tiveram seus dados exportados para um programa, visando facilitar sua síntese e análise crítica. Os dados exportados para cada artigo pesquisado foram: Resumo, Título, Ano de publicação, Autores, Base, Idioma, Palavras-chave e DOI.

A partir desse material pôde-se analisar o conteúdo dos artigos, principalmente no que apresentavam em seu Resumo e Título, buscando os que fossem mais aderentes à proposta de pesquisa evidenciada na pergunta norteadora. Ou seja, delimitou-se a pesquisa a partir de artigos que abordassem a utilização de ônibus elétricos como tema principal, e que por consequência, apresentassem o tema em seu Título e Resumo. Ao término desta etapa 15 artigos foram selecionados, e a análise crítica e individual de cada um será apresentada nos tópicos subsequentes.

Descrição dos resultados

A busca realizada nas bases apontadas, através das palavras-chave definidas, resultou em 6.715 trabalhos, divididos por base conforme apresentado na Figura 1. Ao todo, estes trabalhos passaram por de seis filtros – referentes ao período de publicação, ao tipo, à modalidade de acesso, ao idioma utilizado na escrita, à singularidade e o tema –, através dos quais, 6.512 foram excluídos.

Dos 203 trabalhos restantes, 15 foram selecionados após análises de conteúdo e proximidade com o tema proposto nesta pesquisa. E são estes quinze artigos que compõem o *corpus* desta revisão sistemática. Nesta etapa foram observados ao longo de cada artigo as conceituações desenvolvidas na revisão de literatura, as abordagens realizadas na metodologia e as argumentações e resultados gerados a partir da aplicação do método sob os dados manipulados. Dessa forma, foi possível propor as discussões do item seguinte.

Expostas no Quadro 1 estão as informações básicas sobre os trabalhos selecionados, como nome dos autores e título dos mesmos. No que diz respeito aos dados geográficos, realizou-se o levantamento da origem dos mesmos e/ou local de aplicação da pesquisa, onde os países originários e o número de artigos oriundos de cada país aparecem em colunas respectivamente.

A partir deste quadro é possível observar que não há fortes concentrações de textos originários de poucos países e sim uma distribuição entre muitos países de origem. Em contrapartida, nota-se uma forte predominância de textos provenientes de países do continente europeu, sendo um total de 10 trabalhos em 15, ou seja, quase 67% do total. É interessante observar que, apesar da concentração de artigos oriundos e/ou aplicados a estudos de casos europeus e o notório interesse do continente nesta temática, as maiores reservas de lítio, principal matéria prima utilizada na produção das baterias responsáveis pelo funcionamento dos EBs, encontram-se localizadas em países da América do Sul - Argentina, Bolívia e Chile -, (Fornillo e Gamba, 2019) que desempenham papel de fornecedores de insumo ao passo que outros continentes se destacam na efetiva eletrificação dos meios de transporte.

Desafios e impactos dos ônibus elétricos para...
L. CURTY DA SILVA Y A. JUSTINO RIBEIRO MELLO

Quadro 1. Características das referências utilizadas. Fonte: Elaboração própria.

Ref	Artigos	Título	Origem
[1]	Grijalva, E.R., López Martínez, J.M. (2019)	Analysis of the Reduction of CO2 Emissions in Urban Environments by Replacing conventional City Buses by Electric Bus Fleets: Spain Case Study	Espanha
[2]	Zhou, G. J.; Xie, D. F.; Zhao, X. M.; Lu, C. (2020)	Collaborative Optimization of Vehicle and Charging Scheduling for a Bus Fleet Mixed with Electric and Traditional Buses	China
[3]	Potkany, M.; Hlatka, M.; Debnar, M.; Hanzl, J. (2018)	Comparison of the Lifecycle Cost Structure of Electric and Diesel Buses	Eslováquia
[4]	Brdulak, A., Chaberek, G., Jagodzinski, J. (2020)	Development Forecasts for the Zero-Emission BusFleet in Servicing Public Transport in Chosen EU Member Countries	Polônia
[5]	Logan, K. G.; Nelson, J.D.; Hastings, A. (2020)	Electric and hydrogen buses: Shifting from conventionally fuelled cars in the UK	Inglaterra
[6]	Hamurcu, M.; Eren, T. (2020)	Electric Bus Selection with Multicriteria Decision Analysis for Green Transportation	Turquia
[7]	Borén, S. (2019)	Electric buses' sustainability effects, noise, energy use, and costs	Suécia
[8]	Bezruchonak, A. (2019)	Geographic Features of Zero Emissions Urban Mobility: The Case of Electric Buses in Europe and Belarus	Bielorrússia
[9]	Sheth, A.; Sarkar, D. (2019)	Life cycle cost analysis for electric vs diesel bus transit in an indian scenario	Índia
[10]	Arif, S.M., Lie, T.T., Seet, B.C., Ahsan, S.M., Khan, H.A. (2020)	Plugin electric bus depot charging with PV and ESS and their impact on LV feeder	Nova Zelândia
[11]	Todorut, A.; Cordos, N.; Iclodean, C. (2020)	Replacing Diesel Buses with Electric Buses for Sustainable Public Transportation and Reduction of CO2 Emissions	Romênia
[12]	Gong, J., He, J., Cheng, C., King, M., Yan, X., He, Z., Zhang, H. (2020)	Road testbased electric bus selection: A case study of the Nanjing bus company	China
[13]	Dalala, Z.; Banna, A. O.; Saadeh, O. (2020)	The Feasibility and Environmental Impact of Sustainable Public Transportation: A PV Supplied Electric Bus Network	Jordânia
[14]	Topal, O.; Nakir, I. (2018)	Total Cost of Ownership Based Economic Analysis of Diesel, CNG and Electric Bus Concepts for the Public Transport in Istanbul City	Turquia
[15]	Munim, Z. H.; Noor, T. (2020)	Young people's perceived service quality and environmental performance of hybrid electric bus service	Noruega

