

PANORAMA SOBRE O MONITORAMENTO DO DESEMPENHO DE ÔNIBUS ELÉTRICOS

Eduardo Henrique Siqueira^{1,2}

Berta Castelar Pinheiro¹

Virginia Bergamaschi Tavares¹

¹WRI Brasil

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Departamento de Engenharia de Produção e Transportes

RESUMO

Com a tendência de transição para um futuro onde a eletromobilidade estará cada vez mais presente no transporte coletivo, julga-se necessário um melhor entendimento dessa tecnologia. O presente estudo objetiva a identificação de estudos publicados na literatura científica que compilem indicadores para o monitoramento de desempenho de ônibus elétricos. Para tal, realizou-se uma Revisão Sistemática de Literatura na qual os resultados foram classificados e a parcela considerada relevante para este trabalho foi avaliada de forma completa. Como resultados, percebe-se que características das linhas, modelo do veículo, características das baterias e condições climáticas estão entre os indicadores mais citados nos estudos. Apesar disso, constatou-se que a maior parte dos estudos monitora apenas o desempenho da bateria dos veículos e não o desempenho do ônibus como um todo o que corrobora a, ainda, incipiência do tema.

ABSTRACT

With the trend of a future where electromobility will be increasingly present in public transport, a better understanding of this technology is deemed necessary. The present study aims to identify studies published in the scientific literature that compile indicators for the performance monitoring of electric buses. For this, a systematic literature review was carried out in, the results were classified and those considered relevant for this study were evaluated integrally. As results, routes characteristics, vehicle model, battery characteristics and climatic conditions are among the most cited indicators. In spite of this, it was verified that most of the studies only monitor the battery performance of the vehicles and not the performance of the bus as a whole, which corroborates the incipience of the theme.

1. INTRODUÇÃO

As externalidades ambientais da utilização de combustíveis fósseis no sistema de transporte já são amplamente discutidas. Os impactos dos transportes nas mudanças climáticas são abordados principalmente nos relatórios do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, além de diversos estudos nacionais e internacionais (IPCC, 2014; Lopes *et al.*, 2018; Stanley *et al.*, 2011; Ülengin *et al.*, 2018). No tocante a emissão de poluentes locais, problemas de saúde pública resultantes da alta concentração de poluentes, como material particulado e monóxido de carbono, começam a ganhar cada vez mais atenção não só nos estudos acadêmicos como em diversas instituições de pesquisa (IPEA, 2011; ISS, 2016; Nieuwenhuijsen e Khreis, 2019; Requia *et al.*, 2018).

Além disso, os impactos do setor de transporte também devem ser atribuídos à ineficiência dos meios de deslocamento urbanos, onde as longas distâncias e o uso excessivo do transporte individual motorizado demandam mais energia que o necessário, agravando os impactos ambientais e sociais (Demirel *et al.*, 2008; Tayaranani *et al.*, 2018). Neste sentido, o caminho para minimizar as externalidades deste setor passa não só por assegurar fontes de energia limpas mas também a eficiência dos meios de transportes urbanos. Assim, considerando os benefícios dos ônibus elétricos, principalmente a redução de emissões, essa tecnologia vem se destacando como uma peça importante dentro do conjunto de soluções necessárias para a redução das externalidades ambientais negativas do setor de transportes (Du *et al.*, 2019; Uk-Don Choi *et al.*, 2012).

Diversas cidades no mundo já começaram a transição tecnológica de suas frotas de ônibus para veículos elétricos atraídos não só pela diminuição dos impactos ambientais, mas também pelas economias no Custo Total de Propriedade dos veículos (Bakker e Konings, 2018; Pérez-Prada *et al.*, 2019). Apesar do alto custo de capital, o menor consumo de energia e a – consequente – redução dos custos operacionais torna os ônibus elétricos potenciais substitutos aos ônibus a diesel (Feng e Figliozzi, 2013; Hellgren, 2007). No entanto, apesar destes benefícios, a implementação da tecnologia elétrica ainda está não só limitada em escala, mas também em sua abrangência geográfica concentrada essencialmente nas cidades chinesas (Li *et al.*, 2018).

