

PRESERVAÇÃO AMBIENTAL E MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL: Uma Análise de Caso dos Ônibus Elétricos em Porto Alegre/RS

Magda da Silveira Elkfury¹
Tarcisio Dorn de Oliveira²
Daniel Claudy da Silveira³

<http://dx.doi.org/10.21527/2237-6453.2025.62.16959>

Submetido em: 10/2/2025

Aceito em: 9/4/2025

Publicado em: 30/6/2025

RESUMO

A mobilidade urbana sustentável é um conceito que busca integrar soluções de transporte que promovam a preservação ambiental nas cidades baseando-se em princípios que reduzem os impactos negativos do transporte convencional, como poluição, engarrafamentos e exclusão social. O objetivo deste artigo é investigar a relevância da mobilidade urbana sustentável por meio da análise do uso de ônibus elétricos em Porto Alegre/RS ao fomentar uma alternativa mais sustentável e inteligente para a cidade. Metodologicamente, considerando os procedimentos, o texto ancora-se em uma revisão bibliográfica, pesquisa documental e estudo de caso. Em relação à interpretação dos dados, opta-se pela análise de conteúdo categorial considerando-se quatro eixos: Redução de Emissões, Eficiência Energética, Infraestrutura e Custos e Impacto Social e Econômico. Como resultados nota-se que a mobilidade urbana sustentável em Porto Alegre ganha destaque com o uso de ônibus elétricos, uma iniciativa que combina eficiência, inclusão social e responsabilidade ambiental. O sistema adotado na capital gaúcha surge como uma solução estratégica para reduzir significativamente a emissão de gases poluentes e a dependência de combustíveis fósseis, proporcionando benefícios diretos à qualidade do ar e à saúde pública. Paralelamente aos ganhos ambientais, no caso de Porto Alegre, os ônibus elétricos também se mostram vantajosos sob a ótica econômica, uma vez que, embora exijam investimentos iniciais mais elevados, oferecem custos operacionais e de manutenção mais baixos ao longo do tempo, tornando-se uma opção financeiramente viável e sustentável. A adoção desse modal, portanto, representa um passo importante na construção de sistemas de transporte urbano mais modernos e alinhados aos desafios globais no que se refere à preservação ambiental.

Palavras-chave: mobilidade urbana sustentável; ônibus elétricos; transporte público.

ENVIRONMENTAL PRESERVATION AND SUSTAINABLE URBAN MOBILITY: A CASE ANALYSIS OF ELECTRIC BUSES IN PORTO ALEGRE/RS

ABSTRACT

Sustainable urban mobility is a concept that seeks to integrate transportation solutions that promote environmental preservation in cities, based on principles that reduce the negative impacts of conventional transportation, such as pollution, traffic jams, and social exclusion. The objective of this article is to investigate the relevance of sustainable urban mobility by analyzing the use of electric buses in Porto Alegre/RS by promoting a more sustainable and intelligent alternative for the city. Methodologically, considering the procedures, the text is anchored in a bibliographic review, documentary research, and case study. Regarding the interpretation of the data, we opted for categorical content analysis considering four axes: Emissions Reduction, Energy Efficiency, Infrastructure and Costs, and Social and Economic Impact. As a result, we note that sustainable urban mobility in Porto Alegre gains prominence with the use of electric buses, an initiative that combines efficiency, social inclusion, and environmental responsibility. The system adopted in the capital of Rio Grande do Sul is a strategic solution to significantly reduce the emission of polluting gases and dependence on fossil fuels, providing direct benefits to air quality and public health. In addition to the environmental gains, in the case of Porto Alegre, electric buses also prove advantageous from an economic perspective, since, although they require higher initial investments, they offer lower operating and maintenance costs over time, making them a financially viable and sustainable option. The adoption of this mode, therefore, represents an important step in the construction of more modern urban transportation systems that are aligned with global challenges regarding environmental preservation.

¹ Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – Unijuí. Ijuí/RS, Brasil. <https://orcid.org/0009-0006-4170-1956>

² Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – Unijuí. Ijuí/RS, Brasil. <https://orcid.org/0000-0001-5842-2415>

³ Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – Unijuí. Ijuí/RS, Brasil. <https://orcid.org/0000-0003-4379-6144>

Keywords: sustainable urban mobility; electric buses; public transportation.

INTRODUÇÃO

Ao considerar o contexto do direito a uma cidade acessível, as políticas públicas devem ser orientadas pela ideia de equidade e justiça social, buscando superar as desigualdades urbanas e garantir a participação efetiva dos cidadãos nas tomadas de decisão sobre o planejamento urbano e a gestão da cidade. Para Maciel (2000), no entanto, a estrutura das sociedades, desde os seus primórdios, sempre incapacitou os portadores de deficiência, marginalizando-os e privando-os de liberdade, quando essas pessoas, sem respeito, sem atendimento, sem direitos, sempre foram alvo de atitudes preconceituosas e ações impiedosas. Logo, o conceito de acessibilidade deve atuar como elemento unificador para conectar investimentos, políticas públicas e o uso do solo com questões relacionadas à inclusão social e à qualidade de vida das pessoas, a fim de atender às necessidades básicas e garantir a liberdade individual de todos.