Os artigos selecionados foram estudados através de leitura integral e da análise de seus objetivos e resultados e a síntese destes está descrita no Quadro 2. A partir da elaboração desta síntese tornou-se possível a identificação de ideias-chave relacionadas ao tema, bem como a compreensão de diferentes abordagens e seus resultados.

Buscou-se realizar também a análise de palavras-chave dos textos selecionados. Ao todo foram utilizadas 61 expressões, empregadas pelos autores como termos totalmente relacionados ao conteúdo dos artigos estudados. Destes, 56 apareceram apenas uma vez em um dos artigos (75,7% do total), e outros cinco tiveram maior número de ocorrências, sendo elas repetidas em mais de um artigo (24,3% do total). A Figura 2 apresenta os

Desafios e impactos dos ônibus elétricos para...
L. CURTY DA SILVA Y A. JUSTINO RIBEIRO MELLO

Quadro 2. Descrição dos objetivos e resultados dos artigos analisados. Fonte: Elaboração própria.

Ref	Objetivo	Resultados
[1]	Avaliar os efeitos ambientais positivos em termos de emissões de CO ₂ que seriam produzidos pela substituição das frotas de ônibus do transporte urbano convencional por ônibus elétricos em Madrid.	A análise mostra que, substituindo gradualmente a frota atual por ônibus elétricos ao longo de 10 anos (2020 a 2030), as emissões de CO ₂ seriam reduzidas em até 92,6% em comparação com os níveis de 2018.
[2]	Desenvolver um modelo de programação para otimizar colaborativamente a programação de veículos e do carregamento da frota de ônibus mistos.	O modelo de programação desenvolvido foi testado através do estudo de caso de frota de ônibus mista em Pequim, e os resultados validam o modelo e o algoritmo propostos.
[3]	Utilizar a análise de custo do ciclo de vida para quantificar o apoio à aquisição de ônibus elétricos em vez de ônibus a diesel no que diz respeito à diferente estrutura de custos de cada um.	A análise do ciclo de vida dos meios de transporte selecionados demonstrou que os custos totais de um ônibus elétrico com vida útil de 10 anos são 691.073€ e 559.256€ para a versão diesel.
[4]	Simular o número de ônibus com emissão zero (ZEB) em países membros da União Europeia (UE) em dois horizontes de tempo: 2025 e 2030, e prever o número de veículos limpos em horizontes de tempo maiores, incluindo antes e depois de 2050.	As análises demonstram que, em 2050, apenas quatro dos membros da UE serão capazes de atingir o nível de 95% de proporção de ônibus limpos nas frotas de transporte da cidade. Outros países não adivem alcançar isso mesmo em 2050
[5]	Realizar comparação entre emissões de dióxido de carbono (CO ₂) produzidas por ônibus convencionais (CFVs), EBs e HBs entre 2017 e as emissões por pessoa em diferentes níveis de capacidade do veículo (100%, 75%, 50% e 25%).	Os resultados indicaram que os CFVs produzirão 13,7 gCO ₂ km ⁻¹ por pessoa a mais em comparação aos CFBs até 2050. A 100% da capacidade, as emissões de CFVs serão 36 vezes maiores do que EBs, 9 vezes maiores do que HBs e 12 vezes maiores do que EVs em 2050.
[6]	Analisar o a seleção de ônibus elétrico em Ancara através da tomada de Decisão Multicritério (MCDM), usando o processo de hierarquia analítica (AHP) e técnica para preferência de pedido por Similarity to Ideal Solution (TOPSIS).	No geral, o modelo EV-2 superou outras alternativas de ônibus elétricos com base nos critérios escolhidos.
[7]	Investigar os efeitos da sustentabilidade, ruído, uso de energia e custos de ônibus elétricos durante um ano quando usados no transporte público, em cidades da Suécia.	Houve uma economia significativa nos custos sociais e no custo total de propriedade dos EBs quando comparado aos ônibus movidos a diesel e biogás.
[8]	Analisar os fenômenos emergentes da implantação de ônibus elétricos na Europa e Bielo-Rússia a partir do conceito de mobilidade urbana elétrica e sustentável.	O UK e a Holanda são os líderes regionais em quantidade de ônibus em operação, enquanto Alemanha, Suécia, e a Polônia possuem mais cidades testando os EBs. Os principais fatores que sustentam a presença dos EBs são estruturas legislativas e regulamentares, além do planejamento estratégico claro e cooperação entre administrações locais e autoridades de transporte.
[9]	Analisar a viabilidade do uso de transporte público elétrico e calcular o custo do ciclo de vida (LCC) da aquisição e operação de ônibus elétricos em oposição a diesel baseado em uma unidade funcional de um ônibus dirigido 100 km por dia.	A pesquisa indica que o custo total de propriedade (TCO) de um ônibus elétrico (EB), calculado ao longo de um ciclo de vida de 25 anos, é de 5 a 10% menor em comparação com um ônibus a diesel (FB).
[10]	Maximizar, através de uma programação linear inteira mista (MILP), o lucro diário do operador de depósito de ônibus (BDO) considerando a relação entre transporte e rede elétrica.	Verificou-se que o algoritmo coordenado com cobrança ilimitada apenas maximiza o lucro diário do BDO, enquanto o algoritmo coordenado com cobrança limitada maximiza o lucro diário e minimiza o impacto no alimentador LV.
[11]	Analisar os benefícios da substituição de FBs por EBs na frota da Companhia de Transporte Público (CTP) de Cluj-Napoca, através da investigação da quantidade de emissões de CO ₂ removido do tráfego da cidade.	A substituição do ônibus a diesel por elétrico gerou efeito imediato na eliminação de emissões nas áreas de circulação de Cluj-Napoca. Além disso, a emissão de CO ₂ gerado pela produção de energia elétrica consumida por ônibus elétricos 2,605 vezes inferior ao gerado pelos ônibus a diesel.

