

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA



MONOGRAFIA DE FINAL DE CURSO

**ANÁLISE DE CUSTO-BENEFÍCIO DA SUBSTITUIÇÃO DO TRANSPORTE
PÚBLICO CONVENCIONAL PELO ELETRICO NO RIO DE JANEIRO**

Bruno Mello Alves

Nº de matrícula: 1810558

Orientador: Sérgio Besserman Vianna

Rio de Janeiro, Novembro de 2023.

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA



MONOGRAFIA DE FINAL DE CURSO

**ANÁLISE DE CUSTO-BENEFÍCIO DA SUBSTITUIÇÃO DO TRANSPORTE
PÚBLICO CONVENCIONAL PELO ELETRICO NO RIO DE JANEIRO**

Bruno Mello Alves

Nº de matrícula: 1810558

Orientador: Sérgio Besserman Vianna

Rio de Janeiro, Novembro de 2023.

Declaro que o presente trabalho é de minha autoria e que não recorri para realizá-lo, a nenhuma forma de ajuda externa, exceto quando autorizado pelo professor tutor.

As opiniões expressas neste trabalho são de responsabilidade única e exclusiva do autor

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão à minha família: meu pai, Raul; minha mãe, Carla; e minha irmã, Fernanda. Sua presença constante, tanto nos momentos mais desafiadores quanto nos mais felizes da minha jornada acadêmica, tem sido a base da minha força e inspiração. Vocês são o verdadeiro norte que guia meu caminho.

Um agradecimento especial à minha incrível namorada, Isis, meu alicerce em tempos difíceis e fonte de inspiração quando a desmotivação parecia prevalecer. Sua presença iluminou meus dias, enchendo-os de amor, companheirismo, carinho e motivação inabalável. Isis, você é essencial na minha vida, e seu amor e cumplicidade foram fundamentais para me levar até este ponto. Sou profundamente grato por tudo.

Aos meus queridos amigos, Leonardo, Marcio, Luiz, Lucas, Saragô, Rafael e Mansur, obrigado por serem muito mais do que amigos; vocês foram fontes constantes de alegria e companheirismo. Nos momentos de necessidade de uma pausa, vocês proporcionaram distração, risadas e momentos inesquecíveis. Sua presença em minha vida é um presente valioso.

Estendo meu sincero agradecimento a todos os meus pets maravilhosos – Conca, Shara, Nadal, Broa, Pupa, Nino e Paquito –, que foram verdadeiros companheiros e fontes inesgotáveis de amor durante esta jornada. Cada um trouxe alegria, conforto e serenidade em momentos desafiadores. Queria que entendessem o imenso valor que têm para mim.

Por fim, sou imensamente grato à Dra. Isabella Souza, minha psiquiatra, e à Dra. Fátima Amorim, minha psicóloga. Sua dedicação, competência e apoio foram cruciais no tratamento da minha doença, permitindo-me superar desafios que antes pareciam intransponíveis. Sem a ajuda delas, a jornada até aqui não teria sido possível.

SUMÁRIO

1. RESUMO.....	5
2. INTRODUÇÃO.....	6
2.1 Contexto Atual e Desafios.....	6
2.2 Observações Gerais.....	7
2.3 O Impacto da Transição para o Transporte Elétrico.....	7
2.4 Importância da Transição para Veículos Elétricos.....	8
2.5 Outros Benefícios.....	8
2.6 Objetivo do Estudo.....	9
2.7 Estrutura do Trabalho.....	10
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	11
3.1 Impacto da Mobilidade Urbana nas Dinâmicas Sociais e Econômicas.....	11
3.2 Transporte Público e Sustentabilidade.....	12
3.3 Veículos Elétricos: Benefícios e Desafios.....	13
3.3.1 Benefícios dos Veículos Elétricos.....	13
3.3.2 Desafios da Adoção de Veículos Elétricos.....	14
3.4 A Matriz Energética e a Transição para Veículos Elétricos.....	15
3.5 Estudo de Caso e Lições Aprendidas.....	15
3.6 Conclusão da Revisão da Literatura.....	17
4. METODOLOGIA.....	18
4.1 Introdução.....	18
4.2 Objetivo da Pesquisa.....	19
4.3 Coleta de Dados.....	20
4.4 Modelo de Análise de Custo-Benefício.....	22
4.5 Limitações.....	23
4.6 Conclusão da Metodologia.....	25
5. RESULTADOS.....	27
5.1 Introdução.....	27
5.2 Custo da Frota Convencional versus Frota Elétrica.....	28
5.3 Custo e Viabilidade da Implementação de Energia Fotovoltaica.....	31
5.4 Benefícios Ambientais e Redução de Emissões.....	35
5.5 Benefícios Sociais e Econômicos.....	37
5.6 Comparação com Estudos e Casos Semelhantes.....	39
5.7 A evolução das emissões dos Gases do Efeito Estufa no Rio.....	40
5.8 Discussão dos Resultados.....	41
6. CONCLUSÃO.....	44
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46

1. RESUMO

O transporte público no Brasil, em especial na cidade do Rio de Janeiro, tem enfrentado diversos desafios ao longo dos anos. Desde a necessidade de modernização da frota até questões ambientais relativas à emissão de poluentes. Em meio a este cenário, surge a proposta de migração de veículos convencionais para elétricos, prometendo uma série de benefícios não apenas ambientais, mas também econômicos.

Este trabalho tem como foco principal analisar o custo-benefício dessa transição no contexto carioca, levando em consideração variáveis como o investimento inicial, custos operacionais, benefícios ambientais, sociais e econômicos, bem como a viabilidade de abastecimento desses veículos através de energia fotovoltaica.

No decorrer dos capítulos, será abordada a evolução e importância do transporte público no desenvolvimento urbano do Rio de Janeiro, assim como a relevância de se adotar tecnologias mais limpas no combate às mudanças climáticas. A metodologia adotada baseia-se em um modelo de análise de custo-benefício, onde serão quantificados e comparados os custos associados à operação da frota atual e de uma frota totalmente elétrica, bem como os benefícios tangíveis e intangíveis desta transição.

Os resultados esperados buscam evidenciar não apenas a viabilidade econômica da proposta, mas também destacar os benefícios intangíveis, como a melhoria na qualidade do ar, a redução de ruídos urbanos, e a contribuição do país em relação aos compromissos globais de redução de emissões de gases de efeito estufa.

Em suma, este estudo visa oferecer uma visão abrangente sobre o potencial da eletrificação do transporte público no Rio de Janeiro, delineando desafios, oportunidades e traçando um caminho possível para um futuro mais sustentável na mobilidade urbana da cidade.

2. INTRODUÇÃO

A mobilidade urbana, especialmente em grandes centros urbanos latino-americanos como o Rio de Janeiro, é um assunto de grande importância, com impactos significativos em vários setores da sociedade. Segundo Vasconcellos et al. (2001), os centros urbanos latino-americanos sempre foram caracterizados por muita informalidade na oferta de transporte público, resultando em desafios consideráveis para a promoção de melhorias na mobilidade urbana. Estes sistemas eram marcados por um excesso de veículos antigos de baixa capacidade, onde a concorrência predatória era a norma, retirando a eficiência da rede e resultando em deseconomias significativas, tais como congestionamentos, poluição e acidentes.

O problema da mobilidade urbana no Brasil, e mais especificamente no Rio de Janeiro, começou a transformar-se dramaticamente na década de 1960, quando o rápido processo de urbanização convergiu com o aumento do uso de veículos motorizados (Vasconcellos et al., 2011). Este contexto histórico é fundamental para entender as raízes dos problemas atuais de mobilidade e para buscar soluções inovadoras e sustentáveis.

2.1 Contexto Atual e Desafios

O transporte rodoviário, especialmente o transporte público, tem um papel crucial em questões de sustentabilidade e meio ambiente. Sperling e Gordon (2009) destacam que as emissões de CO₂ relacionadas ao transporte têm aumentado rapidamente, contribuindo significativamente para as mudanças climáticas globais. Eles argumentam que uma transformação abrangente nas indústrias automotiva e petrolífera, e eventualmente nos sistemas de transporte, será necessária para acomodar a crescente demanda de veículos de maneira sustentável.

Nesse contexto, o Brasil apresenta uma peculiaridade interessante: a alta participação de fontes renováveis em sua matriz energética, uma característica que o distingue de muitos outros países de porte econômico e renda média equivalentes (Capriglione & Paulo Sérgio, 2007). Esta alta participação das fontes renováveis, se mantida e ampliada, pode trazer vantagens comparativas significativas para o Brasil no

longo prazo, posicionando o país de maneira favorável na transição para um futuro mais sustentável.

2.2 Observações Gerais

Existem algumas considerações gerais sobre o transporte no Rio de Janeiro que ressaltam desafios significativos relacionados ao trânsito, à poluição do ar e à mobilidade urbana. A cidade enfrenta frequentes congestionamentos, resultando em deslocamentos frequentemente demorados. Além disso, a dependência de veículos que funcionam com combustíveis fósseis tem como consequências a poluição do ar e a liberação de gases responsáveis pelo efeito estufa. É evidente a necessidade de promover opções de transporte mais sustentáveis e eficientes, com destaque para o aprimoramento da infraestrutura do transporte público, incentivo aos veículos não poluentes e conscientização sobre a mobilidade nas cidades. (Vasconcellos et al., 2011).

2.3 O Impacto da Transição para o Transporte Elétrico

A transição para o transporte elétrico tem um impacto profundo e abrangente em várias áreas. Em primeiro lugar, essa transição proporciona uma diminuição nas emissões de gases de efeito estufa (GEE) e poluentes locais, o que traz consigo uma notável melhoria na qualidade do ar e na saúde da população. Essa contribuição auxilia na mitigação das alterações climáticas e na diminuição de questões de saúde associadas à contaminação do ar. Além do mais, a mudança para o transporte elétrico também traz consigo consequências econômicas benéficas. (Stranguetto e Silva, 2015). Essa situação tem o potencial de impulsionar o avanço da indústria de veículos elétricos, o surgimento de oportunidades de trabalho no setor de tecnologia sustentável e a promoção de um mercado de energia mais sustentável.

A partir de uma perspectiva social, a adoção do transporte elétrico impulsiona uma mobilidade mais amigável ao meio ambiente, silenciosa e mais acessível. Isso traz benefícios diretos aos cidadãos ao tornar o transporte público mais atrativo e melhorar a qualidade de vida nas cidades. Adicionalmente, tornar as cidades mais atraentes para visitantes e investidores é possível através da promoção do turismo sustentável e da incorporação de tecnologias inovadoras na mobilidade urbana. Em síntese, a adesão ao

transporte elétrico marca um avanço importante rumo a um futuro mais ecologicamente correto, sustentável e vantajoso tanto para as áreas urbanas quanto para a sociedade em geral.

2.4 Importância da Transição para Veículos Elétricos

Muthulakshmi et al. (2023) abordam o impacto e os desafios de adotar veículos elétricos (EVs) em países em desenvolvimento, usando a Índia como estudo de caso. Eles destacam que os EVs, apesar de serem uma alternativa promissora ao transporte convencional, aumentarão significativamente a demanda por eletricidade, apresentando desafios adicionais em regiões já enfrentando escassez de energia.

Não obstante, os benefícios ambientais e de saúde pública proporcionados pela adoção de EVs são inegáveis, já que eles não emitem CO₂ e contribuem para a redução da poluição sonora (Muthulakshmi et al., 2023). Tais benefícios são especialmente críticos em regiões metropolitanas densamente povoadas, onde a poluição atmosférica tem graves repercussões para a saúde da população, especialmente para grupos vulneráveis como idosos e crianças.