Estudos apontam diferentes justificativas para esta realidade, ressaltam-se aqui o alto custo inicial e as incertezas da tecnologia (Lajunen, 2014). O alto custo inicial da implementação dos ônibus elétricos está associado não só aos veículos, mas também a construção da sua infraestrutura de recarga. Em relação aos veículos, o desenvolvimento tecnológico ainda incipiente das baterias resulta em um valor final dos ônibus elétricos superior a um modelo similar a diesel. Já em relação a infraestrutura de recarga, sua instalação apresenta um desafio não só por envolver um novo ator na operação dos transportes, as companhias de energia, mas também por seus custos muitas vezes incertos e elevados (Orbea *et al.*, 2019). Além disso, o desconhecimento do desempenho desses veículos em diferentes realidades, provoca incertezas. Atualmente, experiências com a tecnologia permitem concluir que variações como o uso do ar condicionado, a rota de operação e até mesmo o motorista impactam diretamente no consumo das baterias e consequentemente no desempenho dos veículos (World Resources Institute *et al.*, 2019).

Algumas novas estratégias surgem para superar estas barreiras. Em relação aos exemplos apresentados acima, alternativas de modelos de negócios em que as companhias de energia representam um papel mais ativo, como financiadores das infraestruturas de recarga ou até mesmo das baterias são caminhos para reduzir não só os custos iniciais aos operadores e agências de transporte, mas também distribuir adequadamente os riscos da tecnologia elétrica. São exploradas também alternativas para modelos contratuais de forma a adaptar a remuneração dos custos operacionais e de capital às particularidades da tecnologia elétrica (Orbea *et al.*, 2019; van der Straten *et al.*, 2007).

No que se refere as incertezas da tecnologia, pode-se citar alguns mitigadores de riscos, como contratos que garantam a eficiência adequada da bateria, ou o treinamento prévio da equipe de manutenção e dos motoristas. Ainda, sabe-se que as informações disponíveis atualmente são fornecidas pelos próprios fabricantes dos ônibus ou reportados em projetos de pequena escala sem uma metodologia adequada, intensificando a insegurança em relação a confiabilidade desses dados e, muitas vezes, à própria tecnologia. Portanto, resalta-se aqui a importância de uma metodologia de monitoramento de desempenho dos ônibus elétricos estruturada e que forneça dados confiáveis para subsidiar a tomada de decisão para a implementação dos ônibus elétricos (World Resources Institute *et al.*, 2019).

Neste sentido, este trabalho busca identificar o atual panorama dentro da literatura científica acerca do monitoramento de desempenho de ônibus elétricos. O estudo identifica e analisa os estudos publicados que compilem indicadores para o monitoramento de desempenho de ônibus elétricos. Como contribuição, destaca-se que, apesar da relevância do tema, os estudos avaliados não priorizam a coleta de dados através de uma metodologia consolidada.

Considera-se importante identificar um ponto de partida para definição de indicadores que possibilitem análises comparativas e, por conseguinte, um melhor entendimento da tecnologia.

2. MÉTODO

O método de Revisão Sistemática de Literatura (RSL) surgiu a partir da necessidade de uma maior segurança e confiabilidade dos resultados encontrados para basear tomadas de decisão (Haddaway *et al.*, 2015). Trata-se de uma abordagem que objetiva avaliar e interpretar a pesquisa disponível relevante para uma área temática ou fenômeno de interesse (Kitchenham e Brereton, 2013).

Conforme aponta Liberati *et al.* (2009), a RSL é um processo de revisão formal que reduz o risco de viés e subjetividade da pesquisa. Como resultados, os estudos obtidos e analisados na revisão são denominados “estudos primários” enquanto a revisão em si é um estudo secundário (Brereton *et al.*, 2007).

O processo de execução desta pesquisa seguiu os passos sugeridos por Biolchini *et al.* (2007). O mesmo consiste em uma abordagem definida em três etapas: planejamento, execução e análise dos resultados, apresentado em detalhes na Tabela 1. Ainda segundo o autor, existem dois pontos de verificação no processo de revisão sistemática proposto. Antes de executar a revisão sistemática, é necessário garantir que o planejamento seja adequado. O protocolo deve ser avaliado e, se forem encontrados problemas, o pesquisador deve retornar ao estágio de planejamento para revisar o protocolo. Da mesma forma, se forem encontrados problemas em relação aos mecanismos de pesquisa durante a fase de execução, a revisão sistemática poderá ser executada novamente.