Desafios e impactos dos ônibus elétricos para...
L. CURTY DA SILVA Y A. JUSTINO RIBEIRO MELLO

Ref	Objetivo	Resultados
[12]	Descrever e analisar o método de seleção de ônibus desenvolvido pela Nanjing Bus Company com base em testes de estrada, através de um estudo de caso sobre a aplicação do método.	Concluiu-se que o método projetado e conduzido pelo Nanjing Bus Company oferece uma boa estrutura para a seleção de ônibus elétricos puros, e a experiência com ônibus selecionado apóia a validade e o valor do modelo.
[13]	Analisar o projeto Bus Rapid Transit of Amman (Amman BRT) através do estudo de caso e propor medidas de melhoria como a substituição de FBs por EBs, a instalação de sistemas fotovoltaicos sobre o estacionamento e nas vias de ônibus, além de usar LED para iluminação de rua.	O estudo de viabilidade mostrou que apenas 7,1 anos seriam necessários para pagar o investimento incremental ao longo da transformação proposta, haveria redução em 27.203,68 toneladas de CO2 emitidos por ano e um custo total de propriedade (TCO) 32% menor.
[14]	Realizar análise econômica com base em um estudo de caso da Istanbul Electricity, Tramway e Tunnel General Management (IETT), buscando adequação do ônibus elétrico em Istanbul.	Os resultados mostram que o emprego de EBs com estação de recarga auxilia no alcance da sustentabilidade e de metas de emissão zero.
[15]	Estudar a percepção de pessoas jovens sobre os ônibus elétricos híbridos (HEBs), incorporando o desempenho ambiental na avaliação da qualidade do serviço de ônibus.	Descobriu-se que as características tangíveis de HEBs, a empatia dos provedores de serviços de ônibus e o desempenho ambiental têm uma associação positiva com a satisfação do cliente e a satisfação do cliente está positivamente associada à satisfação dos jovens com a vida.

cinco termos com maior número de ocorrências e seu percentual em relação ao total de palavras-chave utilizadas.

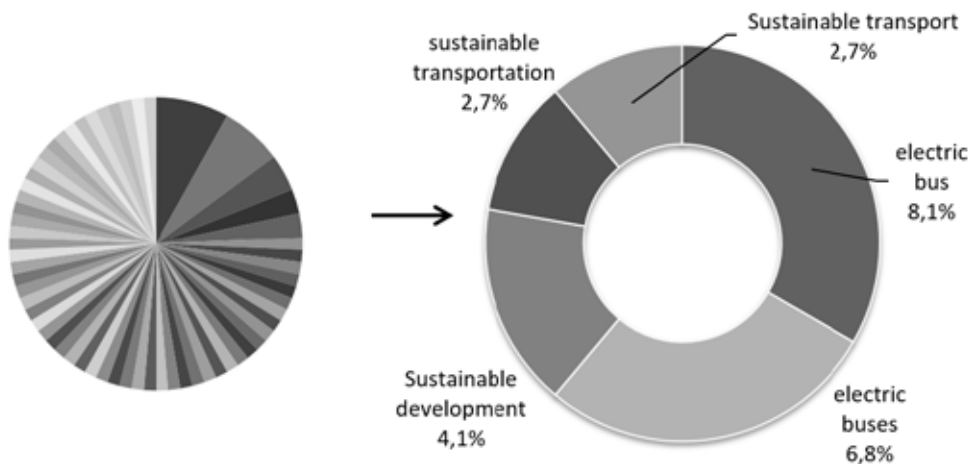


Figura 2. Análise de palavras-chave utilizadas. Fonte: Elaboração própria.

Em relação ao conteúdo investigado, intentou-se reunir as ideias-chave apresentadas de forma a elucidar o entendimento dos pontos centrais da literatura existente em relação ao tema proposto na pesquisa. No decorrer da leitura integral realizada para cada texto, foi possível observar ideias consonantes entre si e extrair afirmativas que são corroboradas em ao menos 9 dos 15 artigos selecionados. Para tal, o Quadro 3 foi estruturado, evidenciando as afirmativas recorrentes encontradas nos textos analisados e os artigos onde as mesmas podem ser localizadas.

Desafios e impactos dos ônibus elétricos para...
L. CURTY DA SILVA Y A. JUSTINO RIBEIRO MELLO

Quadro 3. Convergências entre os textos analisados. Fonte: Elaboração própria.