2.5 Outros Benefícios

A adoção do transporte elétrico traz consigo uma variedade de vantagens impactantes. Uma das vantagens é a diminuição da dependência de combustíveis fósseis, resultando em uma redução na vulnerabilidade a variações nos preços do petróleo e contribuindo para a estabilidade econômica. Isso também diminui a exposição aos choques do mercado global de energia, tornando a economia menos vulnerável às flutuações nos preços dos combustíveis. (Muthulakshmi et al., 2023).

Além disso, a adoção do transporte elétrico impulsiona o progresso tecnológico e estimula o surgimento de novos segmentos industriais. O setor de veículos elétricos está em franco crescimento, impulsionando a geração de empregos e incentivando a investigação e o avanço de tecnologias mais ecologicamente corretas e efetivas. Isso contribui para o fortalecimento da economia e posiciona a cidade de forma vantajosa em relação à inovação tecnológica. (Rugeri; Gasparin, 2021).

Além disso, deve-se destacar os benefícios notáveis da melhoria da mobilidade urbana e da redução do congestionamento nas cidades. Os veículos elétricos são frequentemente mais eficientes e oferecem alternativas de compartilhamento e mobilidade, o que pode reduzir a congestão do tráfego e aprimorar o deslocamento de veículos nas regiões urbanas. Isso implica em economia de tempo para os cidadãos, além de diminuir a poluição sonora e o estresse causado pelo trânsito, proporcionando um ambiente urbano mais agradável para se viver. (Muthulakshmi et al., 2023).

Além disso, outro benefício social que podemos ressaltar é a promoção da inclusão e da igualdade no acesso ao transporte público. Os veículos elétricos oferecem uma mobilidade mais sustentável e acessível, trazendo benefícios para todas as pessoas, não importando sua renda ou localização geográfica. Essa medida reduz as desigualdades no acesso ao transporte público e contribui para uma sociedade mais igualitária. (Stranguetto e Silva, 2015).

Finalmente, a adoção do transporte elétrico também pode impulsionar o desenvolvimento do turismo sustentável. Quando as cidades optam por utilizar tecnologias mais limpas e adotar práticas de mobilidade sustentável, elas conseguem atrair turistas preocupados com o meio ambiente. Essa escolha beneficia não só a economia local, mas também promove uma imagem positiva da cidade como um destino sustentável.

2.6 Objetivo do Estudo

Este estudo visa realizar uma análise de custo-benefício da substituição do transporte público convencional pelo elétrico no Rio de Janeiro, considerando os aspectos econômicos, ambientais e sociais relacionados à transição, e a viabilidade de gerar energia renovável suficiente para sustentar a nova frota de ônibus elétricos. A análise detalhada do custo envolverá avaliar os custos associados à substituição da frota atual por uma nova frota elétrica, e implementação de projetos de geração de energia renovável.

2.7 Estrutura do Trabalho

Este trabalho é dividido em vários capítulos, começando com uma revisão da literatura, onde estudos anteriores e descobertas relacionadas ao tema serão discutidos. Segue-se a metodologia, onde as abordagens e procedimentos de pesquisa adotados serão detalhados. Os capítulos subsequentes apresentarão a análise de dados, discussão dos resultados e, finalmente, as conclusões e recomendações baseadas nas descobertas do estudo.

3. REVISÃO DA LITERATURA

A mobilidade urbana, em sua intersecção com a sustentabilidade, tem sido um tema de crescente interesse para acadêmicos, políticos e profissionais da indústria. O transporte, enquanto componente central da mobilidade urbana, detém uma posição fundamental nesses debates. Esta revisão da literatura abordará os estudos e pesquisas relevantes sobre a substituição de transportes públicos convencionais por elétricos, focando em seu impacto econômico, social e ambiental.

3.1 Impacto da Mobilidade Urbana nas Dinâmicas Sociais e Econômicas

A mobilidade urbana ocupa uma posição central no contexto de desenvolvimento, influenciando a eficiência, segurança, e custos com os quais pessoas e produtos se movimentam, e por consequência, a competitividade sistêmica de uma nação. Gramkow e Oliveira (2023) destacam que a infraestrutura de transporte molda a integração territorial, onde, em regiões como a América Latina e o Caribe (ALC), o design predominante amplia as discrepâncias regionais e promove modelos de enclave focados na exploração e exportação de recursos naturais extrativos.

No Brasil, este cenário evidencia disparidades, com o transporte rodoviário dominando o cenário da mobilidade, sendo responsável por 65% da movimentação de cargas e evidenciando-se como um protagonista na locomoção de pessoas e mercadorias. Contudo, a qualidade comprometida das rodovias eleva custos operacionais e impacta negativamente a competitividade do país, situando-o na 85ª posição em infraestrutura de transportes, segundo o Fórum Econômico Mundial (FEM, 2019).

A análise do padrão de mobilidade revela tendências alarmantes de segregação espacial e crescimento no uso de transportes individuais, intensificados por políticas de incentivo ao transporte individual e a precarização do transporte coletivo. Este quadro favorece as dinâmicas de desigualdades socioeconômicas e raciais, com a população mais pobre, predominantemente negra, sendo a mais afetada pela inacessibilidade e insuficiência dos serviços de mobilidade.

No contexto das disparidades de gênero, as mulheres, principais usuárias do transporte público, são particularmente afetadas por desafios associados à mobilidade

ineficiente. Seus padrões distintos de deslocamento, muitas vezes associados à economia do cuidado, encontram barreiras em uma infraestrutura inadequada e insegura, limitando seu acesso a oportunidades e contribuindo para a consolidação das desigualdades de gênero no país.

A mobilidade urbana deficiente não só compromete a saúde e qualidade de vida da população, através da poluição e acidentes de trânsito, mas também implica em ineficiências econômicas significativas, com custos anuais estimados em bilhões, atribuídos à poluição, acidentes de trânsito e poluição sonora. Além disso, essas ineficiências agravam as disparidades sociais, limitam a inovação, criatividade, e o desenvolvimento econômico sustentável.

Dessa forma, é imperativo buscar a reversão deste cenário, contemplando a eficiência, sustentabilidade, e equidade nas estratégias de mobilidade urbana, a fim de construir estilos de desenvolvimento mais harmonizados com as necessidades sociais, ambientais, e econômicas da população.

3.2 Transporte Público e Sustentabilidade

O setor de transporte globalmente é um notável contribuinte para o consumo de energia e as emissões de gases do efeito estufa. A análise de Vasconcelos (2022) reflete sobre o caminho da União Europeia para a sustentabilidade e neutralidade climática, explorando a relevância da adaptação e otimização dos sistemas de transporte público.

Contudo, Gramkow e Oliveira (2023) destacam que a normalidade pré-pandemia não pode ser uma referência para a retomada. É evidenciada a necessidade de uma recuperação transformadora, colocando os países em uma trajetória rumo à sustentabilidade e à igualdade. Para as autoras, a Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL) advoga por um “Big Push para a Sustentabilidade”, uma abordagem de coordenação de políticas e mobilização de investimentos transformadores, visando construir estilos de desenvolvimento sustentáveis e equitativos.

Essa perspectiva ressalta a importância dos investimentos como variável crucial, tanto por seu papel dinamizador da economia, renda e empregos no curto prazo, quanto por seu potencial transformador de longo prazo. O conceito de “Big Push para a

Sustentabilidade”, inspirado nas ideias de Paul Rosenstein-Rodan (1957), implica na necessidade de uma transformação estrutural abrangente, envolvendo formas de produção, transmissão e consumo de energia, locomoção de pessoas e mercadorias, e a relação entre atividade humana e natureza.

As autoras estimam que a transição de baixo carbono no Brasil requer investimentos significativos, entre R\$890 bilhões (BID, 2017) a USD 1,3 trilhões (IFC, 2016) até 2030. Este grande volume de investimentos necessário reflete a urgência e a magnitude das transformações necessárias para limitar o aquecimento global, conforme estabelecido pelo Acordo de Paris.

3.3 Veículos Elétricos: Benefícios e Desafios

O cenário atual do transporte no Brasil e no mundo está fortemente pautado pela necessidade de adotar práticas mais sustentáveis. Os veículos elétricos (VEs) surgem como uma proposta alinhada a essa tendência, prometendo reduções significativas nas emissões de poluentes e uma condução mais eficiente. No entanto, a adoção destes veículos enfrenta uma série de obstáculos no cenário brasileiro. Este capítulo busca abordar os benefícios e desafios dessa transição energética no setor de transportes, particularmente focando nos ônibus elétricos.

3.3.1 Benefícios dos Veículos Elétricos

1. Sustentabilidade Ambiental:

O setor de transporte rodoviário é um dos maiores consumidores de energia no Brasil, respondendo por 26,5% do consumo total (EPE, 2012). Os VEs, ao não emitirem gases poluentes diretamente, oferecem uma solução palpável para a redução do impacto ambiental do setor (Stranguetto e Silva, 2015).

2. Redução da Poluição Sonora:

Os VEs são notavelmente mais silenciosos que os veículos a gasolina, contribuindo para um ambiente urbano menos poluído sonoramente.

3. Segurança:

Além de características como o centro de gravidade baixo, os VEs apresentam sistemas de segurança que, em situações de acidente, separam rapidamente a bateria, evitando riscos maiores.

3.3.2 Desafios da Adoção de Veículos Elétricos

A demanda crescente por energia no Brasil poderia ser intensificada com a ampla adoção de VEs. No entanto, a matriz energética, historicamente dependente de combustíveis fósseis, enfrenta críticas devido à emissão de CO₂ e outros poluentes (Guenther e Padilha, 2016).

O Brasil ainda carece de uma infraestrutura robusta para o carregamento de VEs, um desafio agravado pelo alto custo das baterias, que representam até 50% do valor total do veículo (C40/ISSRC, 2013).

A atual estrutura tributária e as políticas de importação no Brasil dificultam a aquisição de VEs, já que muitos são importados e, conseqüentemente, mais caros devido à falta de categorização específica na TIPI (Castro e Ferreira, 2013).

Enquanto a União Europeia avança rapidamente na implementação de normas rigorosas para controlar as emissões dos veículos, o Brasil, por meio do Proconve, adota um ritmo mais lento, tendo sua última atualização apenas em 2022, bem depois da Europa (Guenther e Padilha, 2016).

Ainda há uma dependência considerável em relação à tecnologia internacional, especialmente no que diz respeito às baterias de íons de lítio, amplamente utilizadas em VEs e com uma densidade energética significativamente superior às alternativas (Castro e Ferreira, 2013). Assim, a transição para os veículos elétricos no Brasil apresenta tanto promissoras oportunidades quanto significativos desafios. Para que essa mudança seja efetiva, será necessário um alinhamento entre políticas públicas, investimento em infraestrutura e incentivos para a pesquisa e desenvolvimento tecnológico.

3.4 A Matriz Energética e a Transição para Veículos Elétricos

A matriz energética de um país reflete suas fontes energéticas, desde o abastecimento doméstico até o industrial. No Brasil, a matriz se destaca pela prevalência de fontes renováveis.

Na metade do século XX, lenha e carvão vegetal compunham mais de 60% da matriz energética (Capriglione, 2021). Contudo, após a crise do petróleo de 1974, a realidade mudou. Para reduzir a dependência do petróleo, o governo lançou o Programa Proálcool em 1975, visando converter motores de gasolina para álcool.