Tabela 1: Etapas para aplicação de uma revisão sistemática

Etapa	Definição
Planejamento	Delimitação dos objetivos e do protocolo de pesquisa
Execução	Pesquisa inicial e identificação dos estudos primários através de critérios de inclusão e exclusão
Análise dos resultados	Extração e sintetização dos dados e informações

Dessa forma, na etapa de planejamento – para o presente trabalho – definiu-se como objetivo principal a identificação de estudos publicados que compilem indicadores para o monitoramento de desempenho de ônibus elétricos. O protocolo adotado para esta pesquisa baseia-se em uma busca considerando as seguintes palavras: (“*performance indicator**” OU “*monitor**”) E “*electric bus**”) nos títulos, resumos ou palavras chaves de artigos publicados em revistas e congressos científicos. A utilização do asterisco no radical da palavra permitiu que mais resultados fossem contemplados, como “*electric bus*” e “*electric buses*” ou “*monitorament*” e “*monitoring*”.

Inicialmente a pesquisa foi conduzida em diferentes plataformas (*Science direct*, Periódicos Capes, *Scopus* e *Google Acadêmico*). No entanto, em muitos casos os resultados apenas tangenciavam o tema e a plataforma *Scopus* foi a que resultou no maior número de estudos dentro da área temática. Portanto, por apresentar resultados consistentes com o assunto e a facilidade de exportação para um banco de dados no formato *CSV*, esta revisão concentrou sua pesquisa na plataforma *Scopus*.

Na etapa de execução da revisão, foi realizada uma pesquisa inicial aplicando o protocolo mencionado acima. Após isso, realizou-se uma pré-seleção dos estudos primários considerando como critério de inclusão os documentos categorizados como “*Article*” ou “*Conference paper*” referentes aos anos de 2009 até 2019. Desses, foram lidos os títulos, palavras-chave e resumos para avaliar quais, efetivamente, tratavam do assunto em questão para prosseguirem para a etapa de análise de resultados e serem avaliados de forma completa.

Como critério de exclusão considerou-se que os documentos que apenas tratavam de uma área de desempenho do veículo (por exemplo, apenas o monitoramento do estado de carga da bateria) não seriam considerados. Por fim, na etapa de análise de resultados, os autores avaliaram de forma completa os estudos primários definidos após critérios de inclusão e exclusão. Os dados e informações relevantes foram sintetizados e apresentados na seção a seguir. A Figura 1 ilustra as etapas de execução até a análise de resultados:

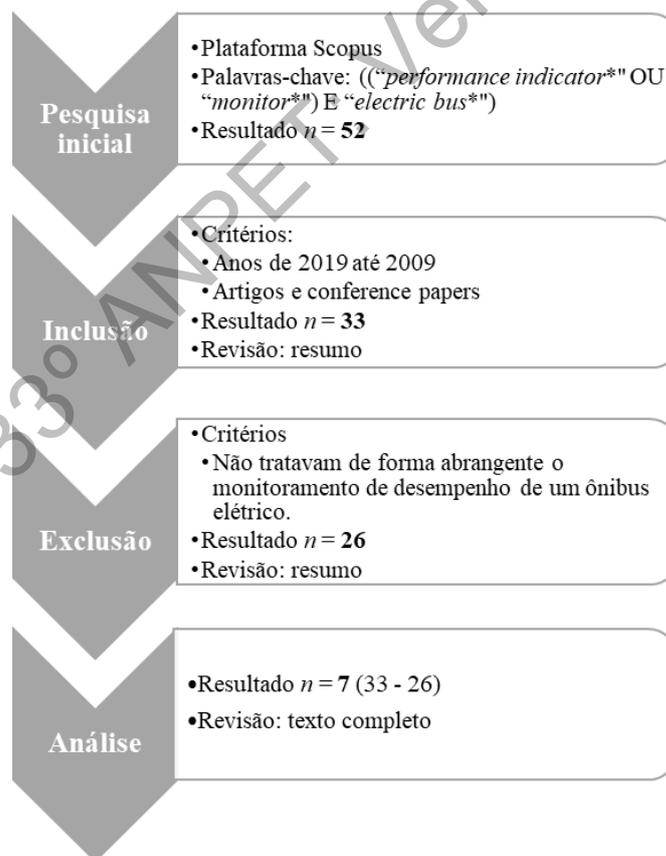


Figura 1: Etapas para aplicação de uma revisão sistemática

3. RESULTADOS

O presente capítulo aborda os resultados da Revisão Sistemática de Literatura após execução do procedimento metodológico mencionado anteriormente. Em um primeiro momento, consolida-se o panorama geral com as principais informações dos 52 documentos resultantes da pesquisa inicial. Após isso, são apresentados os resultados dos 7 documentos avaliados de forma aprofundada que tratam da temática de monitoramento do desempenho de ônibus elétricos.