Afirmativas recorrentes	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]	[15]
O emprego de EBs em substituição aos FBs implica na diminuição dos impactos ambientais gerados pelo transporte.	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
O setor de transporte é visto como grande fator de impacto para o aquecimento global.	x		x	x		x		x	x	x			x	x	x
Os principais problemas relativos ao emprego de EBs são seu alto custo de compra e manutenção e a necessidade de recargas constantes de bateria.	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x			
A análise dos ganhos ambientais do uso de EBs em comparação a FBs envolve considerar os impactos da produção da energia empregada nos mesmos.	x			x			x	x		x	x	x	x	x	

A partir das afirmativas extraídas dos textos, pode-se observar que há convergência quanto a importância do emprego de EBs para o alcance de uma mobilidade urbana mais adequada ambientalmente, evidenciando-se o grande papel do setor de transportes, ainda que não se possa perder de vista a análise sobre os impactos gerados para a obtenção e manutenção das baterias utilizadas no funcionamento deste tipo de transporte de massa. Também é notória a preocupação dos autores quanto aos problemas que precisam ser enfrentados para a correta implementação do ônibus elétrico como alternativa sustentável quando comparada ao emprego de ônibus movidos à combustão. Findo o entendimento do cenário exposto, a pesquisa foi direcionada à confrontação de ideias e elucidações abordadas nos trabalhos selecionados. Dessa forma foi possível construir a discussão proposta a seguir.

Discussão

Contextualização e desdobramentos

Conforme evidenciado por Salem, Almuzaini e Kishawi (2017), aproximadamente 3,7 milhões de pessoas, a cada bilhão, morrem de forma prematura, anualmente, devido à poluição atmosférica. Além disso, doenças pulmonares, cognitivas e cardiovasculares podem ser agravadas pelas emissões de gases poluentes na atmosfera. Dado este contexto, a implementação de sistemas ecologicamente corretos e o uso de energia renovável são indispensáveis para sustentar a manutenção do planeta e do meio ambiente (Todorut, Cordos e Iclodean, 2020).

O crescimento populacional e a elevação das taxas de urbanização tornaram a adoção da mobilidade sustentável inerente ao processo de planejamento urbano (Montero, 2017), onde os sistemas de transporte se apresentam como um dos principais setores que impactam o meio ambiente e o aquecimento global (Arif *et al.*, 2020; Bezruchonak, 2019; Brdulak, 2020; Dalala, Banna e Saadeh, 2020; Grijalva e López Martínez, 2019;

Desafios e impactos dos ônibus elétricos para...
L. CURTY DA SILVA Y A. JUSTINO RIBEIRO MELLO

Hamurcu e Eren, 2020; Munim e Noor, 2020; Potkany *et al.*, 2018; Sheth e Sarkar, 2019; Topal e Nakir, 2018), além de esgotar as reservas de combustíveis tradicionais (Todorut *et al.*, 2020). Dentro do setor de transporte pode-se destacar o transporte público, por representar um elemento essencial da vida urbana, capaz de reduzir o tráfego de automóveis e em consequência, as emissões de poluentes, além de promover a mobilidade e de ser um dos principais indicadores relacionados ao desenvolvimento econômico de determinada região (Hamurcu e Eren, 2020).

Neste ponto, os ônibus desempenham papel fundamental, apresentando custos baixos, flexibilidade e em muitos casos, superioridade em termos de velocidade e capacidade, se comparados aos demais meios de transporte coletivos. Portanto, o ônibus continua sendo uma solução adequada do ponto de vista social, econômico e ambiental no que diz respeito ao desenvolvimento urbano sustentável. O emprego de ônibus movidos a fontes não renováveis de energia, principalmente a gasolina e o óleo diesel, é o fator crucial que carece de adaptação quanto ao alcance da mobilidade sustentável. Dessa forma, como exposto por Grijalva e López Martínez (2019), é fundamental que fontes e métodos alternativos se consolidem para que contribuam com a redução da demanda por recursos não renováveis e danosos.

Uma alternativa aos modelos movidos à combustão são os ônibus movidos à eletricidade. Segundo dados apresentados no relatório Bloomberg New Energy Finance (Alternatywnyc e Miejskiej, 2019), o número de ônibus com acionamento elétrico (EBs) aumentará de 386.000 unidades em 2017 para cerca de 1,2 milhões em 2025, sendo este tipo de ônibus 47% da frota global empregada (Blomberg New Energy Outlook, 2019). Os ônibus elétricos não produzem emissões diretas e são relativamente fáceis de serem adaptados à estrutura de transporte já existente (Bezruchonak, 2019), e além de serem ambientalmente corretos, apresentam características amigáveis ao usuário, como piso baixo, portas de carregamento USB e vigilância CCTV. Outros benefícios dos EBs estão relacionados à diminuição da poluição sonora nas cidades. Os ruídos emitidos pelo tráfego geram impactos econômicos relativos à diminuição dos preços de habitação, além dos efeitos negativos para a saúde e aumento dos custos sociais (Bångman, 2016).