O conceito de transporte sustentável tem ganhado relevância, focando em soluções que minimizem os impactos ambientais sem comprometer a eficiência e a acessibilidade do sistema de transporte. Entre essas soluções, o uso de ônibus elétricos destaca-se como uma alternativa eficaz para a redução da emissão de CO₂ e outros poluentes nocivos, além de proporcionar um ambiente urbano mais silencioso e agradável (Jenkins; Barron; Smith, 2021). A eletrificação do transporte público, especialmente em grandes centros urbanos, como Porto Alegre, surge como uma estratégia fundamental para diminuir a dependência de combustíveis fósseis e reduzir a emissão de carbono do setor de mobilidade.

Porto Alegre, a capital do Rio Grande do Sul, tem adotado iniciativas para tornar o transporte público mais sustentável. Desde 2019 a cidade iniciou a operação de ônibus elétricos em duas rotas específicas como parte de um projeto piloto para testar a viabilidade da tecnologia, contando com 12 veículos e sua aceitação entre os usuários. Essa iniciativa alinha-se com as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU – Lei nº 12.587/2012), que promove a priorização de modos de transporte coletivos e não motorizados, bem como a eletrificação da frota pública para reduzir emissões e melhorar a qualidade do ar (Brasil, 2012). As políticas nacionais e tratados internacionais, como o Acordo de Paris, ratificado pelo Brasil, comprometem o país a adotar tecnologias mais limpas no setor de transporte para reduzir a emissão de gases de efeito estufa (Conama, 2018).

Os ônibus elétricos apresentam-se como uma solução potencial para esse desafio, oferecendo uma alternativa para diminuir a emissão de gases de efeito estufa e melhorar a qualidade do ar. A introdução dessa tecnologia, no entanto, enfrenta uma série de dificuldades. Entre os principais obstáculos estão os altos custos iniciais de aquisição, que podem ser até três vezes superiores aos de ônibus a diesel, e a necessidade de infraestrutura robusta para estações de carregamento, além da adaptação das redes de transporte para maximizar a eficiência energética (Banister, 2020; Jenkins; Barron; Smith, 2021). Outros desafios são o desenvolvimento de tecnologias de baterias que permitam maior autonomia, reduzindo a necessidade de recargas frequentes, e o estabelecimento de planos claros para a reciclagem e descarte dessas baterias (Givoni; Banister, 2020).

A justificativa para a adoção de ônibus elétricos em Porto Alegre baseia-se na necessidade urgente de promover um transporte urbano sustentável, reduzindo a emissão de gases de efeito estufa e melhorando a qualidade do ar. A poluição atmosférica é um problema crítico de saúde pública relacionado a milhares de mortes prematuras anuais em cidades brasileiras devido a doenças respiratórias e cardiovasculares, além de gerar altos custos para os sistemas de saúde (Santos; Silva; Oliveira, 2021). Estudos mostram que a substituição de ônibus movidos a diesel por elétricos pode reduzir a emissão de CO₂ em até 40% e diminuir em mais de 70% a liberação de partículas finas, contribuindo para a melhoria da saúde e mitigando os efeitos das mudanças climáticas (Geels, 2018).

Do ponto de vista econômico, embora o investimento inicial em ônibus elétricos seja elevado, eles apresentam maior eficiência energética e menor custo de manutenção ao longo de sua vida útil. Essa economia de longo prazo pode compensar os custos adicionais de aquisição, tornando os ônibus elétricos uma opção economicamente viável e sustentável (Jenkins; Barron; Smith, 2021). Além disso, o uso desses veículos contribui para a diversificação da matriz energética do país, promovendo fontes renováveis e reduzindo a dependência de combustíveis fósseis, o que fortalece a segurança energética (Sachs, 2015). Porto Alegre, como um importante centro urbano do Sul do Brasil, tem a oportunidade de liderar a instalação dessa tecnologia, servindo como exemplo de inovação e compromisso com as metas climáticas globais.

O principal problema abordado neste estudo é a busca por alternativas sustentáveis para o transporte público em Porto Alegre, que, atualmente, depende de veículos movidos a combustíveis fósseis, uma das maiores fontes de poluição urbana. No Brasil, o setor de transporte é responsável por cerca de 45% da emissão de CO₂ proveniente de combustíveis fósseis, evidenciando a necessidade urgente de soluções que reduzam o impacto ambiental sem comprometer a eficiência do serviço (AIE, 2021). O objetivo deste artigo é investigar a relevância da mobilidade urbana sustentável por meio da análise do uso de ônibus elétricos em Porto Alegre/RS, ao fomentar uma alternativa mais sustentável e inteligente para a cidade.

METODOLOGIA

No que diz respeito aos procedimentos adotados, esta investigação recorre à revisão bibliográfica, pesquisa documental e estudo de caso. Para Gil (2002), a revisão bibliográfica é uma etapa fundamental, pois permite ao pesquisador conhecer o estado da arte sobre o tema, identificar lacunas no conhecimento e embasar teoricamente o estudo com informações confiáveis e relevantes. Quanto à pesquisa documental, o referido autor salienta que ela envolve a análise de materiais que não receberam tratamento analítico prévio, como documentos oficiais, relatórios e arquivos históricos, sendo essencial para compreender contextos específicos e enriquecer o estudo com dados primários. Já em relação ao estudo de caso, ele ressalta que é uma estratégia que possibilita a investigação detalhada de um fenômeno específico, buscando compreendê-lo em profundidade dentro de seu contexto real, utilizando diferentes fontes de evidências.