3.1. Panorama geral

Apesar do campo de pesquisa para o assunto abordado ser diversificado, ao classificar os documentos obtidos percebe-se uma predominância das áreas de conhecimento de *Engenharia e Energia*. Tal fato deve-se a premissa de que os ônibus elétricos e seu desempenho são comumente avaliados por ambas áreas. Algumas análises e, principalmente a coleta de indicadores tem inter-relação com a área de *Ciência da computação*, sendo essa a terceira com maior número de estudos. Ao falar de indicadores de desempenho, percebe-se também uma interface com a área da *Matemática*.

Após avaliar as principais áreas de conhecimento que estudam o tema abordado, classificou-se as principais palavras-chave entre documentos obtidos. A classificação antecipa o resultado de que grande parte dos estudos ainda é voltado para o monitoramento do desempenho da bateria do veículo e não de todos os parâmetros de operação do ônibus. O termo *Charging (batteries)* aparece em maior quantidade após os termos gerais de *Buses, Electric vehicles e Electric bus*. A Tabela 2 apresenta as dez palavras-chave mais presentes nos resultados da pesquisa inicial.

Tabela 2: Principais palavras-chave obtidas

Palavras-chave	Quantidade
<i>Buses</i>	17
<i>Electric vehicles</i>	16
<i>Electric bus</i>	14
<i>Charging (batteries)</i>	9
<i>Bus transportation</i>	8
<i>Electric automobiles</i>	8
<i>Electric vehicle</i>	6
<i>Monitoring</i>	6
<i>Vehicles</i>	6
<i>Public transport</i>	5

Ao analisar o histórico no tempo das publicações (Figura 2), percebe-se a ascendência do tema dentro da literatura científica. O ano de 2016 mostra-se o ano com maior número de publicações na área (8). Todavia, até a metade do ano de 2019 já foram publicados 6 estudos na área e esse número tende a crescer com a expansão de ônibus elétricos nas cidades.

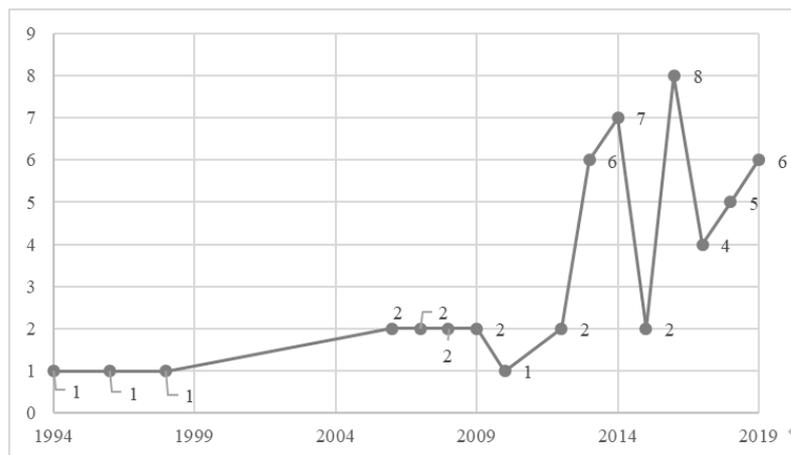


Figura 2: Evolução histórica de publicações por ano

No final do ano de 2017, a cidade de Shenzhen na China eletrificou 100% da sua frota, tornando-se a primeira no mundo com mais de 16 mil ônibus elétricos. Assim, ao estratificar os resultados por países, a China destaca-se como o país que mais produziu estudos acadêmicos na área desde 1994. Ao total, foram 17 publicações sendo também o *Instituto de Tecnologia de Pequim* a instituição que mais pesquisou sobre o tema (4 publicações). O segundo país com mais trabalhos realizados na área foi os Estados Unidos. Estima-se ainda um aumento das pesquisas científicas no país visto que, em 2018, o Estado da Califórnia sancionou uma lei que determina a aquisição apenas de ônibus elétricos para as frotas urbanas. Na América Latina, apenas o Brasil aparece com publicações na área (2) que apenas tangenciam o tema e não exploram o monitoramento do desempenho do veículo de forma geral. Por fim, verificou-se que países da Europa geraram contribuições relevantes para a área que serão abordadas na seção seguinte.