Os resultados obtidos a partir do estudo realizado por Logan, Nelson e Hastings (2020) indicaram que o nível de emissões de dióxido de carbono (CO²) produzidas por ônibus movidos à combustíveis fósseis (CFBs), ônibus híbridos (HBs) e ônibus elétricos (EBs) são muito mais baixos por pessoa se comparados ao nível de emissão dos veículos elétricos (EVs) e aos movidos à combustão (CFVs), sendo os ônibus elétricos os que apresentam menor nível de emissão dentre os três tipos estudados. No que diz respeito à redução dos impactos ambientais gerados pelo transporte através da substituição de FBs por EBs, há consonância entre todos os artigos analisados (Arif *et al.*, 2020; Bezruchonak, 2019; Borén, 2020; Brdulak *et al.*, 2020; Dalala *et al.*, 2020; Gong *et al.*, 2020; Grijalva e López Martínez, 2019; Hamurcu e Eren, 2020; Logan *et al.*, 2020; Munim e Noor, 2020; Potkany *et al.*, 2018; Shelt e Sarkar, 2019; Todorut *et al.*, 2020; Topal e Nakir, 2018; Zhou *et al.*, 2020).

Desafios e impactos dos ônibus elétricos para...
L. CURTY DA SILVA Y A. JUSTINO RIBEIRO MELLO

Caracterização dos EBS e problemas a serem superados

Os ônibus elétricos (EBs) têm seu motor movido a baterias, que são recarregadas através da rede elétrica pública, com zero emissões locais de poluentes. O carregamento da bateria é realizado em estações, normalmente localizadas nas extremidades das linhas onde circulam os ônibus (Todorut *et al.*, 2020) e pode ocorrer de acordo com duas configurações distintas. A primeira consiste em equipar o veículo com bateria de baixa capacidade e alta potência, permitindo que o carregamento se dê de forma mais veloz, porém as viagens mais longas são inviabilizadas por demandar um maior número de recargas e uma extensa rede de infraestrutura, que pode resultar em custos elevados. A segunda configuração, que é analisada por Grijalva e López Martínez (2019), envolve equipar o ônibus com uma bateria de alta capacidade, que permite viagens longas e poucas paradas para carregamento.

Segundo o estudo realizado por Todurot *et al.* (2020), na cidade de Cluj-Napoca (Romênia), existem dois tipos de estações de carregamento: as de carregamento lento (geralmente utilizadas à noite), onde as baterias carregam 100% de sua capacidade em períodos de 4 a 6 horas; e as estações de carregamento rápido, onde as baterias podem ser recarregadas com muita energia em um curto período de tempo (aproximadamente 10 minutos), estendendo a autonomia da bateria nos intervalos entre as corridas.

Neste caso apresentado, a energia necessária para o funcionamento do sistema de transporte é proveniente de diferentes fontes (renováveis e poluentes) em diferentes proporções, dependendo de diversos fatores. A combinação entre as características da bateria utilizada e a disposição de fontes de energia suficientes consistem em um dos problemas a serem enfrentados para a implementação do ônibus elétrico no setor de transporte e impactam diretamente os custos totais da operação.

A limitação da autonomia dos EBs devido à necessidade de recarga da bateria implica no emprego de uma maior quantidade de veículos para atender a demanda de transporte quando comparado aos ônibus movidos à combustão (FBs). Os FBs são capazes de funcionar sem reabastecimento ao longo de um dia inteiro, enquanto os EBs carecem de recargas após cerca de 200-250 km (Brdulak *et al.*, 2020). Esta situação afeta diretamente o planejamento dos percursos realizados pelos ônibus. Além desta questão, a rede elétrica utilizada para recarga das baterias pode enfrentar estresses se usada sem coordenação, de forma que a programação de carga ideal de veículos elétricos (EVs) tornou-se um passo essencial para a implementação de redes inteligentes (Arif *et al.*, 2020).

Em relação à redução dos impactos ambientais relativos ao emprego de EBs, a literatura aponta que tais benefícios só podem ser afirmados ao analisar o impacto ambiental gerado na produção da energia que é empregada para o funcionamento do ônibus elétrico e também a partir da análise do ciclo de vida das baterias. No que se refere a matriz energética, diversos trabalhos convergem para a dependência dos benefícios ambientais sobre as fontes de eletricidade disponíveis no país ou cidade em questão (Arif *et al.*, 2020; Bezruchonak, 2019; Borén, 2020; Brdulak *et al.*, 2020; Dalala *et al.*, 2020; Gong *et al.*, 2020; Grijalva e López Martínez, 2019; Todorut *et al.*, 2020; Topal e Nakir, 2018).

Desafios e impactos dos ônibus elétricos para...
L. CURTY DA SILVA Y A. JUSTINO RIBEIRO MELLO

Ou seja, à medida que a oferta de energia elétrica provém de fontes mais limpas, o teor de carbono da eletricidade que abastece os EBs diminuirá continuamente (Bezruchonak, 2019). Quanto ao ciclo de vida das baterias, Messagia (2017) aponta que, após analisar o ciclo de vida completo de um veículo elétrico, observou-se que a contaminação por bateria de lítio consiste em apenas 13% da intensidade de emissão de CO² do veículo. Bezruchonak (2019) ressalta ainda a importância de se pensar na logística de descarte de baterias inutilizadas, enquanto Rodriguez e Consoni (2020) salientam questões relativas à extração de lítio nas grandes reservas de países sul-americanos como um aspecto crítico a ser considerado além do fato dos registros de patentes das baterias ocorrerem predominantemente em países europeus e asiáticos.