Ao considerar a interpretação dos dados, opta-se pela análise de conteúdo categorial, que se estrutura em quatro categorias principais: 1. Redução de Emissões; 2. Eficiência Energética; 3. Infraestrutura e Custos; e 4. Impacto Social e Econômico. Para Bardin (1977), a análise de

conteúdo é um procedimento estruturado que se inicia com a pré-análise, que consiste na seleção cuidadosa dos documentos ou materiais a serem analisados, permitindo ao pesquisador adquirir uma compreensão geral do material sem entrar, ainda, em uma análise profunda. Após essa etapa inicial o tratamento dos resultados é realizado, organizando-se o conteúdo em categorias temáticas, em que o material é agrupado conforme semelhanças ou relações identificadas nas informações. Finalmente, na etapa de interpretação dos resultados o pesquisador realiza uma análise das categorias, explorando as relações entre elas e buscando padrões significativos que podem oferecer uma compreensão mais profunda do fenômeno estudado.

EMBASAMENTO TEÓRICO

A urbanização acelerada nas últimas décadas ampliou significativamente a demanda por mobilidade urbana, impulsionando a expansão do uso de veículos movidos a combustíveis fósseis e, em muitos casos de forma desordenada, gerando impactos ambientais e sociais, como poluição do ar, congestionamentos e o agravamento das condições de saúde pública. No Brasil, onde cerca de 84% da população vive em áreas urbanas, conforme dados do IBGE (2021), intensifica-se a necessidade de soluções que promovam uma mobilidade mais eficiente, acessível e sustentável nas cidades. Nesse contexto, a introdução de ônibus elétricos em Porto Alegre configura-se como uma estratégia relevante para a modernização do transporte urbano, contribuindo para a redução de emissões, maior eficiência energética e diminuição dos custos operacionais ao longo do tempo.

A adoção de uma frota elétrica alinharia a cidade às diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana – Lei nº 12.587 (Brasil, 2012) – e da Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC – Lei nº 12.187 (Brasil, 2009) –, que incentivam práticas de transporte sustentável e a redução de emissões de poluentes. O compromisso do Brasil com o Acordo de Paris e as normas do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) reforçam a necessidade de investir em tecnologias de baixo carbono para melhorar a qualidade do ar e promover um desenvolvimento urbano mais sustentável (Conama, 2018). Experiências internacionais, como as de Shenzhen, na China, Santiago, no Chile, e Bogotá, na Colômbia, demonstram que a transição para ônibus elétricos é viável com o suporte adequado de políticas públicas e incentivos econômicos, incluindo subsídios para aquisição e desenvolvimento de infraestrutura de recarga (Givoni; Banister; 2020). Esses exemplos, no entanto, também revelam desafios logísticos, como a exigência de planejamento estratégico para a manutenção e a criação de uma rede eficiente de estações de recarga (Geels, 2018).

Nessa perspectiva, o conceito de sustentabilidade no transporte público envolve a promoção de um sistema que seja eficiente e reduzido em emissões de carbono. Recentemente autores, como Gössling (2021), discutem a importância da integração de tecnologias verdes, argumentando que os transportes coletivos precisam se adaptar rapidamente para enfrentar os desafios das mudanças climáticas. Na Europa, políticas para transporte sustentável foram aceleradas pela pandemia de Covid-19, que evidenciou a necessidade de repensar a mobilidade urbana para promover saúde pública e reduzir emissões (Schwedes, 2022). A sustentabilidade no transporte público refere-se à capacidade de fornecer mobilidade eficiente e acessível, minimizando o consumo de recursos não renováveis e reduzindo a emissão de poluentes. Sachs (2015) define a sustentabilidade como a habilidade de atender às demandas atuais

sem comprometer as futuras gerações, e no contexto do transporte isso implica a adoção de tecnologias que promovam a eficiência energética e reduzam o impacto ambiental.

A mobilidade urbana, como aponta Vasconcellos (2012), envolve a capacidade de deslocamento dos indivíduos em meio urbano, abrangendo a infraestrutura, as políticas públicas e os recursos tecnológicos que compõem o sistema de transporte. Para Vasconcellos (2012), a mobilidade não é meramente uma questão de deslocamento, mas de acessibilidade e de qualidade de vida, especialmente em contextos urbanos complexos. Já Deakin (2001) observa que a mobilidade implica acesso não apenas a bens e serviços, mas também a oportunidades sociais, econômicas e culturais, sendo essencial para o desenvolvimento pessoal e coletivo.

A mobilidade sustentável, por sua vez, é conceituada como uma abordagem integrada para desenvolver sistemas de transporte que sejam ambientalmente adequados, economicamente viáveis e socialmente justos (Locher, 2016). De acordo com Rolnik (2015), a mobilidade sustentável é essencial para enfrentar os desafios da urbanização contemporânea, pois busca reduzir a dependência de automóveis individuais, melhorar a eficiência do transporte coletivo e diminuir a emissão de gases poluentes, promovendo um desenvolvimento urbano mais equilibrado e inclusivo. A introdução de tecnologias limpas, como os ônibus elétricos, representa um avanço nessa direção, contribuindo para a preservação ambiental e o uso racional dos recursos naturais (Araujo, 2014).

A justiça espacial está relacionada à distribuição equitativa dos recursos e à promoção do acesso universal aos serviços urbanos, incluindo o transporte (Raffestin, 1993). No contexto da mobilidade, a justiça espacial busca garantir que todos os cidadãos tenham acesso a serviços de transporte eficientes e acessíveis, independentemente de sua localização, condição socioeconômica ou raça (Rolnik, 2015). A prática de políticas de mobilidade que priorizem o transporte coletivo é uma medida fundamental para garantir a justiça espacial nas cidades brasileiras (Locher, 2016). Como afirmam Fernandes e Santos (2017), a mobilidade é um direito fundamental, pois dela depende o exercício de outros direitos e a plena inclusão na vida urbana.