3.2. Análise dos resultados

Conforme citado anteriormente, foram avaliados sete textos completos (Bartłomiejczyk, 2019; Göhlich *et al.*, 2014; López *et al.*, 2018; Scarinci *et al.*, 2019; Tang e Gao, 2011; Topal, 2017; Yamamoto *et al.*, 2016). A Tabela 3 permite verificar que estudos envolvendo monitoramento de ônibus elétricos estão concentrados em países europeus e asiáticos. Em sua maioria, os estudos avaliam ônibus elétricos a bateria, mas também consideram outras tecnologias como trólebus, híbridos, diesel e Gás Natural Veicular (GNV). Os estudos possuem diferentes objetivos com destaque para avaliação da influência da condução dos veículos (Bartłomiejczyk, 2019) e avaliação dos indicadores monitorados para realização de análises de viabilidade econômica para ônibus elétricos (Göhlich *et al.*, 2014; Topal, 2017).

Bartłomiejczyk (2019) apresenta um novo método de análise e otimização de parâmetros de condução de ônibus elétricos com base em medições e no método de análise de decisão multicritério. O estudo foi desenvolvido com dados provenientes do sistema de 90 trólebus da cidade de Gdynia, Polônia. Como principal resultado, o autor destaca que, ao treinar motoristas, a ênfase deve ser colocada na limitação da velocidade, buscando evitar acelerações e frenagens desnecessárias.

Göhlich *et al.* (2014) desenvolvem uma avaliação tecnológica de sistemas de ônibus elétricos a bateria com base em indicadores de desempenho técnico e econômico. Além disso, o estudo analisa a viabilidade de um sistema de ônibus elétrico urbano na cidade de Berlim. Em

conclusão, os autores revelam que, nas condições de Berlim, a recarga de oportunidade por indução atende aos requisitos do sistema e apresenta valores de Custo Total de Propriedade relativamente baixos.

Neste trabalho, López *et al.* (2018) propõem uma metodologia para analisar, processar e decidir com base nos dados coletados em condições reais. Esses dados são usados para monitorar os fatores-chave de desempenho energético, de forma a melhorar veículos com desempenho mais baixo. A metodologia proposta foi validada através de simulação.

Scarinci *et al.* (2019) propõem uma estrutura de simulação para a avaliação da operação de veículos elétricos. A estrutura é composta por um simulador de tráfego, um modelo de consumo de energia e um modelo de perfil de velocidade. Os dados utilizados para o estudo de caso são provenientes da rede de Genebra, Suíça. Os resultados quantificam a probabilidade de que as baterias dos veículos atinjam um estado de carga baixo e avaliam os efeitos de diferentes estratégias para reduzir essa probabilidade.

O estudo de Tang e Gao (2011), desenvolvido em Tangshan, China, estabelece uma plataforma de monitoramento inteligente para veículos elétricos a bateria. O sistema de monitoramento busca obter dados de monitoramento em tempo real forneçam informações consolidadas dos veículos.

Topal (2017) busca gerar um modelo que promova a conscientização dos governos locais sobre sistemas de mobilidade com emissões zero, considerando os Custos Totais de Propriedade, para o transporte público em Istambul, Turquia. O modelo desenvolvido calcula a otimização dos ônibus elétricos, diesel e GNV com as técnicas AHP (*Analytic Hierarchy Process*) e TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*). Os resultados mostram que os ônibus elétricos apresentam grandes diferenças no custo inicial, mas apresenta vantagens decorrentes de seus menores custos operacionais.

Com o objetivo de alcançar uma boa operação de ônibus, Yamamoto *et al.* (2016) instalou um sistema de monitoramento de veículos e realizou remotamente o controle do veículo e o registro de dados de condução de um ônibus elétrico. A análise dos dados ajuda a compreender o desempenho e as condições do veículo, assim como prever sua necessidade de manutenção. As características avaliadas foram: características do consumo de energia, relação entre a temperatura do ar e a temperatura da bateria e estimativa de redução de dióxido de carbono.