Outro problema a ser superado para a efetiva implementação de ônibus elétricos em larga escala é o alto custo inicial, ou custo de aquisição (Brdulak *et al.*, 2020). O elevado custo associado ao investimento na compra de uma nova frota e na construção de uma infraestrutura adequada levam a diversas considerações sobre esta alternativa, tanto em termos de economia, quanto eficácia e ainda seu desempenho ecológico.

Segundo o que foi apresentado por Mahmoud, Ferguson e Kanaroglou (2016), os custos de implantação dos EBs são muito maiores do que os FBs ou HBs, podendo variar de \$450.000 a \$1,1 milhões, desconsiderando-se os gastos em infraestrutura de carregamento e custos de substituição de bateria. Conforme exposto por Potkany *et al.* (2018), uma saída para o alto custo pode ser o uso de subsídios governamentais para a implementação dos automóveis elétricos ou o cofinanciamento para a compra de EBs.

Considerando os desafios mencionados pelos estudos consultados, apesar de todo o potencial dos ônibus elétricos como um dos caminhos para o alcance da mobilidade urbana sustentável, pode-se dizer, que ainda há um caminho relativamente longo a ser percorrido. Este percurso envolve a adequada estruturação e preparo das cidades para o bom desempenho do transporte coletivo movido a energia limpa, sob pena de subutilização de sua flexibilidade, capacidade e velocidade e da falta de conversão dos investimentos financeiros necessários em benefícios sociais e ambientais para a sociedade.

Considerações finais

A presente pesquisa buscou responder à questão “Qual o impacto do uso de ônibus elétricos para o alcance da mobilidade sustentável?” através de uma revisão sistemática da literatura. Para tal foram realizadas buscas em diferentes bases de dados, através de palavras-chave relacionadas ao tema proposto e os trabalhos selecionados a partir deste levantamento foram criticamente estudados, de forma a compreender os pontos centrais que se relacionam ao objetivo da pesquisa.

Pôde-se inferir que o alcance da mobilidade sustentável é um objetivo relevante diante do aumento da demanda por transporte decorrente do crescimento populacional da população urbana. Este contexto implica na elevação das taxas de emissão de gases poluentes, provenientes, principalmente, da realização de viagens motorizadas, baseadas em veículos movidos à combustíveis fósseis. Dessa forma, a busca por alternativas de transportes menos nocivas ao meio ambiente se torna uma necessidade urgente.

Desafios e impactos dos ônibus elétricos para...
L. CURTY DA SILVA Y A. JUSTINO RIBEIRO MELLO

O incentivo ao uso de meios de transporte coletivos e públicos em detrimento dos individuais e/ou particulares é um caminho necessário para o alcance de um desenvolvimento urbano mais sustentável. Nessa circunstância o ônibus é uma alternativa importante a ser considerada, de forma que a questão que o afasta ou aproxima da mobilidade sustentável está compreendida na fonte de energia que é usada pra realização do deslocamento.

Dessa forma, considerando-se os benefícios de longo prazo, os ônibus elétricos se apresentam como uma opção bastante viável como um modo de transporte favorável ao alcance da mobilidade sustentável se comparado a outros modos convencionais de transporte público, baseados em combustíveis fósseis. Outro benefício relativo à implantação de EBs no transporte público é a redução da poluição sonora proveniente do tráfego.

Em contrapartida, a implementação efetiva de frotas de ônibus elétricos nas cidades ainda precisa contar com a superação de alguns obstáculos, dentre os quais estão o alto custo de aquisição e de construção/adaptação da infraestrutura necessária para seu funcionamento, as constantes necessidades de recarga das baterias e a disponibilidade de uma matriz energética diversificada e proveniente, fundamentalmente, de fontes renováveis de energia.

Outra questão a ser considerada é a exploração das reservas de lítio para a fabricação de baterias, sendo essa a principal matéria prima para sua produção. Torna-se fundamental analisar os desdobramentos deste contexto, uma vez que os registros de patentes das baterias são originários, fundamentalmente, de países asiáticos e europeus, mas os países onde o principal insumo é explorado são àqueles em desenvolvimento ou emergentes.

A literatura pesquisada apresenta crescente interesse sobre o tema, bem como uma alta tendência à utilização de EBs no transporte público, seja através da substituição dos FBs ou pela diversificação das frotas já existentes. Porém ainda há muito o que se caminhar no preparo da estrutura econômica e energética para absorver esta demanda ambiental. Assim, a partir do exposto sobre o tema a partir da revisão da literatura realizada neste trabalho, seria de grande valia a realização de um levantamento sistemático que identifique exemplos práticos do emprego de ônibus elétricos no atendimento às necessidades de transporte da população, identificando o tempo decorrido desde a implementação, as adaptações de infraestrutura realizadas, os resultados obtidos e as dificuldades enfrentadas.

Agradecimentos

Agradecemos ao CEFET-RJ e à FAPERJ pelo apoio financeiro à pesquisa.