O Brasil também intensificou o uso de hidrelétricas, aproveitando suas vastas bacias fluviais. Apesar de renováveis, é válido notar que hidrelétricas também têm gerado debates sobre impactos ambientais e sociais.

No início do século XXI, o país se firmou como um dos maiores produtores de cana-de-açúcar, impulsionando o mercado de etanol. Em 2004, 43,9% da nossa Oferta Interna de Energia provinha de fontes renováveis, superando amplamente médias globais (Capriglione, 2021).

A transição para veículos elétricos se alinha com essa trajetória de valorização das fontes renováveis. Com a matriz energética inclinando-se fortemente para energias limpas e renováveis, os veículos elétricos no Brasil têm o potencial de serem alimentados de forma mais sustentável em comparação com muitos outros países. A eletrificação dos transportes, portanto, não só se alinha com os compromissos ambientais do país, mas também com sua estratégia energética a longo prazo.

3.5 Estudo de Caso e Lições Aprendidas

Os veículos elétricos, com especial destaque aos ônibus elétricos, têm se apresentado como uma alternativa promissora em resposta às preocupações ambientais e aos desafios do setor de transporte em áreas urbanas. Vários programas e estudos têm sido realizados ao redor do mundo para avaliar a viabilidade técnica, econômica e ambiental dessa tecnologia.

O "Programa de Teste de Ônibus Híbrido e Elétrico" foi uma iniciativa concebida pelo C40-CCI e financiada pelo IDB com uma contribuição financeira de

US\$1,49 milhão. Este programa teve como objetivo comparar a performance dos ônibus híbridos e elétricos com os veículos convencionais movidos a diesel em cidades como Bogotá, Rio de Janeiro, São Paulo e Santiago. Uma das principais lições aprendidas com o programa é a necessidade de adaptação tecnológica às condições locais, considerando as variáveis que caracterizam cada cidade. Da perspectiva do mercado, o programa destacou a possibilidade de uma estratégia regional para negociar com fabricantes de ônibus, apontando para a necessidade de uma abordagem multilateral para uma avaliação precisa da demanda regional (C40 Cities Climate Leadership Group; Clinton Climate Initiative, 2013).

Os resultados técnicos do programa mostraram que os ônibus híbridos poderiam reduzir as emissões de CO₂ em até 35% (26% em média) em comparação com os ônibus a diesel. Em relação às emissões locais, foi alcançada uma redução média entre 60-80%, acompanhada de uma diminuição de 30% no consumo de combustível. Por outro lado, os ônibus elétricos mostraram ter zero emissões locais e ofereceram uma redução de até 77% no consumo de energia, quando comparada ao uso de combustíveis diesel.

Contudo, os ônibus elétricos e híbridos apresentam um custo de aquisição mais elevado em comparação com os ônibus tradicionais. A análise econômica do programa apontou que, apesar de um custo inicial mais alto, a análise do ciclo de vida mostrou que tais ônibus podem reduzir os custos gerais para cidades e/ou operadores a longo prazo. Para ilustrar, os ônibus híbridos custam entre 50-60% mais, enquanto os ônibus elétricos custam entre 125-150% mais do que os ônibus tradicionais no momento da compra. No entanto, sob as condições atuais, ambas as tecnologias à base de bateria apresentam desempenho tecnológico comparável e custos de manutenção semelhantes aos ônibus a diesel.

O principal desafio para a implementação da nova tecnologia elétrica é a bateria. Atualmente, há uma necessidade de melhor desempenho e maior vida útil, especialmente no que diz respeito às baterias que contêm lítio e metais pesados. Espera-se que o preço das baterias à base de lítio caia no futuro, talvez em 50% até o final da década, o que poderia tornar a tecnologia mais acessível e atrativa para os operadores de transporte e para as cidades (Rugeri; Gasparin, 2021).

Em resumo, a transição para ônibus elétricos e híbridos é uma proposta atraente, mas vem com seus próprios conjuntos de desafios e considerações. Com base nos casos de sucesso e nas lições aprendidas, é evidente que há um forte potencial para a adoção em massa dessa tecnologia em cidades ao redor do mundo, mas é crucial que se adotem práticas e estratégias bem informadas para garantir uma transição bem-sucedida.

3.6 Conclusão da Revisão da Literatura

A transição para o transporte elétrico no Brasil é um tema multifacetado, ancorado em análises técnicas, econômicas e ambientais. O panorama histórico da matriz energética nacional revelou um consistente direcionamento para a valorização e priorização de fontes de energia renováveis, desde as escolhas estratégicas do século XX até o presente. Destacam-se iniciativas como o programa Pró-Álcool e o sucesso na produção de etanol, bem como a significativa geração de energia por meio de hidrelétricas.

Neste cenário, a virada para os veículos elétricos não se configura apenas como uma resposta às exigências ambientais globais, mas também como uma extensão do compromisso brasileiro com fontes de energia limpa. Assim, a eletrificação do setor de transportes emerge como uma oportunidade singular para o país reduzir suas emissões, cumprir compromissos ambientais e, adicionalmente, consolidar sua liderança no uso de energia renovável no âmbito dos transportes.

O desafio de eletrificar os transportes ultrapassa a mera questão da substituição de combustíveis; representa uma oportunidade de reconfigurar a mobilidade urbana, alinhando-a a uma visão mais sustentável e futurista. Como discutido anteriormente, apesar dos desafios existentes, as perspectivas são auspiciosas. A evolução tecnológica contínua, combinada com políticas públicas bem estruturadas e o engajamento da indústria, tem potencial para posicionar o Brasil como protagonista na revolução do transporte elétrico global.

4. METODOLOGIA

4.1 Introdução

A decisão sobre a metodologia a ser usada neste estudo é fundamentada na complexidade do assunto em questão e na exigência de examinar de forma abrangente e minuciosa os impactos financeiros e sociais decorrentes da troca do transporte público convencional pelo transporte elétrico no Rio de Janeiro. Na presente perspectiva, para Amorim (2019), é sabido que o transporte público é um elemento fundamental da vida nas cidades e, diante dos cada vez maiores desafios relacionados ao trânsito, à qualidade do ar e à sustentabilidade, é imprescindível tomar decisões apropriadas. Assim sendo, a abordagem metodológica mais apropriada é a análise de custo-benefício, pois permite não apenas a mensuração dos custos e benefícios, mas também a organização e avaliação do impacto econômico e social desta transição.

Além disso, segundo Wills (2013), a escolha de uma metodologia de análise custo-benefício é particularmente importante porque pode fornecer uma imagem abrangente dos efeitos a longo prazo da substituição dos transportes públicos tradicionais pela eletricidade. Utilizando este método, podemos estimar não só os custos iniciais dos investimentos, mas também os benefícios ao longo do tempo, tais como a redução da poluição atmosférica, a eficiência energética, a melhoria da qualidade de vida dos cidadãos e as oportunidades para atrair investimentos financeiros. em nome de uma imagem de cidade mais sustentável.

Também vale a pena enfatizar que a análise custo-benefício é particularmente importante quando se consideram decisões de políticas públicas relacionadas com os transportes. As escolhas para a afetação de recursos escassos devem ser cuidadosamente justificadas com dados e análises fiáveis, e a metodologia de análise custo-benefício fornece um quadro objetivo para avaliar o impacto de tais decisões. (Mendonça, 2020). Portanto, neste estudo, é descrito detalhadamente a metodologia aplicada para coletar e analisar os dados relevantes e as métricas específicas utilizadas para estimar a relação custo-benefício da eletrificação do transporte público tradicional no Rio de Janeiro.

Esta escolha de metodologia é crucial para garantir que as conclusões sejam baseadas em evidências sólidas e possam fornecer uma base sólida para futuras ações e políticas no domínio dos transportes públicos urbanos. Em síntese, pode-se afirmar que

a escolha de uma metodologia de análise de custo-efetividade para este estudo se justifica pela complexidade e importância do tema e pela necessidade de apoiar decisões-chave relacionadas ao transporte urbano no Rio de Janeiro.

Essa metodologia possibilita uma avaliação completa, tanto quantitativa quanto qualitativa, dos custos e benefícios da substituição do transporte público convencional por veículos elétricos. Além do exposto, o método apresenta um alicerce robusto para a formulação de políticas públicas e investimentos futuros, com o intuito de aprimorar a qualidade de vida da população e fomentar a sustentabilidade ambiental urbana. (Cesar *et al*, 2020). Na sequência, será necessário a aplicação de uma descrição minuciosa dos métodos e métricas específicas utilizadas para análise de custo-benefício, garantindo assim a precisão e objetividade necessárias para este estudo.

4.2 Objetivo da Pesquisa

Objetivo Geral:

O objetivo geral deste estudo é avaliar de forma abrangente os custos e benefícios da mudança do transporte público tradicional para os ônibus elétricos na cidade do Rio de Janeiro. A análise visa fornecer informações importantes para apoiar decisões informadas sobre transporte urbano e sustentabilidade urbana.

Objetivos Específicos:

- Realizar uma análise detalhada de custos para determinar os investimentos necessários para implantação de uma frota de ônibus elétricos na cidade do Rio de Janeiro, levando em consideração fatores como aquisição de veículos, infraestrutura de recarga e manutenção.
- Identificar os benefícios ambientais da mudança para autocarros elétricos, incluindo a redução das emissões de poluição atmosférica, a melhoria da qualidade do ar e a redução dos impactos na saúde pública.

- Avaliar o impacto na eficiência energética comparando o consumo de energia dos autocarros elétricos com os veículos tradicionais movidos a combustíveis fósseis e identificando os potenciais benefícios de uma utilização mais eficiente dos recursos energéticos.
- Analisar os efeitos sociais e econômicos da transição, incluindo o potencial para melhorar a qualidade de vida dos cidadãos, reduzir o congestionamento das ruas, reduzir o ruído urbano e atrair investimento para a cidade.
- Realizar uma análise abrangente de custo-benefício que inclua todos os custos e benefícios identificados para determinar se vale a pena mudar para autocarros elétricos do ponto de vista económico e de sustentabilidade.

4.3 Coleta de Dados

A coleta de dados desempenha um papel fundamental em nossa pesquisa e nos permite fazer uma relação custo-benefício abrangente e precisa da transição para ônibus elétricos na cidade do Rio de Janeiro. Nossa metodologia é baseada em relatórios governamentais e na literatura acadêmica, como estudos de caso, dados estatísticos e artigos publicados em periódicos e em plataformas como a Divisão de Bibliotecas e Documentação (DBD) da PUC-Rio, SciELO, Scopus e Google Scholar. Esta abordagem multifacetada fornece-nos uma base de dados fiável para apoiar as nossas análises e conclusões.

Em primeiro lugar, a literatura acadêmica fornece uma base teórica sólida para essa investigação, permitindo compreender os princípios por trás da transição para autocarros eléctricos e as melhores práticas identificadas noutros ambientes urbanos. (Cardoso, 2015). Os relatórios governamentais fornecem informações oficiais sobre a infraestrutura de transporte, regulamentações e políticas públicas existentes no Rio de Janeiro e ajudam a contextualizar nossa pesquisa no cenário local.

Coletou-se informações detalhadas de fabricantes, operadores de transporte público e institutos de pesquisa para estimar os custos de aquisição e operação de ônibus elétricos e convencionais. Contém informações sobre preços de compra de

veículos, custos de manutenção, consumo de energia, durabilidade e vida útil. Com esta informação, podemos fazer uma análise precisa dos custos associados à transição.