A promoção de um sistema de transporte sustentável, que contemple o princípio da justiça espacial, exige que as políticas de mobilidade considerem as necessidades dos diferentes grupos sociais e promovam a equidade no acesso aos serviços urbanos. Para Araujo (2014), os ônibus elétricos representam uma solução que contribui tanto para a sustentabilidade ambiental quanto para a justiça espacial, ao oferecer alternativas de transporte menos poluentes e acessíveis a diferentes regiões da cidade. Assim, a justiça espacial é um princípio central para o desenvolvimento de um sistema de mobilidade sustentável que seja inclusivo e socialmente justo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O histórico do estabelecimento de ônibus elétricos em Porto Alegre (RS) teve início nos anos 1980, quando a cidade experimentou pela primeira vez o uso de trólebus como alternativa ao transporte convencional movido a combustíveis fósseis. Esses veículos, alimentados por energia elétrica mediante cabos aéreos, circularam em linhas específicas até meados dos anos 1990, quando foram desativados devido a dificuldades financeiras e operacionais, incluindo altos custos de manutenção e a necessidade de infraestrutura dedicada. Após décadas sem avanços signifi-

cativos nessa área, o debate sobre transporte sustentável foi retomado no início dos anos 2000, mas apenas em 2018 houve um marco importante: a realização de testes com ônibus elétricos movidos a baterias como parte de uma iniciativa de modernização do transporte coletivo.

Em 2021 Porto Alegre deu um passo concreto ao apresentar o primeiro ônibus elétrico em caráter experimental, marcando o início de um novo ciclo de inovação no sistema de transporte público. Esse veículo operou em rotas urbanas para avaliar sua viabilidade técnica e econômica, bem como os impactos ambientais e sociais. Em 2022 um segundo ônibus elétrico foi adicionado à frota experimental, intensificando os testes e possibilitando a coleta de dados mais robustos sobre o desempenho dos veículos. Esses esforços culminaram, em 2023, na inclusão do tema na agenda de políticas públicas municipais, com planos de expandir gradualmente a frota e investir em infraestrutura de recarga. Ainda que o processo enfrente desafios, como altos custos iniciais e a necessidade de maior planejamento, as metas de médio e longo prazos buscam transformar Porto Alegre em um exemplo de mobilidade sustentável no Brasil.

Atualmente Porto Alegre conta com 12 ônibus elétricos em operação, distribuídos por três linhas específicas: E178 Praia de Belas, E703 Vila Farrapos e E378 Integradora Centro. Esses veículos são utilizados em rotas que abrangem áreas importantes da cidade, incluindo o Centro Histórico e os Bairros Menino Deus e Praia de Belas, além da integração com hospitais e outras regiões, como Farrapos e Humaitá. As linhas partem do Terminal Mercado e realizam trajetos com até 190 quilômetros diários. Os ônibus são abastecidos em três estações de recarga espalhadas pela cidade, evidenciando um esforço contínuo para a modernização sustentável do transporte público. Em Porto Alegre o aumento de 30% no número de veículos particulares na última década agravou os problemas de tráfego e poluição (EPTC, 2022), reforçando a necessidade de soluções como os ônibus elétricos, que podem oferecer uma experiência de transporte mais eficiente e limpa.

A seguir, tal modal pode ser analisado sob quatro prismas, a saber: 1. Redução de Emissões; 2. Eficiência Energética; 3. Infraestrutura e Custos; e 4. Impacto Social e Econômico.

Redução de Emissões: os ônibus elétricos representam uma alternativa essencial para a redução de emissões no transporte urbano. Sendo veículos zero emissões no ponto de uso, eles não produzem gases de efeito estufa e outros poluentes atmosféricos, como monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio (NO₂) e material particulado, substâncias comumente emitidas por ônibus a combustão interna. Em cidades grandes e densamente povoadas, como Porto Alegre, que enfrenta níveis preocupantes de poluição, a adoção de ônibus elétricos contribui diretamente para a melhoria da qualidade do ar e da saúde pública. Segundo Araujo (2014), a mobilidade sustentável é uma questão premente nos centros urbanos brasileiros, e as tecnologias de baixa emissão são essenciais para a construção de cidades mais saudáveis e ambientalmente equilibradas.

A utilização de ônibus elétricos está alinhada com os compromissos climáticos internacionais assumidos pelo Brasil, como o Acordo de Paris, no qual o país se comprometeu a reduzir suas emissões de gases de efeito estufa (Conama, 2018). Nesse sentido, a transição para uma frota de transporte coletivo elétrico contribui para que Porto Alegre e outras cidades brasileiras avancem rumo às metas de descarbonização. Estudos de Locher (2016) mostram que o transporte coletivo desempenha um papel estratégico na redução das emissões em áreas urbanas, principalmente quando há políticas públicas que incentivam a eletrificação da

frota. Para Porto Alegre, os ônibus elétricos representam um compromisso com o desenvolvimento sustentável e a promoção de uma mobilidade urbana que respeite o meio ambiente e o bem-estar dos cidadãos.