Referências

- » Alternatywnyc, P. S. P.; Miejskiej, I. G. K. (2019). *Electromobility and Sustainable Development of Public Transport in Cities*.
- » Amirhosseini, B., y Hosseini, S. H. (2018). Scheduling charging of hybrid-electric vehicles according to supply and demand based on particle swarm optimization, imperialist competitive and teaching-learning algorithms. *Sustainable cities and society*, 43, 339-349.
- » Andrade, J. B. S. O.; Dutra, L.; Schwinden, N. B. C., y De Andrade, S. F. (2015). Future scenarios and trends in energy generation in Brazil: supply and demand and mitigation forecasts. *Journal of Cleaner Production*, 103, 197-210.
- » Arif, S. M.; Lie, T. T.; Seet, B. C.; Ahsan, S. M., y Khan, H. A. (2020). Plug-In Electric Bus Depot Charging with PV and ESS and Their Impact on LV Feeder. *Energies*, 13(9), 2139.
- » Bångman, G. (2016). *English summary of ASEK recommendations*. The Swedish Traffic Agency.
- » Bezruchonak, A. (2019). Geographic features of zero-emissions urban mobility: the case of electric buses in Europe and Belarus. *European Spatial Research and Policy*, 26(1), 81-99.
- » Biscalchim, B. R. y Barreira, A. (2020). Cities that are losing inhabitants: an analysis of the brazilian reality. *Revista Produção e Desenvolvimento*, 6. <https://doi.org/10.32358/rpd.2020.v6.432>
- » Bloomberg, N. E. F. (2019). *New energy outlook 2018*. Bloomberg New Energy Finance. New York.
- » Borén, S. (2019). Electric buses' sustainability effects, noise, energy use, and costs. *International Journal of Sustainable Transportation*, 1-16.
- » Brdulak, A., Chaberek, G. y Jagodziński, J. (2020). Development Forecasts for the Zero-Emission Bus Fleet in Servicing Public Transport in Chosen EU Member Countries. *Energies*, 13(16), 4239.
- » Dalala, Z.; Al Banna, O. y Saadeh, O. (2020). The Feasibility and Environmental Impact of Sustainable Public Transportation: A PV Supplied Electric Bus Network. *Applied Sciences*, 10(11), 3987.
- » Duarte, K. S.; Lima, T. A. C.; Alves, L. R.; Rios, P. A. P. y Motta, W. H. (2021). The circular economy approach for reducing food waste: a systematic review. *Revista Produção E Desenvolvimento*, 7. <https://doi.org/10.32358/rpd.2021.v7.572>
- » Fornillo, B. y Gamba, M. (2019). Industria, ciencia y política en el Triángulo del Litio. *Humanidades y ciencias Sociales. Ciencia, Docencia y Tecnología*. 30(58).
- » Gong, J.; He, J.; Cheng, C.; King, M.; Yan, X.; He, Z. y Zhang, H. (2020). Road test-based electric bus selection: A case study of the Nanjing bus company. *Energies*, 13(5), 1253.
- » Grijalva, E. R. y López Martínez, J. M. (2019). Analysis of the Reduction of CO2 Emissions in Urban Environments by Replacing Conventional City Buses by Electric Bus Fleets: Spain Case Study. *Energies*, 12(3), 525.

Desafios e impactos dos ônibus elétricos para...
L. CURTY DA SILVA Y A. JUSTINO RIBEIRO MELLO

- » Hamurcu, M. y Eren, T. (2020). Electric Bus Selection with Multicriteria Decision Analysis for Green Transportation. *Sustainability*, 12(7), 2777.
- » Hitka, M.; Vetráková, M.; Balážová, Ž. y Daníhelová, Z. (2015). Corporate culture as a tool for competitiveness improvement. *Procedia Economics and Finance*, 34, 27-34.
- » Kazemzadeh, E.; Koengkan, M.; Fuinhas, J. A.; Teixeira, M. y Mejdalani, A. (2022). Heterogeneous Impact of Electrification of Road Transport on Premature Deaths from Outdoor Air Pollution: A Macroeconomic Evidence from 29 European Countries. *World Electric Vehicle Journal*, 13(8), 155.
- » Kirby, A. (2020). Reconstructing Powerful Knowledge in an era of climate change. *Revista Produção e Desenvolvimento*, 6. <https://doi.org/10.32358/rpd.2020.v6.427>
- » Langbroek, J. H.; Cebebauer, M.; Malmsten, J.; Franklin, J. P.; Susilo, Y. O. y Georén, P. (2019). Electric vehicle rental and electric vehicle adoption. *Research in Transportation Economics*, 73, 72-82.
- » Law, C. C.; Zhang, Y.; Gow, J. y Vu, X. B. (2022). Dynamic relationship between air transport, economic growth and inbound tourism in Cambodia, Laos, Myanmar and Vietnam. *Journal of Air Transport Management*, 98, 102161.
- » Lima Junior, I. M.; Rodrigues, A. R. P.; Mello, J. A. V. B. (2021). Riscos, complexidade e incertezas na cadeia de suprimentos: uma revisão sistemática de literatura. *P2P e INOVAÇÃO*, 7(2), 277-294.
- » Logan, K. G.; Nelson, J. D. y Hastings, A. (2020). Electric and hydrogen buses: Shifting from conventionally fuelled cars in the UK. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 85, 102350.
- » Macedo, V. P.; Ferro Lebres, V. y Bernardo Junior, R. (2022). Hackathon as an instrument for innovation in collaborative networks: a bibliometric analysis. *Revista Produção E Desenvolvimento*, 8(1), e602. <https://doi.org/10.32358/rpd.2022.v8.602>
- » Maes, M. J.; Jones, K. E.; Toledano, M. B. y Milligan, B. (2019). Mapping synergies and trade-offs between urban ecosystems and the sustainable development goals. *Environmental Science & Policy*, 93, 181-188.
- » Mahmoud, M.; Garnett, R.; Ferguson, M. y Kanaroglou, P. (2016). Electric buses: A review of alternative powertrains. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 673-684.
- » Mello, A. J. R.; Oliveira, C. M. C.; Silva, L. C.; Menezes, A. S. (2020). Passenger rail transport and mobility: user's view about service level and safety. *Revista Produção e Desenvolvimento*, 6. <https://doi.org/10.32358/rpd.2020.v6.466>
- » Messagie, M. (2014). Life cycle analysis of the climate impact of electric vehicles. *Journal of Life Cycle Assessment*, 14.
- » Montero, S. (2017). Worlding Bogotá's Ciclovía: from urban experiment to international 'Best Practice'. *Latin American Perspectives*, 44(2), 111-131.
- » Munim, Z. H. y Noor, T. (2020). Young people's perceived service quality and environmental performance of hybrid electric bus service. *Travel Behaviour and Society*, 20, 133-143.
- » Potkány, M.; Hitka, M. y Krajčirová, L. (2017). Life Cycle Cost Calculation at the transport company in the supply of production of wooden houses—Case study. In *MATEC Web of conferences* (Vol. 134, p. 00049). EDP Sciences.