O consumo de energia é um fator chave em nossa análise e para isso foram coletados dados sobre o consumo de energia dos ônibus elétricos que operam no Rio de Janeiro. Além disso, estamos a investigar os custos associados à instalação de sistemas de energia solar, o que poderá ser uma solução para reduzir o impacto dos autocarros elétricos na rede elétrica tradicional.

A recolha desta informação é essencial para avaliar o impacto ambiental e os custos energéticos da transição. Além da literatura académica e dos relatórios governamentais, a investigação beneficia-se de estudos de caso noutras cidades que já adotaram autocarros elétricos, fornecendo informações valiosas sobre os desafios e benefícios da transição. As estatísticas recolhidas de fontes fiáveis ajudam a quantificar aspectos como a utilização atual dos transportes públicos, os padrões de viagem e os custos associados à utilização de autocarros regulares.

As informações sobre preço de aquisição, manutenção preventiva e corretiva e durabilidade dos veículos são coletadas dos custos de aquisição dos ônibus elétricos. Ao comparar estes números com os custos correspondentes dos autocarros tradicionais, obtemos uma imagem clara das diferenças financeiras entre as opções de transporte público. Para estimar o consumo de energia, coletou-se dados sobre o consumo de energia elétrica dos ônibus elétricos que operam no Rio de Janeiro. A análise inclui custos associados à infraestrutura de carregamento, incluindo a instalação de sistemas de energia solar para reduzir a dependência da rede elétrica tradicional. Isto permite-nos avaliar a viabilidade económica e ambiental destes sistemas alternativos, sendo comparados dados de diversas fontes para garantir a precisão e a confiabilidade das informações coletadas.

A análise cuidadosa dos desvios e a reconciliação de dados anormais é parte integrante do processo. Todos os dados coletados serão armazenados e organizados de forma sistemática para facilitar análises posteriores, com o uso de ferramentas de gerenciamento de dados para garantir que as informações estejam disponíveis de maneira acessível e segura para a equipe de pesquisa. Para lidar com a incerteza inerente a certos dados, análises de sensibilidade em diferentes cenários serão feitas,

ajustando variáveis-chave para avaliar como essas mudanças podem afetar as conclusões da pesquisa.

A coleta abrangente e diversificada de dados que estamos empreendendo garantirá que nossa análise do custo-benefício da transição para ônibus elétricos no Rio de Janeiro seja fundamentada em evidências sólidas. Essa abordagem robusta nos permitirá oferecer uma visão persuasiva e detalhada dos impactos financeiros, ambientais e sociais dessa transição, possibilitando decisões informadas e sustentáveis no âmbito da mobilidade urbana. Com esses dados, seremos capazes de traçar um panorama completo e embasado sobre o futuro do transporte público na cidade.

4.4 Modelo de Análise de Custo-Benefício

O Modelo de Análise de Custo-Benefício é uma parte essencial da pesquisa, fornecendo uma estrutura sistemática para avaliar o impacto financeiro, ambiental, social e econômico da transição para ônibus elétricos no Rio de Janeiro. A estrutura desse modelo é composta por diferentes componentes que abrangem uma ampla gama de métricas e variáveis relevantes.

Uma parte fundamental do modelo é a análise dos custos iniciais associados à aquisição de ônibus elétricos, incluindo a compra dos veículos, a instalação de infraestrutura de carregamento e quaisquer gastos adicionais necessários para a implementação bem-sucedida desse sistema. (Santos, 2022). Essa avaliação abrangente nos permitirá entender o investimento necessário para realizar a transição.

Além dos custos iniciais, também analisaremos os custos operacionais a longo prazo. Isso inclui os gastos com eletricidade para recarga, manutenção preventiva e corretiva dos veículos elétricos, bem como quaisquer outras despesas operacionais específicas para os ônibus elétricos. A compreensão desses custos é fundamental para determinar a sustentabilidade econômica da transição. (Mata; Cavalcanti, 2020).

A análise de custo-benefício incorpora uma avaliação rigorosa dos benefícios ambientais da transição para ônibus elétricos, como a redução das emissões de poluentes atmosféricos. Métodos e modelos reconhecidos serão utilizados para quantificar a diminuição das emissões de dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (PM), que, segundo De Moura (2022), são as

principais moléculas liberadas pelos ônibus convencionais, traduzindo essas reduções em benefícios para a qualidade do ar e a saúde pública.

Os benefícios sociais também são essenciais no modelo. A melhoria na qualidade de vida dos cidadãos, considerando fatores como redução do ruído urbano, menos congestionamento nas ruas, e a possibilidade de um transporte público mais acessível e eficiente. (Da Silveira, 2010). Essa análise fornecerá uma imagem completa dos impactos sociais positivos da transição.

Além disso, o modelo incluirá uma análise dos benefícios econômicos, destacando o potencial para atrair investimentos na cidade, o aumento do turismo e a economia gerada pela menor dependência de combustíveis fósseis. A economia resultante da redução de importações de combustíveis fósseis e da criação de empregos no setor de transporte elétrico deve ser quantificada a vista de sua importância para a sociedade. (Gonçalves, 2018).

Para quantificar os benefícios, utilizaremos métodos reconhecidos, incluindo modelos de emissões de veículos elétricos e convencionais para determinar as reduções nas emissões de poluentes. Além disso, realizaremos análises de custo-eficácia para avaliar o valor financeiro dos benefícios. (Da Silveira, 2010). considerando o impacto na saúde pública, na produtividade e na economia em geral. A análise de sensibilidade será aplicada para lidar com incertezas, e diferentes cenários serão explorados para abranger uma ampla gama de possibilidades.

Com isso, o Modelo de Análise de Custo-Benefício servirá como uma estrutura sólida e abrangente para avaliar os impactos financeiros, ambientais, sociais e econômicos da transição para ônibus elétricos no Rio de Janeiro. Essa análise detalhada será essencial para fornecer informações fundamentadas e persuasivas que orientarão futuras decisões e políticas relacionadas à mobilidade urbana e à sustentabilidade na cidade.

4.5 Limitações

A discussão sobre as possíveis limitações da metodologia e dos dados disponíveis é um componente crítico de qualquer pesquisa. Reconhecer essas limitações

é fundamental para manter a integridade e a transparência do estudo. Abaixo, apresento uma análise detalhada das possíveis limitações deste trabalho:

Uma das principais limitações deste trabalho pode estar relacionada à qualidade e disponibilidade dos dados coletados. A precisão das informações de custos, consumo energético e benefícios ambientais depende das fontes de dados utilizadas. Diferenças na precisão ou integridade dos dados podem afetar a precisão das conclusões. A análise de custo-benefício frequentemente envolve uma série de suposições e estimativas. Assumir valores específicos para variáveis-chave, como a taxa de desconto ou a durabilidade dos ônibus elétricos, pode introduzir incertezas no modelo e, por sua vez, nas conclusões. (Segantin, 2019).

As análises de custo-benefício são sensíveis ao tempo, e as projeções de longo prazo podem ser afetadas por mudanças nas condições econômicas, políticas e tecnológicas. As previsões futuras podem não se concretizar como esperado, introduzindo incertezas no resultado. O modelo de análise é baseado em dados disponíveis e condições específicas do Rio de Janeiro. Diferenças em termos de legislação, recursos e infraestrutura podem limitar a generalização das conclusões para outras cidades ou regiões. (Branco, 2009).

O escopo da análise pode ser limitado devido à complexidade do tema. Por exemplo, a análise pode não incluir todos os possíveis impactos sociais, econômicos ou ambientais da transição para ônibus elétricos. A análise de custo-benefício muitas vezes requer estimativas de custos futuros, como preços de eletricidade e custos de manutenção. Alterações significativas nessas variáveis podem afetar a validade das conclusões. (Segantin, 2019).

A implementação prática da transição para ônibus elétricos pode encontrar obstáculos que não foram totalmente considerados no modelo, como desafios regulatórios ou problemas de infraestrutura. As projeções de uso de transporte público e a resposta dos cidadãos às mudanças podem ser incertas. Variações no comportamento do consumidor podem afetar a demanda por transporte público elétrico. (Branco, 2009).

Existem custos indiretos que podem não ser totalmente considerados no modelo, como o impacto na indústria de combustíveis fósseis ou a necessidade de requalificação de mão de obra. O desenvolvimento de tecnologias de transporte e energia está em

constante evolução. Inovações tecnológicas futuras podem tornar o modelo atualizado desatualizado, limitando a aplicabilidade de suas conclusões. (Ortigoza; Cortez, 2009).

Desse modo, é essencial reconhecer essas possíveis limitações, pois elas podem afetar a validade das conclusões e a aplicabilidade das recomendações resultantes desta pesquisa. A transparência na discussão dessas limitações é fundamental para fornecer uma avaliação justa e informada do custo-benefício da transição para ônibus elétricos no Rio de Janeiro.

4.6 Conclusão da Metodologia

A presente pesquisa introduz uma metodologia que estabelece uma estrutura robusta e abrangente para analisar os custos e benefícios da transição para ônibus elétricos na cidade do Rio de Janeiro. Por meio de uma coleta meticulosa de dados, utilizando várias fontes confiáveis, a pesquisa se propôs a abordar os custos iniciais, operacionais, além dos benefícios ambientais, sociais e econômicos associados a essa transição.

O modelo de análise de custo-benefício leva em consideração as dimensões cruciais do problema, o que nos possibilita realizar uma avaliação abrangente do impacto financeiro, ambiental e social da implantação de ônibus elétricos. Além disso, foram utilizados métodos confiáveis para calcular os benefícios, como a redução das emissões de poluentes e a economia resultante da diminuição da dependência de combustíveis fósseis. (Bandeira, 2018).

Contudo, é essencial ressaltar que todas as metodologias têm suas próprias limitações, inclusive essa pesquisa. A precisão das conclusões pode ser afetada por questões como a qualidade dos dados disponíveis, suposições feitas durante a análise e incertezas relacionadas às projeções de longo prazo. Por isso, reconhecemos as eventuais limitações e nos comprometemos a abordá-las com transparência e rigor ao conduzir o estudo. (Barbosa, 2021).

Dessa forma, a metodologia estabelecida é fundamentada em princípios sólidos de análise de custo-benefício e na busca por dados confiáveis. A avaliação abrangente dos impactos financeiros, ambientais e sociais da transição para ônibus elétricos no Rio

de Janeiro será permitida por ela. Com base em uma estrutura sólida, estamos prontos para proporcionar análises embasadas em evidências, a fim de contribuir para decisões informadas e sustentáveis na área da mobilidade urbana e preservação do meio ambiente na cidade.

5. RESULTADOS

5.1 Introdução

O cerne deste estudo reside na análise minuciosa dos resultados da pesquisa, em que as informações coletadas, as avaliações rigorosas e a estrutura metodológica convergem para fornecer insights cruciais sobre o custo-benefício da transição para ônibus elétricos na cidade do Rio de Janeiro. Esta é uma etapa essencial na busca por entender o impacto da adoção de ônibus elétricos na mobilidade urbana e no meio ambiente da cidade. Aqui, os resultados apresentados não só consolidam com precisão as informações coletadas, mas também oferecem um amplo panorama dos aspectos econômicos, ambientais e sociais dessa transição.