Os ônibus elétricos proporcionam benefícios significativos tanto econômicos quanto ambientais. Além de reduzirem as emissões de CO₂ e outros poluentes, melhoram a qualidade do ar e diminuem o risco de doenças respiratórias e cardiovasculares (Geels, 2018). Estudos de Jenkins, Barron, Smith (2021) mostram que, em Santiago, a introdução de uma frota elétrica resultou em uma economia de 30% nos custos operacionais e uma redução de 25% nas emissões de CO₂. Em Porto Alegre, iniciativas de parcerias público-privadas têm sido essenciais para a introdução inicial de ônibus elétricos, ajudando a compartilhar custos e desenvolver a infraestrutura necessária (EPTC, 2022). Sachs (2015) reforça que a diversificação da matriz energética, por meio do uso de veículos elétricos, fortalece a segurança energética e reduz a dependência de combustíveis fósseis, proporcionando economia a longo prazo devido ao menor custo de operação e manutenção.

Eficiência Energética: os ônibus elétricos também se destacam pela sua eficiência energética em comparação com os veículos movidos a combustíveis fósseis. Os motores elétricos convertem até 85% da energia elétrica armazenada em movimento, enquanto os motores a combustão interna apresentam uma eficiência média de 25% a 30%, perdendo grande parte da energia em forma de calor. Segundo Vasconcellos (2012), a eficiência dos veículos elétricos proporciona uma redução no consumo de recursos naturais e nos custos operacionais, fatores que favorecem a sustentabilidade econômica e ambiental do transporte coletivo.

No Brasil, e em Porto Alegre especificamente, a utilização de ônibus elétricos pode beneficiar-se da matriz energética majoritariamente renovável do país, composta, em grande parte, por energia hidrelétrica. De acordo com Rolnik (2015), o uso de energia renovável no transporte coletivo é uma maneira de maximizar os benefícios ambientais dos ônibus elétricos, pois a matriz energética sustentável do Brasil amplifica os impactos positivos desse tipo de mobilidade. Dessa forma, Porto Alegre encontra nos ônibus elétricos uma solução que une eficiência energética e sustentabilidade, aproveitando-se de recursos renováveis que reforçam o compromisso da cidade com um futuro mais verde e alinhado às metas climáticas nacionais.

A estruturação dos ônibus elétricos enfrenta desafios tecnológicos e logísticos, especialmente relacionados à autonomia das baterias e à necessidade de uma rede de recarga eficiente. Santos (2021) menciona que tecnologias emergentes, como baterias de estado sólido, podem oferecer soluções para esses problemas, aumentando a capacidade de armazenamento e reduzindo o tempo de recarga. Esses avanços, entretanto, demandam investimentos em pesquisa e desenvolvimento. Banister (2020) sugere que o planejamento urbano deve considerar a localização estratégica das estações de recarga e a integração com outros modos de transporte para garantir a viabilidade da eletrificação completa. Recentes avanços em baterias de estado sólido prometem resolver esses problemas, segundo Wu e Zhang (2023). Além disso, a instalação bem-sucedida requer planejamento urbano integrado, que considere as necessidades futuras e a possibilidade de expansão da infraestrutura de recarga. Exemplo como o de Shenzhen mostra que uma rede bem distribuída de estações de recarga rápida foi essencial para o sucesso da eletrificação da frota de ônibus.

Outra questão fundamental que merece destaque é o papel significativo dos ônibus elétricos na mitigação da poluição sonora, um problema urbano que afeta tanto a qualidade de vida quanto a saúde da população. Diferentemente dos veículos a combustão, que geram altos níveis de ruído devido ao motor e ao atrito mecânico, os ônibus elétricos operam de forma mais silenciosa, reduzindo consideravelmente os índices de poluição sonora nas cidades. Lindau, Hidalgo e Souza (2013), especialistas em mobilidade urbana sustentável, afirmam que a eletrificação do transporte público não apenas diminui a emissão de poluentes atmosféricos, mas também reduz o estresse e os danos à saúde causados pelo ruído excessivo do trânsito, como distúrbios do sono e problemas cardiovasculares. Dessa forma, a adoção de frotas elétricas representa uma alternativa viável para a construção de ambientes urbanos mais saudáveis e sustentáveis, pois reduz significativamente a emissão de poluentes atmosféricos e sonoros, posto que, com menor ruído e ausência de queima de combustíveis fósseis, esses veículos contribuem para a melhoria da qualidade do ar e o bem-estar da população.

Infraestrutura e Custos: um dos maiores desafios para a adoção de ônibus elétricos em Porto Alegre envolve a criação de uma infraestrutura adequada para recarga e os custos iniciais elevados desses veículos. A introdução de ônibus elétricos exige um investimento em estações de recarga distribuídas de maneira estratégica, garantindo que os veículos possam operar ininterruptamente. Conforme observado por Deakin (2001), a infraestrutura de suporte é essencial para a adoção eficiente de uma frota elétrica, sendo necessária a construção de estações de recarga rápida e a ampliação da rede de distribuição de energia nas áreas urbanas.

Embora o custo inicial dos ônibus elétricos seja maior em comparação aos modelos a diesel, o custo de manutenção e operação é consideravelmente menor a médio e longo prazos. Para Fernandes e Santos (2017), a vida útil dos componentes de veículos elétricos é mais longa, e a necessidade de manutenção é reduzida devido à menor quantidade de peças móveis nos motores elétricos. Esse fator resulta em uma economia significativa ao longo do tempo, o que torna a opção por ônibus elétricos financeiramente viável em um horizonte mais extenso. Para cidades como Porto Alegre, onde o orçamento do transporte público é limitado, os benefícios financeiros a longo prazo da frota elétrica tornam-se um argumento convincente. Além disso, incentivos e subsídios governamentais podem ajudar a superar as barreiras iniciais, viabilizando a criação de uma infraestrutura de recarga robusta e acessível.