Os estudos avaliados permitem afirmar que existem diversos indicadores utilizados para monitorar o desempenho de ônibus elétricos. Pode-se destacar que características das linhas – como extensão, velocidade e tempo de viagem – modelo do veículo, características das baterias (composição, tensão, corrente, estado da carga) e condições climáticas estão entre os indicadores mais citados nos estudos. Percebe-se que alguns estudos monitoram indicadores mais específicos em relação as condições operacionais da rota e do tipo de veículo (Bartłomiejczyk, 2019; Göhlich *et al.*, 2014) enquanto no estudo de Yamamoto *et al.* (2016) destacam-se os indicadores relacionados ao estado de carga e condições da bateria. Scarinci *et al.* (2019), Tang e Gao (2011) e Topal (2017) utilizam indicadores mais gerais de monitoramento de desempenho e Scarinci *et al.* (2019) mostra-se o único a considerar características do motorista ao avaliar a performance do veículo.

Tabela 3: Resumo dos estudos avaliados

Estudo	Tecnologias avaliadas	Local de aplicação	Indicadores monitorados
Bartłomiejczyk (2019)	Trolébus	Gdynia, Polónia	Tempo de viagem Velocidade máxima Velocidade média Velocidade de frenagem Aceleração máxima Aceleração média Aceleração geral Extensão percorrida em velocidade de cruzeiro Extensão percorrida durante a frenagem Localização
Göhlich <i>et al.</i> (2014)	Ônibus elétricos a bateria	Berlim, Alemanha	Especificações da linha Extensão da viagem Número de paradas Tempo de viagem Velocidade média Distância até a garagem Tempo de espera entre viagens Tempo de embarque nas paradas Intervalo entre os ônibus Tempo total de operação (por dia) Extensão percorrida (anual) Número de ônibus em operação Especificações do veículo Tipo do ônibus Peso do veículo Peso da carga variável (passageiros + baterias) Dimensões do veículo
López <i>et al.</i> (2018)	Ônibus híbridos elétricos	Não informado	Perfis do ciclo de condução Configuração do ônibus Potência do motor elétrico Potência do motor de combustão interna Potência do grupo gerador Baterias <i>C-rate</i> Ultra capacitores <i>C-rate</i> Peso do sistema de armazenamento de energia
Scarinci <i>et al.</i> (2019)	Ônibus elétricos a bateria	Genebra, Suíça	Quantidade de passageiros Condições climáticas Características de condução Condições de tráfego Localização das interseções Perfil de velocidade
Tang e Gao (2011)	Ônibus elétricos a bateria	Tangshan, China	Localização do veículo Velocidade Direção da viagem Tensão Corrente Temperatura da bateria Estado de carga

continua

continuação

Estudo	Tecnologias avaliadas	Local de aplicação	Indicadores monitorados
Topal (2017)	Ônibus elétricos, diesel e GNV	Istambul, Turquia	Distância total Consumo total de combustível Consumo Tempo médio de viagem Densidade Custo total de consumo de 100 km
Yamamoto <i>et al.</i> (2016)	Ônibus elétricos a bateria	Kesennuma e Motoyoshi, Japão	Tempo de viagem acumulado Quilometragem acumulada Consumo de energia acumulado Energia de carga acumulada Estado da carga Temperatura máxima da bateria Corrente máxima Número de carregamento rápido Número de carregamento normal

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para que as cidades tenham alternativas para endereçar seus problemas de emissões de poluentes proveniente do transporte público, é imprescindível um melhor entendimento de determinadas variáveis, dentre elas, o desempenho operacional de um ônibus elétrico. Para tal, destaca-se a importância de uma metodologia consolidada de avaliação do desempenho seja para possibilitar análises de Custo Total de Propriedade mais confiáveis e comparáveis entre si para embasar o planejamento da eletrificação da frota das cidades.

O presente estudo explorou como a literatura científica aborda o tema. Em geral, a maior parte da produção é voltada para o monitoramento do estado de carga da bateria e de alguns componentes específicos da mesma. Poucos estudos consolidam um conjunto de indicadores completo e nenhum deles teve como objetivo principal desenvolver uma metodologia para a coleta de dados. Em geral, as informações de desempenho monitoradas variam consideravelmente conforme o objetivo do estudo. Apesar disso, foi possível identificar uma tendência de indicadores que avaliam as características da rota, especificações técnicas do veículo, características específicas da bateria e condições climáticas. Apenas um estudo (Scarinci *et al.*, 2019) considera a influência do motorista no desempenho do veículo.