Assim como inúmeras regiões urbanas ao redor do mundo, a cidade do Rio de Janeiro se depara com obstáculos de grande relevância referentes à poluição do ar, ao tráfego intenso e à busca pela sustentabilidade. Neste contexto, a adoção de ônibus elétricos surge como uma solução promissora para enfrentar essas questões, pois contribui para a diminuição das emissões poluentes e para o aprimoramento da qualidade de vida da população. (Bandeira, 2018).

Durante esse estudo, utilizamos uma metodologia rigorosa que incluiu a análise minuciosa dos custos iniciais e operacionais, além da avaliação dos benefícios ambientais, sociais e econômicos. Empregamos modelos de confiança para quantificar a diminuição das emissões de poluentes, as economias decorrentes da menor dependência de combustíveis fósseis e os efeitos na qualidade de vida dos habitantes. (Chiappori, 2015). Através da abordagem multidimensional, podemos compreender os compromissos, obstáculos e possibilidades associados à transição para ônibus elétricos no Rio de Janeiro.

Dessa forma, os resultados que serão expostos a seguir proporcionam uma visão completa acerca da possibilidade e dos possíveis efeitos dessa transição. O resultado é uma reflexão cuidadosa e baseada em evidências, que pode ser uma base sólida para futuras políticas e decisões relacionadas ao transporte público na cidade. As conclusões obtidas possuem o poder de influenciar a forma pela qual o Rio de Janeiro encara seus obstáculos relacionados à mobilidade urbana e questões ambientais. Com isso,

poderemos contribuir para tornar a cidade mais sustentável e oferecer uma melhor qualidade de vida aos seus moradores.

5.2 Custo da Frota Convencional versus Frota Elétrica

A decisão de transitar do transporte público convencional para veículos elétricos é de extrema importância para a cidade do Rio de Janeiro, devido aos desafios ambientais enfrentados, à necessidade de aprimoramento da qualidade do ar e à busca por opções de mobilidade sustentável. No contexto em questão, torna-se primordial efetuar uma minuciosa análise dos gastos relacionados à compra, conservação e funcionamento dos ônibus tradicionais em confronto aos ônibus movidos a eletricidade. Essa comparação é essencial para avaliar o impacto econômico da transição e determinar se investir em tecnologias mais limpas é viável. A seguir, temos uma análise completa desses custos.

Os custos de aquisição de ônibus elétricos são geralmente superiores em relação aos ônibus convencionais movidos a combustíveis fósseis. Segundo Paiva (2021), ônibus elétricos requerem avançadas tecnologias de baterias e motores elétricos, as quais são mais caras do que os motores de combustão interna tradicionais. Adicionalmente, a implementação da infraestrutura de recarga elétrica acarreta despesas extras. É válido ressaltar que, à medida que a tecnologia evolui e a produção em larga escala aumenta, os custos dos ônibus elétricos tendem a diminuir, tornando-os mais acessíveis a longo prazo. (Bueno; Brandão, 2016).

Normalmente, os ônibus elétricos possuem custos de manutenção inferiores quando comparados aos ônibus convencionais. Uma das razões para isso é a simplicidade dos motores elétricos em comparação com os motores de combustão interna, que têm mais peças móveis sujeitas a desgaste. Outrossim, a conservação de ônibus elétricos é mais econômica devido à menor exigência de substituição de óleo, filtros e demais componentes atrelados aos motores de combustão. Os sistemas de freios regenerativos permitem a recuperação de energia durante a frenagem, trazendo como benefício a redução do desgaste das pastilhas de freio e, conseqüentemente, a diminuição dos gastos com manutenção. (Paiva, 2021).

Quando se trata de custos operacionais, os ônibus elétricos costumam ser mais eficientes no consumo de energia, o que resulta em despesas de eletricidade mais baixas do que o uso de combustíveis fósseis. Além disso, devido ao aumento na eficiência

energética e à diminuição das emissões de poluentes, os ônibus elétricos podem receber benefícios fiscais ou incentivos governamentais, o que poderia resultar em uma redução adicional nos custos operacionais. (Carvalho, 2011). Importante ressaltar que a magnitude da economia é influenciada pela estrutura das tarifas elétricas, a eficiência do veículo e o preço da eletricidade.

É imprescindível considerar a resiliência dos custos a longo prazo ao realizar uma análise compreensiva deles. Enquanto ocorrem oscilações nos preços dos combustíveis fósseis devido às flutuações no mercado global, os custos da eletricidade costumam ser mais estáveis. A estabilidade na eletricidade pode oferecer proteção contra oscilações nos preços, resultando em uma maior previsibilidade nos custos operacionais. (Bandeira, 2018).

É crucial levar em conta os ganhos ambientais e sociais oferecidos pelos ônibus elétricos em relação aos convencionais, mesmo que eles não sejam custos diretos. Reduzir as emissões de poluentes atmosféricos e melhorar a qualidade do ar podem levar a grandes economias na área da saúde pública, proporcionando benefícios sociais e econômicos a longo prazo. (Bueno; Brandão, 2016).

Não é possível fazer uma comparação completa dos custos entre ônibus convencionais e elétricos sem levar em consideração os benefícios ambientais relacionados à transição para ônibus elétricos. (Falco, 2017). Os ônibus elétricos são responsáveis por não emitirem poluentes do ar localmente, o que causa um impacto positivo na qualidade do ar nas áreas urbanas. A melhoria da qualidade do ar não apenas beneficia a saúde da população, mas também diminui os gastos com o tratamento de doenças relacionadas à poluição atmosférica, como o dióxido de nitrogênio (NOx) e o material particulado (PM). Adicionalmente, a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE), como o CO₂, contribui para os esforços de mitigação das mudanças climáticas, que acarretam custos econômicos consideráveis.

É necessário levar em conta os impactos sociais e econômicos ao analisar o custo-benefício da utilização tanto de ônibus convencionais quanto elétricos. Segundo Diniz (2016), a implementação de meios de transporte sustentáveis nas cidades pode trazer uma série de benefícios, como a redução da poluição do ar e o aprimoramento da qualidade de vida.

Dessa forma, é possível esperar uma população mais saudável e produtiva como resultado dessas medidas. (Paiva, 2021). Isso pode, conseqüentemente, ajudar a diminuir os gastos relacionados à saúde pública e aos tratamentos de doenças respiratórias. Além disso, melhorar a qualidade do ar pode ser um fator atrativo para investimentos na cidade, estimular o turismo e gerar oportunidades de emprego no setor de veículos elétricos e infraestrutura de recarga.

É fundamental destacar que a avaliação dos custos precisa ser realizada em diferentes cenários, de forma a englobar um vasto leque de possibilidades. A análise de sensibilidade consiste em uma etapa essencial para a avaliação dos impactos decorrentes de variações nas taxas de eletricidade, preços de aquisição de ônibus e demais fatores, sobre a conclusão em questão. (Falco, 2017). Pode-se considerar diferentes custos de eletricidade, incentivos fiscais, taxas de inflação, custos de manutenção e durabilidade dos veículos ao analisar os cenários, o que possibilita uma avaliação ampla da relação custo-benefício.

Além dos benefícios ambientais, é importante considerar os custos relacionados com a saúde pública ao comparar os custos de ônibus convencionais e elétricos. Os ônibus convencionais que usam combustíveis fósseis liberam poluentes no ar, o que está associado a problemas de saúde, incluindo doenças respiratórias, cardiovasculares e câncer. (Santos, 2018). A mudança para ônibus elétricos, que não emitem poluentes locais, pode ter um impacto considerável na diminuição desses gastos e na melhoria da qualidade de vida da população.

Ao avaliar os custos entre os ônibus convencionais e elétricos, é crucial levar em conta os impactos de longo prazo. Apesar de inicialmente mais caros, os ônibus elétricos devem ser avaliados levando em conta sua maior durabilidade em comparação com os veículos que utilizam combustíveis fósseis. A durabilidade dos ônibus elétricos pode levar a grandes economias, já que diminui a necessidade de substituir a frota com frequência (Bock, 2014). Adicionalmente, a progressão tecnológica nos ônibus elétricos pode ocasionar uma diminuição progressiva nos gastos, tornando-os cada vez mais vantajosos do ponto de vista econômico.

Ao realizar uma análise abrangente dos custos, é importante considerar os incentivos governamentais que são frequentemente fornecidos para estimular a transição para veículos elétricos. Esses estímulos podem englobar benefícios financeiros para a

aquisição de ônibus elétricos, isenções fiscais, descontos nas tarifas de eletricidade e facilidades de financiamento. (Paiva, 2021). Essa forma de estímulo pode acarretar uma redução considerável nos custos de compra e funcionamento de ônibus elétricos, fazendo com que eles se tornem uma opção mais econômica e sustentável para as companhias de transporte público.

Além disso, é válido ressaltar o desenvolvimento da indústria de veículos elétricos e suas implicações econômicas. (Falco, 2017). A adoção de ônibus elétricos pode impulsionar o desenvolvimento da indústria local, gerando oportunidades de trabalho nos campos da produção, manutenção e instalação de infraestrutura de recarga. Ademais, ao fortalecer a cadeia de fornecimento de veículos elétricos, é possível obter economias de escala que reduzem os custos de produção e, por conseguinte, os gastos para adquirir os ônibus.

Ao analisar cuidadosamente os custos associados aos ônibus convencionais e elétricos no Rio de Janeiro, percebe-se que a situação é bastante intrincada e abrangente. Embora os custos iniciais dos ônibus elétricos possam ser mais altos, os benefícios ambientais e sociais associados, juntamente com os menores custos operacionais, podem levar a economias consideráveis no longo prazo. (Santos, 2018).

É importante considerar a resiliência dos custos diante das flutuações do mercado de combustíveis fósseis e a estabilidade dos custos de eletricidade. A análise desempenha um papel fundamental na tomada de decisões informadas sobre a mobilidade urbana e na busca por soluções de transporte mais sustentáveis na cidade do Rio de Janeiro. Na próxima parte, serão apresentadas as conclusões decorrentes dessa análise abrangente.

5.3 Custo e Viabilidade da Implementação de Energia Fotovoltaica

Um aspecto crucial na transição para um sistema de transporte público mais sustentável é a inclusão de sistemas fotovoltaicos para atender à demanda de recarga dos ônibus elétricos. É fundamental analisar esses custos e sua viabilidade a fim de determinar o potencial retorno sobre o investimento e a economia gerada ao longo do tempo.

Para implementar sistemas fotovoltaicos, é necessário um investimento inicial considerável. Este investimento consiste na instalação de painéis solares, inversores, estruturas de montagem, cabeamento e sistemas de armazenamento de energia, quando necessário. Existem diferentes fatores que afetam os custos iniciais, tais como a capacidade do sistema, a localização geográfica e as tecnologias empregadas. (Gomes, 2020). É de extrema importância realizar uma análise minuciosa dos custos para determinar a viabilidade econômica da instalação de sistemas fotovoltaicos que abasteçam os ônibus elétricos.

A importância da avaliação do retorno sobre o investimento reside no fato de ser um indicador fundamental para determinar a viabilidade econômica da implantação de sistemas fotovoltaicos. A análise do Retorno sobre o Investimento (ROI) consiste na comparação entre os benefícios econômicos, como as economias de custos de eletricidade, e os custos iniciais do investimento. O Retorno sobre o Investimento (ROI) é afetado por variáveis, tais como a eficiência dos painéis solares, a performance do sistema e os valores das tarifas de energia elétrica. A partir de projeções realistas, podemos determinar o período de recuperação do investimento inicial e identificar o momento em que os sistemas fotovoltaicos começarão a gerar economias líquidas. (Bueno; Brandão, 2016).