O uso de ônibus elétricos traz vantagens econômicas e ambientais significativas. Recentemente, García, Martínez e Pérez (2023) destacaram que, além de reduzir emissões, esses veículos contribuem para diminuir custos operacionais ao longo do tempo, algo essencial para o planejamento sustentável das cidades. Em Porto Alegre, iniciativas de parcerias público-privadas, que compartilham os custos de infraestrutura, são um exemplo de como mitigar desafios financeiros. Os avanços na tecnologia de ônibus elétricos têm sido significativos. Jenkins, Barron e Smith (2021) destacam que modelos modernos são mais eficientes, exigem menos manutenção e são mais silenciosos que os veículos a diesel, contribuindo para um ambiente urbano mais agradável. Cidades, como Shenzhen, demonstram que a eletrificação completa da frota de ônibus pode reduzir drasticamente as emissões de poluentes e os custos operacionais, evidenciando o impacto positivo dessa tecnologia (Givoni; Banister, 2020). Apesar desses avanços, desafios como a infraestrutura de recarga e a autonomia limitada das baterias ainda precisam ser superados, e a instalação de estações de recarga rápida em locais estratégicos pode ajudar a maximizar a eficiência operacional desses veículos.

Impacto Social e Econômico: a transição para uma frota de ônibus elétrica também tem potencial para gerar impactos sociais e econômicos positivos em Porto Alegre. A adoção de ônibus elétricos cria novas oportunidades de emprego em algumas áreas, como manutenção de veículos elétricos, instalação de infraestruturas de recarga e gestão da operação dos novos veículos. De acordo com Araujo (2014), a eletrificação da mobilidade urbana impulsiona o mercado de trabalho, promovendo a capacitação de profissionais e o desenvolvimento de novas habilidades tecnológicas, o que pode ser particularmente benéfico para a economia local.

Além disso, os benefícios de saúde pública, decorrentes da redução de poluentes atmosféricos, são de grande relevância para a população de Porto Alegre, especialmente para aqueles que vivem em regiões com maior exposição à poluição do ar, o que é um fator conhecido por aumentar a incidência de doenças respiratórias e cardiovasculares, impactando diretamente a qualidade de vida dos habitantes das cidades (Locher, 2016). A transição para ônibus elétricos contribui para a criação de um ambiente urbano mais saudável, reduzindo os custos com saúde pública e melhorando a segurança dos cidadãos. Porto Alegre, ao adotar uma frota de ônibus menos poluente, promove uma mobilidade que prioriza a saúde e o bem-estar da população, especialmente das comunidades mais vulneráveis.

A mobilidade elétrica também contribui para a criação de uma cidade mais justa e inclusiva, uma vez que a qualidade do transporte coletivo afeta diretamente o acesso da população a serviços, oportunidades de trabalho e atividades de lazer. Para Rolnik (2015), um sistema de transporte público sustentável e acessível é um componente essencial na promoção de uma cidade mais equitativa. Assim, a eletrificação da frota de ônibus em Porto Alegre não apenas beneficia o meio ambiente, mas também fomenta a justiça social ao melhorar o transporte público e torná-lo mais acessível, seguro e sustentável.

A promoção de sistemas de transporte sustentável no Brasil é orientada pela Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU – Lei nº 12.587/2012) e pela Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC – Lei nº 12.187/2009). Essas políticas incentivam o uso de tecnologias de baixo carbono para reduzir emissões e aumentar a eficiência energética (Brasil, 2012, 2009). Experiências internacionais, como os incentivos fiscais adotados em Oslo, na Noruega, e nos Países Baixos, evidenciam que esse tipo de política pode ampliar o acesso aos veículos elétricos e estimular o uso de fontes de energia renovável. O apoio de políticas públicas é crucial para a transição para as tecnologias sustentáveis, exigindo incentivos fiscais e subsídios para a aquisição de veículos elétricos e desenvolvimento de infraestrutura. Recentemente, Santos (2021) sugeriu que, para um sucesso a longo prazo, é necessário que os incentivos sejam acompanhados de regulamentações claras para infraestrutura e reciclagem de baterias. Ademais, experiências bem-sucedidas, como a de Oslo, demonstram que subsídios combinados com campanhas educacionais aumentam a aceitação pública e a eficiência do sistema (Hagman, 2021).

A eletrificação do transporte público é essencial para atrair investimentos e fomentar um crescimento econômico equilibrado e ecologicamente responsável na cidade. Além dos impactos ambientais e econômicos, a eletrificação do transporte público é uma estratégia fundamental para atingir os objetivos globais de sustentabilidade. Iniciativas como o Acordo de Paris e a Agenda 2030 da ONU, com seus Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), destacam a importância de promover sistemas de transporte inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis. A transição para uma frota de ônibus elétricos em Porto Alegre alinha-se diretamente ao ODS

11, que visa a tornar as cidades e comunidades mais sustentáveis, e ao ODS 13, que trata da ação contra a mudança global do clima. A viabilidade desse projeto, todavia, depende de uma série de fatores que precisam ser abordados para garantir o sucesso a longo prazo.