Para trabalhos futuros, é possível expandir o escopo do estudo e também avaliar documentos da literatura cinzenta, como teses, dissertações e relatórios técnicos. Além disso, com um maior número de informações compiladas e avaliadas, é possível propor uma metodologia de monitoramento de desempenho de ônibus elétricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bakker, S., e Konings, R. (2018) The transition to zero-emission buses in public transport – The need for institutional innovation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 64, 204–215. doi:10.1016/j.trd.2017.08.023
- Bartłomiejczyk, M. (2019) Driving Performance Indicators of Electric Bus Driving Technique: Naturalistic Driving Data Multicriterial Analysis. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(4), 1442–1451. doi:10.1109/TITS.2018.2850741
- Brereton, P., Kitchenham, B. A., Budgen, D., Turner, M., e Khalil, M. (2007) Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain. *Journal of Systems and Software*, 80(4), 571–583. doi:10.1016/j.jss.2006.07.009

- de Almeida Biolchini, J. C., Mian, P. G., Natali, A. C. C., Conte, T. U., e Travassos, G. H. (2007) Scientific research ontology to support systematic review in software engineering. *Advanced Engineering Informatics*, 21(2), 133–151. doi:10.1016/j.aei.2006.11.006
- Demirel, H., Sertel, E., Kaya, S., e Zafer Seker, D. (2008) Exploring impacts of road transportation on environment: a spatial approach. *Desalination*, 226(1–3), 279–288. doi:10.1016/j.desal.2007.02.111
- Du, J., Li, F., Li, J., Wu, X., Song, Z., Zou, Y., e Ouyang, M. (2019) Evaluating the technological evolution of battery electric buses: China as a case. *Energy*, 176, 309–319. doi:10.1016/j.energy.2019.03.084
- Feng, W., e Figliozzi, M. (2013) An economic and technological analysis of the key factors affecting the competitiveness of electric commercial vehicles: A case study from the USA market. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 26, 135–145. doi:10.1016/j.trc.2012.06.007
- Göhlich, D., Kunith, A., e Ly, T. (2014) Technology assessment of an electric urban bus system for Berlin. (p. 137–149). doi:10.2495/UT140121
- Haddaway, N. R., Woodcock, P., Macura, B., e Collins, A. (2015) Making literature reviews more reliable through application of lessons from systematic reviews: Making Literature Reviews More Reliable. *Conservation Biology*, 29(6), 1596–1605. doi:10.1111/cobi.12541
- Hellgren, J. (2007) Life cycle cost analysis of a car, a city bus and an intercity bus powertrain for year 2005 and 2020. *Energy Policy*, 35(1), 39–49. doi:10.1016/j.enpol.2005.10.004
- ISS (2016) Avaliação e valoração dos Impactos da poluição do ar na saúde da população decorrente da substituição da matriz energética no transporte público na cidade de São Paulo.
- IPCC (2014) Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Kitchenham, B., e Brereton, P. (2013) A systematic review of systematic review process research in software engineering. *Information and Software Technology*, 55(12), 2049–2075. doi:10.1016/j.infsof.2013.07.010
- Lajunen, A. (2014) Energy consumption and cost-benefit analysis of hybrid and electric city buses. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 38, 1–15. doi:10.1016/j.trc.2013.10.008
- Li, X., Castellanos, S., e Maassen, A. (2018) Emerging trends and innovations for electric bus adoption—a comparative case study of contracting and financing of 22 cities in the Americas, Asia-Pacific, and Europe. *Research in Transportation Economics*, 69, 470–481. doi:10.1016/j.retrec.2018.06.016
- Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P. C., Ioannidis, J. P. A., Clarke, M., Devereaux, P. J., Kleijnen, J., e Moher, D. (2009) The PRISMA Statement for Reporting Systematic Reviews and Meta-Analyses of Studies That Evaluate Health Care Interventions: Explanation and Elaboration. *PLoS Medicine*, 6(7), e1000100. doi:10.1371/journal.pmed.1000100
- Lopes, T. F. A., Policarpo, N. A., Vasconcelos, V. M. R., e Oliveira, M. L. M. de. (2018) Estimativa das emissões veiculares na região metropolitana de Fortaleza, CE, ano-base 2010. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 23(5), 1013–1025. doi:10.1590/s1413-41522018173312
- López, J. A., Herrera, V. I., Camblong, H., Milo, A., e Gaztanaga, H. (2018) Energy Management Improvement Based on Fleet Learning for Hybrid Electric Buses. (p. 1–6). IEEE. doi:10.1109/VPPC.2018.8605025
- Nieuwenhuijsen, M., e Khreis, H. (2019) *Integrating Human Health into Urban and Transport Planning A Framework*. Springer International Publishing: Imprint: Springer, Cham. Obtido de <https://link.springer.com/10.1007/978-3-319-74983-9>
- Orbea, J., Castellanos, S., Albuquerque, C., Sclar, R., e Pinheiro, B. (2019) Adapting Procurement Models for Electric Buses in Latin America. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 036119811984609. doi:10.1177/0361198119846097
- Pérez-Prada, F., Alves, B. B., Sethi, K., Barrés, D. P., e Qiu, Y. (2019) Clean Bus Technologies and the Cost-Effectiveness of Emissions Reductions in Latin America. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 036119811982868. doi:10.1177/0361198119828684
- Requia, W. J., Mohamed, M., Higgins, C. D., Arain, A., e Ferguson, M. (2018) How clean are electric vehicles? Evidence-based review of the effects of electric mobility on air pollutants, greenhouse gas emissions and human health. *Atmospheric Environment*, 185, 64–77. doi:10.1016/j.atmosenv.2018.04.040
- Scarinci, R., Zanarini, A., e Bierlaire, M. (2019) Electrification of urban mobility: The case of catenary-free buses. *Transport Policy*, 80, 39–48. doi:10.1016/j.tranpol.2019.05.006
- Stanley, J. K., Hensher, D. A., e Loader, C. (2011) Road transport and climate change: Stepping off the greenhouse gas. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 45(10), 1020–1030. doi:10.1016/j.tra.2009.04.005
- Tang, L. H., e Gao, T. J. (2011) Study on Operation Monitoring System Used by Battery Electric Vehicle. *Applied Mechanics and Materials*, 148–149, 697–702. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.148-