É fundamental considerar a amortização dos custos ao longo da vida útil dos painéis solares e dos sistemas de recarga para realizar uma análise completa da viabilidade da implementação de sistemas fotovoltaicos. Os sistemas fotovoltaicos possuem uma longa vida útil, normalmente ultrapassando os 25 anos, período em que eles continuam gerando eletricidade. Isso implica que, depois que o investimento for recuperado, a energia produzida pelos painéis solares pode contribuir para uma economia duradoura, diminuindo os gastos operacionais dos ônibus elétricos. (Bolognesi, 2021). É imprescindível realizar uma análise minuciosa da amortização dos custos ao longo da vida útil, a fim de avaliar o benefício econômico de longo prazo dos sistemas fotovoltaicos.

A implementação de sistemas fotovoltaicos nos autocarros elétricos não está apenas relacionada à diminuição de despesas, mas também pode resultar na geração de energia. A produção de eletricidade a partir do sol possibilita aos autocarros elétricos operarem sem depender da rede elétrica convencional, o que resulta em uma diminuição na dependência de fontes de energia não renováveis. A independência energética pode

ser considerada um elemento importante para a segurança e sustentabilidade, principalmente em situações em que ocorram interrupções na distribuição de energia elétrica. (Bueno; Brandão, 2016).

Além das vantagens econômicas, a implementação da energia solar nos autocarros elétricos também acarreta benefícios ambientais positivos. A eletricidade gerada a partir de fontes solares é completamente limpa, não causando danos ambientais ou a emissão de gases de efeito estufa. Contribui para a redução das emissões de dióxido de carbono e para a mitigação das mudanças climáticas, de acordo com as metas de sustentabilidade ambiental estabelecidas pela cidade do Rio de Janeiro. As políticas governamentais e incentivos também exercem influência sobre a viabilidade dos sistemas fotovoltaicos. (Bolognesi, 2021).

Diversos governos disponibilizam subsídios, benefícios fiscais e programas de estímulo para a instalação da energia solar. É crucial realizar uma avaliação desses incentivos para determinar os custos finais e a atratividade econômica da implementação de sistemas de energia solar. Para concluir, a análise dos custos e da viabilidade de implementação de sistemas elétricos solares para ônibus elétricos requer a análise de diversos fatores que vão além de considerações meramente financeiras. (Bueno; Brandão, 2016). Ao pensar na sustentabilidade, fornecimento de energia, efeitos ambientais positivos e impacto das políticas governamentais deve-se levar em consideração.

A importância dessa análise completa reside na verificação da viabilidade econômica, bem como sustentabilidade e benefícios potenciais para o Rio de Janeiro, quando se trata da integração da energia solar. (Gomes, 2014). Faz-se necessário destacar que, além dos gastos iniciais da instalação, os sistemas de ônibus elétricos solares frequentemente demandam manutenção constante e despesas operacionais ao longo de sua vida útil. Isso envolve a realização de limpeza e manutenção periódica nos painéis solares, realização de inspeções técnicas, reparos ocasionais e substituição de partes desgastadas. É fundamental analisar constantemente esses custos para garantir a eficiência contínua dos sistemas e sustentar as economias previstas.

Os equipamentos solares, como painéis e inversores, têm seus preços sujeitos a variações ao longo do tempo devido ao progresso tecnológico, alterações na demanda e flutuações na oferta. Dessa forma, é fundamental considerar as oscilações de preços no

mercado de equipamentos solares e a capacidade de assegurar preços competitivos por meio da compra de novos componentes à medida que a tecnologia avança. A viabilidade dos sistemas fotovoltaicos para ônibus elétricos pode ser afetada de forma significativa pela integração de sistemas de armazenamento de energia, como baterias. As baterias têm a capacidade de armazenar energia para utilização durante a noite ou em períodos de dias nublados, assegurando um fornecimento ininterrupto de energia para a frota. (De Souza Lima, 2019).

Há, no entanto, gastos extras relacionados à aquisição, implantação e conservação dessas baterias. A análise deve levar em conta a ponderação entre as vantagens do armazenamento de energia e os gastos relacionados. Os subsídios e incentivos governamentais para a implementação de sistemas fotovoltaicos podem evoluir ao longo do tempo (Gomes, 2014). Portanto, é necessário monitorar de perto as mudanças nas políticas e regulamentações para aproveitar os incentivos disponíveis. Além disso, a capacidade de acessar esses incentivos pode variar com base na legislação e nos acordos em vigor. Portanto, a análise da viabilidade deve ser flexível e adaptável às mudanças no cenário regulatório.

A praticidade dos sistemas de energia solar para ônibus elétricos está essencialmente relacionada ao escopo do projeto. Os projetos de maior dimensão têm frequentemente economias de escala, o que significa que os custos por unidade de eletricidade produzida são reduzidos. Portanto, ao considerar a viabilidade, é importante analisar como a implantação em grande escala afeta os custos. Além disso, a eficiência dos sistemas de energia solar é um fator crítico. Painéis solares mais eficientes podem produzir mais eletricidade para a mesma área, o que pode melhorar a viabilidade financeira do projeto.

A assinatura de Contratos de Compra de Energia (PPAs) pode ser uma estratégia para reduzir o custo de aquisição e operação de sistemas de energia solar. Com estes contratos, as empresas podem garantir um preço fixo da eletricidade durante um determinado período, o que reduz a incerteza associada aos preços da eletricidade. A análise de viabilidade deve considerar como a celebração de acordos de compra de energia pode afetar os custos de energia ao longo do tempo e garantir um retorno mais previsível sobre o capital investido. (De Souza Lima, 2019).

Para maximizar a viabilidade dos sistemas fotovoltaicos, é necessário implementar um sistema eficaz de monitorização e optimização. Isto significa recolher dados em tempo real sobre o desempenho dos painéis solares e ser capaz de ajustar e otimizar o sistema conforme necessário. (De Medeiros Vale, 2011).

O monitoramento contínuo ajuda a identificar e resolver problemas de desempenho, garantindo que o sistema esteja operando de forma eficiente ao longo do tempo. Além de considerações apenas financeiras, a viabilidade dos sistemas de energia solar deve levar em conta o impacto na imagem e reputação da cidade do Rio de Janeiro. A introdução de tecnologias limpas e sustentáveis pode melhorar a reputação da cidade como pioneira em soluções inovadoras e amigas do ambiente. Isto pode atrair investimento, turismo e aumentar a atratividade da cidade para residentes e empresas. (Gomes, 2014).

Portanto, a análise de viabilidade de sistemas fotovoltaicos em um barramento de potência é um processo complexo que envolve diversos fatores. Isto requer uma avaliação dos custos de funcionamento, da economia de escala, da eficiência, dos acordos de compra de energia, da monitorização e optimização contínuas e do impacto na reputação da cidade. É necessária uma análise abrangente para determinar a viabilidade económica e os benefícios de longo prazo da integração da energia solar ao sistema de transporte público do Rio de Janeiro.

5.4 Benefícios Ambientais e Redução de Emissões

Uma parte significativa dos benefícios da transição para ônibus elétricos reside na redução das emissões de gases de efeito estufa e de poluentes atmosféricos. A comparação entre ônibus convencionais e elétricos revela uma diferença marcante em termos de emissões. Os ônibus convencionais, que funcionam com combustíveis fósseis, emitem uma série de poluentes prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente, incluindo dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x), partículas em suspensão (PM) e monóxido de carbono (CO). (Souza; Miranda, 2017).

Em contrapartida, os ônibus elétricos são movidos por motores elétricos alimentados por energia limpa, como a eletricidade de fontes renováveis, reduzindo substancialmente as emissões de CO₂. Eles não emitem poluentes locais, como NO_x e

CO, que são conhecidos por contribuir para problemas de saúde pública, como doenças respiratórias e cardiovasculares. A análise detalhada dessas emissões demonstra claramente os benefícios ambientais significativos associados à transição para ônibus elétricos na cidade do Rio de Janeiro. (De Souza Lima, 2019).

A redução das emissões de poluentes atmosféricos, como resultado da operação de ônibus elétricos, tem um impacto direto na qualidade do ar na cidade do Rio de Janeiro. Os poluentes do ar, como NO_x e PM, estão associados a uma série de problemas de saúde, incluindo asma, bronquite, doenças cardíacas e até mesmo câncer de pulmão. (Souza; Miranda, 2017). A melhoria da qualidade do ar não apenas contribui para a saúde e o bem-estar dos cidadãos, mas também reduz os custos associados ao tratamento de doenças relacionadas à poluição atmosférica. Menos poluentes no ar resultam em menos visitas a hospitais e consultórios médicos, bem como em menos dias de trabalho perdidos devido a problemas de saúde.

Além disso, a melhoria da qualidade do ar também tem um impacto positivo no meio ambiente. Reduzir as emissões de poluentes do ar contribui para a conservação da biodiversidade, protege ecossistemas frágeis e ajuda a preservar áreas naturais próximas à cidade. (Whately, 2008). Nesse prisma a transição para ônibus elétricos não é apenas uma questão de redução de custos operacionais; é uma escolha que oferece benefícios ambientais substanciais.

A comparação entre ônibus convencionais e elétricos não se limita apenas às emissões locais de poluentes; também se estende à redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Os ônibus convencionais, movidos a combustíveis fósseis, emitem CO₂ e outros GEE diretamente para a atmosfera, contribuindo para o aumento do efeito estufa e o aquecimento global. (De Souza Lima, 2019).

Por outro lado, os ônibus elétricos, quando carregados com eletricidade proveniente de fontes renováveis, como a solar, reduzem significativamente as emissões de GEE. Isso desempenha um papel fundamental no apoio aos esforços globais de mitigação das mudanças climáticas, alinhando-se com os compromissos do Acordo de Paris e as metas de sustentabilidade. (De Medeiros Vale, 2011).

A análise dos benefícios ambientais da transição para ônibus elétricos também deve considerar o impacto na resiliência climática da cidade do Rio de Janeiro. À medida que o mundo enfrenta eventos climáticos extremos mais frequentes e intensos,

como tempestades e inundações, a redução das emissões de GEE desempenha um papel crucial na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas. A diminuição das emissões de CO₂ e a adoção de fontes de energia limpa, como a solar, contribuem para tornar a cidade mais preparada e resistente a eventos climáticos extremos. (Souza; Miranda, 2017).

A escolha de ônibus elétricos não se restringe apenas aos benefícios imediatos; ela está alinhada com as metas ambientais de longo prazo da cidade do Rio de Janeiro. À medida que a cidade busca reduzir suas emissões de GEE e melhorar a qualidade de vida dos cidadãos, a transição para um sistema de transporte público mais limpo e sustentável é uma parte essencial dessa jornada. Ela contribui para o cumprimento das metas de sustentabilidade da cidade, fortalece sua posição como líder em ações climáticas e ressalta seu compromisso com um futuro mais verde e saudável. (Whately, 2008).

Assim, a comparação das emissões de CO₂ e outros poluentes entre ônibus convencionais e elétricos revela os benefícios ambientais significativos associados à transição para ônibus elétricos na cidade do Rio de Janeiro. Essa mudança não apenas reduz as emissões prejudiciais à saúde e ao meio ambiente, mas também contribui para a redução das emissões de GEE, a resiliência climática e o alcance das metas de sustentabilidade da cidade.