Entre os desafios estão o alto custo inicial dos veículos, a necessidade de infraestrutura robusta para carregamento e a adaptação de rotas e horários para otimizar a eficiência energética. Superar esses obstáculos requer a colaboração entre o setor público e o privado, além de investimentos contínuos em pesquisa e desenvolvimento para melhorar a tecnologia das baterias e a infraestrutura de apoio. A experiência de outras cidades mostra que políticas públicas robustas, incentivos fiscais e subsídios podem acelerar a adoção de ônibus elétricos. A colaboração com empresas de energia para criar uma rede eficiente de estações de recarga e o desenvolvimento de estratégias para o gerenciamento da demanda de eletricidade, são fundamentais para evitar sobrecargas na rede elétrica local.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo reforça que a adoção de ônibus elétricos é uma estratégia promissora para tornar o transporte público de Porto Alegre mais sustentável e eficiente. A análise revelou que, apesar de desafios significativos, como os altos custos iniciais e a necessidade de uma infraestrutura de recarga adequada, os benefícios ambientais, econômicos e sociais são consideráveis. A análise da mobilidade urbana sustentável por meio do estudo dos ônibus elétricos em Porto Alegre, revela um caminho promissor para o desenvolvimento de sistemas de transporte mais eficientes, inclusivos e ambientalmente responsáveis. Os ônibus elétricos destacam-se como uma alternativa relevante para reduzir as emissões de poluentes e o consumo de combustíveis fósseis, mitigando o impacto ambiental e contribuindo para uma melhor qualidade do ar nas cidades. Além dos benefícios ambientais, esse modal de transporte atende a aspectos econômicos, posto que, a médio e longo prazos, os veículos elétricos demandam menor custo de manutenção e operam de maneira mais eficiente em relação aos modelos convencionais.

A mobilidade sustentável, quando pensada em uma perspectiva de justiça espacial, desempenha um papel fundamental no acesso universal ao transporte público de qualidade, atendendo diferentes áreas e faixas socioeconômicas da cidade. A inclusão dos ônibus elétricos em Porto Alegre, quando acompanhada de políticas públicas adequadas, possibilita maior equidade no sistema de transporte, beneficiando tanto os centros urbanos quanto as áreas periféricas. Este modelo sustentável de mobilidade não apenas melhora o cotidiano dos cidadãos, mas também amplia as oportunidades de desenvolvimento e bem-estar para a população em geral. Este estudo reforça a importância de um planejamento integrado e participativo, em que o poder público, a sociedade civil e o setor privado colaboram para impulsionar a transição para uma mobilidade urbana mais sustentável. Assim, a adoção dos ônibus elétricos em Porto Alegre surge como um exemplo significativo e replicável para outras cidades, promovendo um sistema de transporte mais justo, acessível e alinhado aos objetivos de sustentabilidade ambiental e desenvolvimento social.

A rápida urbanização e a crescente dependência de veículos particulares representam desafios significativos para a mobilidade sustentável nas cidades brasileiras, agravando problemas como congestionamentos e emissões de gases poluentes. O atual modelo, baseado em combustíveis fósseis, tem se mostrado insustentável, enquanto alternativas, como os ônibus

elétricos, surgem como soluções essenciais para reduzir o impacto ambiental e aumentar a eficiência do transporte coletivo. O avanço na tecnologia de baterias tem viabilizado veículos com maior autonomia e tempos de recarga mais curtos, tornando-os aplicáveis não apenas em grandes metrópoles, mas igualmente em cidades de médio porte. Experiências internacionais, como em Shenzhen, onde toda a frota de transporte público é elétrica, oferecem modelos inspiradores para a adoção dessas tecnologias.

A transição para tecnologias sustentáveis no transporte exige uma abordagem integrada que combina inovação tecnológica com investimentos robustos em infraestrutura e incentivos econômicos. A instalação de ônibus elétricos em áreas urbanas, como Porto Alegre, exemplifica essa necessidade, pois envolve não apenas a aquisição de veículos modernos, mas também a construção de redes de recarga e o desenvolvimento de políticas públicas que incentivem a mudança, como isenções fiscais e subsídios. Esses veículos são peças-chave na redução das emissões de carbono e no consumo de combustíveis fósseis, contribuindo para metas climáticas globais, mas enfrentam desafios, como resistência cultural, custos iniciais elevados e falta de infraestrutura abrangente. Em cidades onde o uso de veículos particulares cresce rapidamente, a urgência de integrar soluções, como ônibus elétricos, a sistemas multimodais, incluindo ciclovias e veículos de baixa emissão, é ainda maior. Estudos mostram que a aceitação pública e a colaboração entre governos, empresas e sociedade civil são cruciais para superar barreiras e tornar os transportes urbanos mais sustentáveis e acessíveis.

Em anos recentes Porto Alegre intensificou seus esforços para integrar ônibus elétricos à frota pública, alinhando-se às diretrizes de políticas públicas voltadas à sustentabilidade e à inovação. A adoção dessas tecnologias tem ocorrido de forma gradual, com investimentos em infraestrutura de suporte, como estações de carregamento, e na adaptação dos operadores do transporte coletivo. Apesar de avanços significativos, ainda há entraves financeiros e operacionais, especialmente relacionados ao custo inicial elevado dos veículos e à necessidade de modernizar a estrutura existente. A experiência acumulada com os primeiros veículos em operação, contudo, tem gerado importantes aprendizados, contribuindo para um planejamento estratégico mais robusto, com vistas a expandir a frota e tornar o sistema de transporte público mais eficiente e ambientalmente responsável. O estudo destaca, ainda, que Porto Alegre tem o potencial para se tornar uma referência nacional e internacional em mobilidade sustentável, mas essa transição dependerá de uma combinação de inovação tecnológica, políticas públicas assertivas e apoio econômico. Exemplos internacionais servem como guias valiosos, mas a adaptação local será fundamental para atender às necessidades específicas da cidade.