149.697

- Tayarani, M., Poorfakhraei, A., Nadafianshahamabadi, R., e Rowangould, G. (2018) Can regional transportation and land-use planning achieve deep reductions in GHG emissions from vehicles? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 63, 222–235. doi:10.1016/j.trd.2018.05.010
- Topal, O. (2017) Electric bus concept against to diesel and CNG bus for public transport operations. (p. 105–109). IEEE. doi:10.1109/SGCF.2017.7947612
- Uk-Don Choi, Ho-Kwon Jeong, e Sun-Kyu Jeong. (2012) Commercial operation of ultra low floor electric bus for Seoul city route. (p. 1128–1133). IEEE. doi:10.1109/VPPC.2012.6422619
- Ülengin, F., Işık, M., Ekici, Ş. Ö., Özaydın, Ö., Kabak, Ö., e Topçu, Y. İ. (2018) Policy developments for the reduction of climate change impacts by the transportation sector. *Transport Policy*, 61, 36–50. doi:10.1016/j.tranpol.2017.09.008
- van der Straten, P., Wiegmans, B. W., e Schelling, A. B. (2007) Enablers and Barriers to the Adoption of Alternatively Powered Buses. *Transport Reviews*, 27(6), 679–698. doi:10.1080/01441640701248518
- World Resources Institute, Gorguinpour, C., Castellanos, S., Li, X., e Sclar, R. (2019) How to Enable Electric Bus Adoption in Cities Worldwide: A Guiding Report for City Transit Agencies and Bus Operating Entities.
- Yamamoto, A., Fukuda, M., e Utsumi, H. (2016) Vehicle Management and Travel Data Analysis of E-Bus Adopted in JR Kesennuma Line. *World Electric Vehicle Journal*, 8(1), 122–130. doi:10.3390/wevj8010122

Eduardo Henrique Siqueira (eduardo.siqueira@wri.org)

Berta Castelar Pinheiro (berta.pinheiro@wri.org)

Virginia Bergamaschi Tavares (virginiabtavares@gmail.com)

WRI Brasil

Av. Independência, 1299 – 401 – Porto Alegre, RS, Brasil

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

Av. Osvaldo Aranha, 99 – 5º andar – Porto Alegre, RS, Brasil