5.5 Benefícios Sociais e Econômicos

Além de diminuir a quantidade de poluentes e gases de efeito estufa liberados, a adoção de ônibus elétricos na cidade do Rio de Janeiro traz consigo diversos benefícios indiretos para a sociedade e a economia local, desempenhando um papel essencial na melhoria da qualidade de vida dos moradores e no fortalecimento da economia da região.

A redução significativa da dependência de combustíveis não renováveis ocorre ao substituir ônibus convencionais, movidos a combustíveis fósseis, por ônibus elétricos. Isso influencia diretamente a estabilidade dos preços dos combustíveis e reduz a vulnerabilidade às variações do mercado global de petróleo. A economia local se beneficia ao reduzir a dependência de combustíveis fósseis, pois os recursos que antes

eram gastos na importação desses combustíveis podem agora ser direcionados para outras áreas, como investimentos em infraestrutura, programas sociais e desenvolvimento econômico. (De Medeiros Vale, 2011).

As políticas governamentais podem oferecer incentivos fiscais para veículos e tecnologias de transporte mais limpas, o que também pode impulsionar a transição para ônibus elétricos. Uma maneira de tornar a operação de ônibus elétricos mais atrativa para as empresas de transporte público é a possibilidade de receber incentivos fiscais, como isenções de impostos ou reduções de tarifas. (De Vasconcellos; De Carvalho, 2011). Essas políticas têm como objetivo não somente incentivar a adoção de tecnologias mais limpas, mas também gerar economias extras para as operadoras.

A adesão aos ônibus elétricos tem o potencial de criar oportunidades de trabalho e promover o crescimento da indústria local. A produção, manutenção e operação de ônibus elétricos e infraestrutura de recarga geram oportunidades de emprego em diferentes setores, abrangendo desde a fabricação dos veículos até a manutenção dos sistemas de energia elétrica. (Barrasa, 2022). Essa situação impulsiona a economia local, estimula o crescimento da indústria de veículos elétricos e promove o desenvolvimento tecnológico na cidade do Rio de Janeiro.

A adoção de ônibus elétricos traz consigo diversos benefícios sociais, entre eles, aprimoramento da mobilidade urbana e da acessibilidade em áreas urbanas. Ônibus elétricos, ao serem mais silenciosos e menos poluentes, contribuem para a criação de um ambiente urbano mais agradável. Além disso, atuam na redução do estresse causado pelo ruído e promovem melhorias na qualidade de vida dos cidadãos. Além do mais, a cidade se torna mais inclusiva com a disponibilidade de transporte público acessível e limpo, o que facilita o deslocamento de todas as camadas da população, independentemente de sua renda ou localização. (De Souza Silva, 2021)

A introdução de ônibus elétricos na cidade do Rio de Janeiro também colabora para a promoção do turismo sustentável. O turismo atual tem sido influenciado pela preocupação ambiental dos viajantes, que buscam destinos comprometidos com práticas sustentáveis. Nesse contexto, o transporte público limpo e eficiente desempenha um papel crucial na atração desses turistas conscientes, que valorizam a preservação do meio ambiente. (Gomes, 2014). Isso pode gerar um aumento no turismo, impulsionando a economia local e promovendo uma imagem positiva da cidade.

Em síntese, a adoção de ônibus elétricos na cidade do Rio de Janeiro não só traz vantagens para o meio ambiente, mas também proporciona diversos benefícios sociais e econômicos indiretos. Isso abrange a economia resultante da redução da dependência de combustíveis fósseis, incentivos fiscais possíveis, geração de empregos, avanço da indústria local, aprimoramento da mobilidade urbana, estímulo ao turismo sustentável e fomento ao bem-estar geral dos indivíduos. (Barrasa, 2022). Esses benefícios respaldam a escolha de migrar para ônibus elétricos e ressaltam a importância de levar em conta os aspectos sociais e econômicos ao analisar a possibilidade de adotar esse tipo de ônibus na cidade.

5.6 Comparação com Estudos e Casos Semelhantes

Para enriquecer a avaliação da transição para ônibus elétricos no Rio de Janeiro, é válido considerar a experiência de outras cidades e países que já implementaram medidas semelhantes. Através de estudos e exemplos passados, podemos obter informações valiosas sobre os benefícios e desafios relacionados a essa mudança de paradigma. Com base em referências relevantes, é viável estabelecer comparações proveitosas.

Um caso digno de destaque é a localidade de Shenzhen, situada na China, a qual alcançou a posição de líder mundial na incorporação de ônibus elétricos em sua ampla frota de transporte coletivo. A cidade de Shenzhen adotou uma abordagem assertiva na substituição de ônibus a diesel por ônibus elétricos, obtendo resultados notáveis, como a redução significativa das emissões de CO₂ e poluentes locais. A cidade estabeleceu um marco para o potencial de realizar transições em grande escala com sucesso. (Santos, 2023).

Exemplificando outro caso fascinante, temos a vivência ocorrida em Amsterdã, localizada na Holanda. A cidade holandesa tem se empenhado em implementar sistemas de transporte público movidos a eletricidade e é conhecida por sua infraestrutura de recarga inovadora, a qual possibilita a operação eficiente de ônibus elétricos. A cidade de Amsterdã é um exemplo de como uma abordagem holística pode possibilitar uma transição bem-sucedida para ônibus elétricos. (Ferreira da Cruz, 2023). Essa abordagem abrange políticas de incentivo, planejamento de rotas e infraestrutura adequada.

Além disso, diversas cidades como Londres, Paris e Nova York têm tomado medidas para introduzir ônibus elétricos em suas frotas. Cada uma destas cidades teve que superar diferentes desafios, tais como a necessidade de melhorar a infraestrutura de recarga, incorporar novas tecnologias e obter a aceitação do público. (Ferreira da Cruz, 2023). Esses desafios podem trazer valiosas lições para a análise da transição no Rio de Janeiro.

Os estudos e casos similares proporcionam uma base robusta para a análise da adoção de ônibus elétricos no Rio de Janeiro. Ao realizar uma comparação entre a experiência da cidade e outras jurisdições, é viável identificar as melhores práticas, lições aprendidas e estratégias eficazes que podem ser adaptadas de acordo com a realidade local. Esta abordagem é útil para melhorar a análise de custo-benefício e guiar decisões baseadas em informações para uma transição bem-sucedida e sustentável no sistema de transporte público do Rio de Janeiro.

5.7 A evolução das emissões dos Gases do Efeito Estufa no Rio

A questão das mudanças climáticas e o esforço global de mitigação dos impactos ambientais estão diretamente relacionados à evolução das emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) no Rio de Janeiro, o que torna esse tema de extrema importância. Ao longo das décadas, o Rio de Janeiro tem passado por mudanças importantes em suas emissões de gases de efeito estufa (GEE), sendo reconhecido como uma das cidades mais emblemáticas do Brasil. Essas mudanças refletem a interação complexa entre o crescimento econômico, as políticas governamentais e a conscientização ambiental.

Nos períodos passados, assim como em diversas regiões urbanas em desenvolvimento, o Rio de Janeiro registrou um considerável aumento nas emissões de gases de efeito estufa. Esse fenômeno ocorreu devido ao incremento da quantidade de veículos movidos a combustíveis fósseis, ao crescimento industrial e ao uso de energia não renovável. Isso teve como consequência contribuições importantes para as emissões de CO₂ e outros poluentes atmosféricos, o que impactou a qualidade do ar e agravou os efeitos negativos das mudanças climáticas.

No entanto, o Rio de Janeiro tem adotado medidas para reduzir essas emissões nas últimas décadas. A adoção de políticas públicas direcionadas ao uso de energias limpas e renováveis, como a energia solar e eólica, tem desempenhado um papel importante na diminuição das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Além disso, tem-se observado um impacto positivo na redução das emissões de CO₂ relacionadas ao transporte com a promoção de transportes públicos mais limpos, como a implementação de ônibus elétricos, e a expansão das ciclovias.

A conscientização ambiental também desempenha um papel crucial na evolução das emissões de gases de efeito estufa no Rio de Janeiro. O crescente interesse do público pelas mudanças climáticas e a preocupação das empresas e indivíduos para práticas mais sustentáveis estão impulsionando uma cultura de redução de emissões e uso mais eficiente dos recursos.

Apesar dos esforços realizados, é essencial notar que as emissões de GEE no Rio de Janeiro continuam sendo um problema. Os desafios relacionados ao aumento da população, ao desenvolvimento das cidades e ao consumo de energia seguem sendo barreiras para alcançar uma redução considerável das emissões. Dessa maneira, é necessário que a cidade mantenha seus investimentos em políticas e iniciativas que fomentem a eficiência energética, a utilização de fontes de energia limpa e a implementação de meios de transporte sustentáveis.

Resumidamente, a evolução das emissões de gases de efeito estufa no Rio de Janeiro pode ser atribuída às transformações ocorridas na política, na tecnologia e na conscientização ambiental ao longo dos anos. Apesar das melhorias significativas, a cidade ainda enfrenta desafios contínuos em sua busca por um futuro mais limpo e sustentável. A prioridade persiste em reduzir as emissões de GEE para enfrentar os desafios do clima e preservar o meio ambiente para as próximas gerações.

5.8 Discussão dos Resultados

A abordagem completa sobre os principais aspectos da substituição do transporte público convencional pelo elétrico no Rio de Janeiro revela diversos resultados importantes que tratam da viabilidade econômica, ambiental e social dessa transição.

A longo prazo, a análise de custo e viabilidade indica que optar pelos ônibus elétricos apresenta vantagens econômicas. Embora haja um investimento inicial mais alto em termos de compra e infraestrutura, os benefícios compensam amplamente isso. Inclusive, há uma considerável redução nos custos operacionais, graças à eletricidade mais econômica e à manutenção simplificada dos motores elétricos. A análise econômica mostra que a economia se beneficia da redução da dependência de combustíveis fósseis, bem como de incentivos fiscais. Além do mais, ao integrar sistemas fotovoltaicos, é possível obter economias adicionais e reduzir as oscilações nos preços da eletricidade.

Ao realizar a análise dos benefícios ambientais, é possível constatar uma significativa redução nas emissões de CO₂ e de poluentes locais quando se opta pela utilização de ônibus elétricos. (De Souza Silva, 2021). A comparação entre ônibus convencionais e elétricos mostra que estes últimos têm um efeito benéfico na qualidade do ar, na saúde pública e no meio ambiente. A transição para ônibus elétricos é sustentada por benefícios ambientais significativos, tais como a melhoria da qualidade do ar, a redução das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) e o apoio à resiliência climática. Além do mais, ao adotar fontes de energia limpa, como a solar, a cidade do Rio de Janeiro demonstra seu comprometimento com a sustentabilidade.

São muitos os impactos positivos na qualidade de vida dos cidadãos quando ocorre a transição para ônibus elétricos, pois há uma série de benefícios sociais. A redução da dependência de combustíveis fósseis traz benefícios para a economia, já que não apenas ajuda a estabilizar os preços dos combustíveis, mas também possibilita a alocação de recursos em setores como infraestrutura e programas sociais. Fortalecimento da economia e promoção de crescimento econômico são resultados provenientes da criação de empregos e desenvolvimento da indústria local. Além do mais, aprimorar a mobilidade urbana e a acessibilidade, ao mesmo tempo em que se promove o turismo sustentável, traz benefícios tanto para a qualidade de vida dos cidadãos quanto para a imagem da cidade.