Desafios e impactos dos ônibus elétricos para...
L. CURTY DA SILVA Y A. JUSTINO RIBEIRO MELLO

- » Potkány, M.; Hlatká, M.; Debnár, M. y Hanzl, J. (2018). Comparison of the lifecycle cost structure of electric and diesel buses. *NAŠE MORE: znanstveno-stručni časopis za more i pomorstvo*, 65(4 Special issue), 270-275.
- » Redclift, M. (2005). Sustainable development (1987-2005): an oxymoron comes of age. *Sustainable Development*, 13(4), 212-227.
- » Rodríguez, T. B. y Consoni, F. L. (2020). Uma abordagem da dinâmica do desenvolvimento científico e tecnológico das baterias lítio-íon para veículos elétricos. *Rev. Bras. Inov., Campinas (SP)*, 19, e0200014, 1-33.
- » Salem, M. Z.; Almuzaini, R. F. y Kishawi, Y. S. (2017). The Impact of Road Transport on CO 2 Atmospheric Concentrations in Gaza City (Palestine), and Urban Vegetation as a Mitigation Measure. *Polish Journal of Environmental Studies*, 26(5).
- » Sheth, A. y Sarkar, D. (2019). Life cycle cost analysis for electric vs. diesel bus transit in an Indian scenario. *Int. J. Technol*, 10(1), 105-115.
- » Silva, L. M. C. da, y Uhlmann, J. (2021). Contributing factors for the underutilization of mobility stations: the case of the "wien mobil station" in vienna. *Revista Produção e Desenvolvimento*, 7. <https://doi.org/10.32358/rpd.2021.v7.508>
- » Schmidt, L. y Guerra, J. (2018) Sustainability: Dynamics, pitfalls and transitions. *Changing Societies: Legacies and Challenges* (Vol. III, pp. 27-53). Lisbon: Imprensa de Ciências Sociais.
- » Souza, F. L. C. y Dantas, A. S. (2020). Strategies for the evaluation of electrification projects of public transportation by bus. *Revista Produção e Desenvolvimento*, 6. <https://doi.org/10.32358/rpd.2020.v6.461>
- » Suo, C.; Li, Y. P.; Nie, S.; Lv, J.; Mei, H. y Ma, Y. (2020). Analyzing the effects of economic development on the transition to cleaner production of China's energy system under uncertainty. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123725.
- » Todoruț, A.; Cordoș, N. y Iclodean, C. (2020). Replacing Diesel Buses with Electric Buses for Sustainable Public Transportation and Reduction of CO 2 Emissions. *Polish Journal of Environmental Studies*, 29(5).
- » Topal, O. y Nakir, İ. (2018). Total cost of ownership based economic analysis of diesel, CNG and electric bus concepts for the public transport in Istanbul City. *Energies*, 11(9), 2369.
- » Tribioli, L. (2017). Energy-based design of powertrain for a re-engineered post-transmission hybrid electric vehicle. *Energies*, 10(7), 918.
- » Zhou, G. J.; Xie, D. F.; Zhao, X. M. y Lu, C. (2020). Collaborative Optimization of Vehicle and Charging Scheduling for a Bus Fleet Mixed With Electric and Traditional Buses. *IEEE Access*, 8, 8056-8072.

Desafios e impactos dos ônibus elétricos para...

L. CURTY DA SILVA Y A. JUSTINO RIBEIRO MELLO

Laryssa Curty da Silva / laryssacurty@hotmail.com

Mestre em Desenvolvimento Regional e Sistemas Produtivos, pelo DIPPG/CEFET RJ (2022); Graduada em Engenharia de Produção pelo CEFET RJ (2017) e Pesquisadora da área de Transportes, com ênfase em Mobilidade Urbana Sustentável.

Andrea Justino Ribeiro Mello / andrea.mello@cefet-rj.br

Doutora em Engenharia de Transportes, pelo PET/COPPE/UFRJ (2015); Mestre em Engenharia de Produção, pelo PEP/COPPE/UFRJ (2001); Graduada em Ciências Econômicas pela UFRRJ (1997). Professora do Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento Regional e Sistemas Produtivos (PPDSP) do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ) e Pesquisadora da área de Planejamento de Transportes, com ênfase em Mobilidade Urbana Sustentável e Acessibilidade.