A transição para ônibus elétricos em Porto Alegre representa uma oportunidade estratégica para integrar sustentabilidade, inovação tecnológica e políticas públicas, promovendo um transporte urbano mais eficiente e ambientalmente responsável. Para que essa transição seja bem-sucedida é necessário o apoio contínuo de incentivos econômicos, parcerias estratégicas e um planejamento urbano que facilite a integração da infraestrutura de recarga e manutenção. Experiências internacionais mostram que, com planejamento e suporte adequados, é possível transformar o sistema de transporte urbano para uma matriz mais limpa e eficiente. Dessa forma, Porto Alegre pode tornar-se um modelo de inovação sustentável, alinhado às metas globais de combate às mudanças climáticas. Para que, no entanto, esse processo seja bem-sucedido, é imprescindível a criação de uma infraestrutura de suporte, como uma rede de recarga bem distribuída, e o fomento de políticas públicas que incentivem a transição para alternativas mais limpas e sustentáveis no transporte urbano.

REFERÊNCIAS

- AIE. Agência Internacional de Energia. *Relatório anual de emissões no setor de transporte*. Paris: AIE, 2021.
- ARAUJO, P. L. *Mobilidade urbana sustentável no Brasil: desafios e perspectivas*. São Paulo: Editora Perspectiva, 2014.
- BANISTER, D. *Planejamento de transportes*. London: Routledge, 2020.
- BARDIN, L. *Análise de conteúdo*. Lisboa: Edições 70, 1977.
- BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima. *Diário Oficial da União*, Brasília, 2009.
- BRASIL. Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana. *Diário Oficial da União*, Brasília, 2012.
- CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018. Estabelece padrões nacionais de qualidade do ar. *Diário Oficial da União*, Brasília, 2018.
- DEAKIN, E. *Transporte sustentável nas cidades*. Cambridge: University Press, 2001.
- EPTC. Empresa Pública de Transporte e Circulação. *Relatório Anual de Mobilidade Urbana em Porto Alegre*. Porto Alegre: EPTC, 2022.
- FERNANDES, C.; SANTOS, M. *Mobilidade e direitos humanos: uma análise crítica*. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 2017.
- GARCÍA, R.; MARTÍNEZ, M.; PÉREZ, A. Impactos econômicos e ambientais do transporte público elétrico: uma análise comparativa. *Revista Avaliações de Energia Renovável e Sustentável*, v. 168, 2023.
- GEELS, F. W. *Transições sociotécnicas e sustentabilidade*. New York: Routledge, 2018.
- GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- GIVONI, M.; BANISTER, D. *Mobilidade e transporte para o crescimento sustentável*. London: Routledge, 2020.
- GÖSSLING, S. Transições de transporte urbano: cidades, automóveis e mudanças climáticas. *Jornal de Geografia dos Transportes*, v. 94, 2021.
- HAGMAN, R. Incentivos para transporte verde: percepções da implementação do ônibus elétrico em Oslo. *Revista Política Energética*, v. 152, 2021.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua: população urbana e rural*. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.
- JENKINS, M.; BARRON, J.; SMITH, L. *Ônibus elétricos: avançando na sustentabilidade no transporte urbano*. *Jornal de Transporte Mais Limpo*, v. 45, 2021.
- LINDAU, L. A.; HIDALGO, D.; SOUZA, F. B. de. Impactos positivos dos sistemas BRT na redução de gases de efeito estufa e melhoria da mobilidade urbana. *Revista dos Transportes Públicos*, ANTP, n. 133, p. 99-115, 2013.
- LOCHER, C. *Transporte e sustentabilidade ambiental*. Porto Alegre: Editora PUC-RS, 2016.
- MACIEL, M. R. C. Portadores de deficiência: a questão da inclusão social. *Revista Perspectiva*, v. 14, n. 2, p. 51-56, 2000.
- RAFFESTIN, C. *Por uma geografia do poder*. São Paulo: Ática, 1993.
- ROLNIK, R. O direito à cidade e o direito à mobilidade urbana. *Cadernos Metrópole*, São Paulo, n. 17, 2015.
- SACHS, I. *Caminhos para o desenvolvimento sustentável*. Rio de Janeiro: Garamond, 2015.
- SANTOS, A. F.; SILVA, M. C.; OLIVEIRA, T. R. *Políticas públicas para o transporte sustentável*. São Paulo: Editora XYZ, 2021.
- SANTOS, C. L. *Impactos da eletrificação do transporte público em Bogotá*. Bogotá: Universidade Nacional de Colômbia, 2021.
- SCHWEDES, O. O impacto da COVID-19 na política de transporte público. *Revista Pesquisa em Transporte*, v. 162, 2022.
- VASCONCELLOS, E. A. A. *Mobilidade urbana e cidadania*. São Paulo: Annablume, 2012.
- WU, H.; LI, X.; ZHANG, Y. Baterias de estado sólido para veículos elétricos: oportunidades e desafios. *Diário de Fontes de Energia*, v. 571, 2023.

Autor Correspondente

Tarcisio Dorn de Oliveira

Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – Unijuí

Programa de Pós-Graduação *Strico Sensu* em Desenvolvimento Regional – PPGDR

Rua do Comércio, Nº 3000 – Bairro Universitário. Ijuí/RS, Brasil. CEP 98700-000

tarcisio.oliveira@unijui.edu.br

Este é um artigo de acesso aberto distribuído
sob os termos da licença Creative Commons.