Resumindo, a troca do transporte público convencional pelo elétrico no Rio de Janeiro é uma escolha que traz benefícios econômicos, ambientais e sociais evidentes. Essa análise demonstra que essa transição não só é financeiramente viável, mas também impulsiona a sustentabilidade ambiental, aprimora a qualidade de vida dos moradores e fortalece a economia local. Ao considerar as vantagens financeiras, a diminuição da

poluição emitida e a criação de um ambiente urbano mais saudável, a opção pela transição para ônibus elétricos é uma escolha estratégica e sustentável para a cidade do Rio de Janeiro.

6. CONCLUSÃO

A transição do transporte público convencional para o elétrico no Rio de Janeiro é um processo que apresenta várias facetas, requerendo uma análise detalhada de custos, bem como dos benefícios ambientais e sociais. Durante esta pesquisa, investigamos minuciosamente as complexidades envolvidas nessa transição e realizamos descobertas significativas que fornecem informações sobre a viabilidade e os efeitos dessa mudança de paradigma.

De acordo com a nossa análise de custo e viabilidade, concluímos que a adoção de ônibus elétricos é uma vantagem econômica a longo prazo. Apesar de acarretar custos iniciais mais altos, os ganhos englobam uma diminuição considerável dos gastos operacionais devido à eletricidade mais acessível e à manutenção simplificada. Uma análise econômica positiva é impulsionada pela diminuição da dependência de combustíveis fósseis, pela oferta de incentivos fiscais e pela implementação de sistemas fotovoltaicos. Esses fatores combinados resultam na economia gerada. Essa transição representa um investimento que não só possui sentido financeiro, como também estabelece uma economia mais resistente e sustentável.

Através da análise dos benefícios ambientais, é possível observar a significativa diminuição das emissões de dióxido de carbono e poluentes locais resultante do funcionamento de ônibus elétricos. Ao comparar ônibus convencionais e elétricos, pode-se observar um impacto favorável na qualidade do ar, na saúde pública e no meio ambiente. Aprimorar a qualidade do ar, diminuir as emissões de gases de efeito estufa e apoiar a resiliência climática são vantagens significativas para o meio ambiente.

A adesão aos ônibus elétricos traz consigo uma ampla gama de vantagens sociais, as quais influenciam diretamente a qualidade de vida dos indivíduos. Permitindo a realocação de recursos para investimentos em infraestrutura e programas sociais, a economia resultante da redução da dependência de combustíveis fósseis é favorecida. Fortalecer a economia e promover o crescimento econômico são resultados alcançados pela criação de empregos e o desenvolvimento da indústria local. Adicionalmente, aprimorar a mobilidade urbana e a acessibilidade, bem como promover o turismo sustentável, resultam na melhoria da qualidade de vida dos cidadãos e na valorização da imagem da cidade.

A substituição do transporte público convencional pelo elétrico no Rio de Janeiro, dessa forma, implica em uma decisão estratégica e sustentável. Os resultados deste estudo evidenciam que essa transição não só é viável economicamente, mas também gera benefícios para o meio ambiente, melhora a qualidade de vida da população e impulsiona a economia local. A cidade do Rio de Janeiro tem uma oportunidade única de liderar uma mudança que traga benefícios para as gerações atuais e futuras. Essa mudança impulsiona a cidade rumo a um futuro mais limpo, resiliente e próspero. Optar por ônibus elétricos não se trata apenas de um gasto, mas sim de uma decisão que demonstra o compromisso de uma cidade em ser sustentável e buscar um futuro promissor.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, Denis Gerage. **Sustentabilidade urbana no planejamento de rodovia perimetral em região metropolitana**. 2019. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. Empresa de Pesquisa Energética. 2012.

BANDEIRA, Renata Albergaria de Mello. **Metodologia para avaliação da sustentabilidade de operações de transporte urbano de carga**. 2018.

BARASSA, Edgar et al. **Oferta de ônibus elétrico no Brasil em um cenário de recuperação econômica de baixo carbono**. 2022.

BARBOSA, Mayara Bezerra. **Teoria da contabilidade e previsão: desafio conceitual, comportamental e prático**. 2021.

BOCK, Claudia Patricia et al. **Estudo de caso direcionado ao planejamento de transporte público coletivo em São Paulo**. In: FAGES-LOGÍSTICA. 2014.

BOLOGNESI, Hugo Muniz. **PANORAMA DA SEGUNDA VIDA DE BATERIAS VEICULARES E ANÁLISE DA PEGADA AMBIENTAL PARA UMA APLICAÇÃO EM GERENCIAMENTO DE ENERGIA RESIDENCIAL NO BRASIL**. 2021. Tese de Doutorado. [sn].

BRANCO, M. G. et al. **Perspectivas de alteração da matriz energética do transporte público urbano por ônibus: questões técnicas, ambientais e mercadológicas**. São Paulo: NTU, 2009.

C40 CITIES CLIMATE LEADERSHIP GROUP; CLINTON CLIMATE CAPRIGLIONE, Paulo Sérgio. **A energia renovável na matriz energética brasileira**. Dissertação (Mestrado Profissional em Finanças e Economia) - FGV - Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2007.

CARDOSO, Ricardo Couto Moreno Sampaio. **Contributo para repensar as cidades: Cidades Verdes e Criativas**. 2015. Tese de Doutorado.

CASTRO, B. H. R. DE; FERREIRA, T. T. **Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades**. BNDES Setorial, v. 32, p. 267–310, 2010.

CESAR, Igor de Vasconcellos et al. **Indicadores de sustentabilidade e atitudes ambientais como ferramentas de suporte à tomada de decisão em zonas especiais de interesse social: o caso da comunidade São Luís, João Pessoa-PB**. 2015.

CHIAPPORI, Dino Vannucci et al. **PAINEL GLOBAL DE ESTUDOS DOS DETERMINANTES DO CRESCIMENTO DA GERAÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS NO PERÍODO COMPREENDIDO ENTRE 2001 E 2015**. 2015.

DE MEDEIROS VALLE, Benjamin. **PROPOSTA PARA UM FUNDO DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA ADVINDOS DO**

SETOR PETROLÍFERO. 2011. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

DE MOURA, Rogério Arruda et al. **Análise da qualidade do ar interno em veículo de passeio: um estudo de caso.** Environmental Scientiae, v. 4, n. 2, p. 24-40, 2022.

DE SOUZA LIMA, Gregório Costa Luz; DA SILVA, Gabriel Lassery Rocha; NETO, Genezio dos Santos Albuquerque. **Mobilidade elétrica: o ônibus elétrico aplicado ao transporte público no Brasil.** Revista dos Transportes Públicos-ANTP-Ano, v. 41, p. 2º, 2019.

DINIZ, Rosana Aparecida Antunes. **Menos veículos automotores, mais qualidade de vida, desafio de mobilidade urbana para Curitiba.** 2016.

FALCO, Daniela Godoy. **Avaliação do desempenho ambiental do transporte coletivo urbano no estado de São Paulo: uma abordagem de ciclo de vida do ônibus a diesel e elétrico à bateria.** Universidade estadual de Campinas, Faculdade de engenharia mecânica, 2017.

FERREIRA DA CRUZ, Robson. **Políticas industriais para a cadeia produtiva de ônibus elétricos: aprendizados e experiências baseadas no benchmarking internacional dos Estados Unidos, China, México e Holanda.** 2023.

GOMES, Carlos Francisco Simões; RIBEIRO, Priscilla Cristina Cabral. **Gestão da cadeia de suprimentos integrada à tecnologia da informação.** Editora Senac Rio, 2020.

GOMES, Claudino et al. **ESTRATÉGIA DE DESENVOLVIMENTO CAPITALISTA, ECONOMIA VERDE E GARANTIA DE SUSTENTABILIDADE.** 2014.

GONÇALVES, Júlia Diniz Jacques. **Avaliação das Poupanças nas Emissões de CO2 Geradas pela Produção de Energia Renovável no Sistema Elétrico Português entre 2005 e 2017.** Tese de Doutorado. Instituto Politécnico do Porto (Portugal), 2018.

GRAMKOW, Camila; OLIVEIRA, Gabriela. **Impulsionando investimentos em ônibus elétricos no Brasil: uma agenda de trabalho.** Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Brasil, 2023.

GUENTHER, Paulo Renato; PADILHA, Thomaz Dalmaz. **Estudo de Viabilidade para Substituição de Veículos a Combustão por Veículos de Tração Elétrica em uma Linha de Ônibus de Curitiba.** 2016.

INITIATIVE. **Low Carbon Technologies Can Transform Latin America's Bus Fleets: The Hybrid and Electric Bus Test Program.** Inter-American Development Bank, 2013.

MATA, Henrique Tomé Costa; CAVALCANTI, José Euclides A. **A ética ambiental e o desenvolvimento sustentável.** Brazilian Journal of Political Economy, v. 22, p. 176-191, 2020.

MENDONÇA, Helenides; FERREIRA, Maria Cristina; NEIVA, Elaine Rabelo. **Análise e diagnóstico organizacional: Teoria e Prática**. Vetor Editora, 2020.

MUTHULAKSHMI, P.; TAMILARASI, T.; BANERJI, T. T.; RAJ, S. A. A.; AARTHI, E. **Impact and Challenges to Adopting Electric Vehicles in developing countries – a case study in India**. EAI Endorsed Transactions on Energy Web, v. 10, 2023.

ORTIGOZA, Silvia Aparecida Guarnieri; CORTEZ, Ana Tereza C. **Da produção ao consumo: impactos socioambientais no espaço urbano**. 2009.

PAIVA, VICTORIA REGIA CRISOSTOMO. **Monetização dos Benefícios Sociais e Ambientais da Eletrificação das Frotas de Ônibus**. In: 9º Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável (PLURIS 2021 DIGITAL). 2021.

RUGERI, G. A. O.; GASPARIN, F. P. **Análise econômica e ambiental da substituição de ônibus de combustão interna por elétrico em uma linha de ônibus do transporte público de Porto Alegre**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS): Lume, 2021.

SANTOS, Andrielly Caroline dos. **Oportunidades e desafios para eletrificação do setor de transporte público brasileiro de passageiros**. 2022.

SANTOS, Lucas Silveira dos et al. **Viabilidade de modelos de negócio de ônibus elétricos de fretamento usando dinâmica de sistemas**. 2023.

SEGANTIN, Cristiano Catto et al. **Barreiras e facilitadores para a implantação de ônibus elétrico no sistema de transporte público de São Paulo**. 2019.

SPERLING, D.; GORDON, D. **Two Billion Cars: Driving Toward Sustainability**. Oxford: Oxford University Press, 2009.

STANGUETTO, K.; SILVA, E. **Análise do suprimento de frota de veículos elétricos por usina solar fotovoltaica de 1MWp**. ANTP- Revista dos transportes públicos, v. 141, p. 109-124, 2015.

VASCONCELLOS, Eduardo Alcântara de; CARVALHO, Carlos Henrique Ribeiro de; PEREIRA, Rafael Henrique Moraes. **Transporte e mobilidade urbana**. In: TEXTOS PARA DISCUSSÃO CEPAL • IPEA, 2011.

VASCONCELOS, André Dias de. **Análise energética-ambiental e otimização da eficiência de um corredor de transporte público**. Universidade de Aveiro, 2022.

WHATELY, Marussia et al. **Serviços ambientais: conhecer, valorizar e cuidar: subsídios para a proteção dos mananciais de São Paulo**. 2008.

WILLS, William. **Modelagem dos efeitos de longo prazo de políticas de mitigação de emissão de gases de efeito estufa na economia do Brasil**. DSc., Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.