

Universidade do Estado do Pará
Centro de Ciências Naturais e Tecnologia
Curso de Graduação em Engenharia de Produção



ARIANNA TEIXEIRA PEREIRA

JANIELLE DA SILVA LAGO

**COP-30 E MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL: ABORDAGEM
HÍBRIDA PARA ANÁLISE DOS BENEFÍCIOS ECONÔMICOS E
AMBIENTAIS NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM**

Belém - PA

2024

ARIANNA TEIXEIRA PEREIRA

JANIELLE DA SILVA LAGO

**COP-30 E MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL: ABORDAGEM
HÍBRIDA PARA ANÁLISE DOS BENEFÍCIOS ECONÔMICOS E
AMBIENTAIS NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Naturais e Tecnologia da Universidade do Estado do Pará como requisito avaliativo parcial da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia de Produção.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Yvelyne Bianca Iunes Santos.

Coorientador: Prof. Dr. Bruno Miguel Delindro Veloso.

Belém - PA

2024



UNIVERSIDADE DO ESTADO DO PARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

FOLHA DE APROVAÇÃO

“COP-30 E MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL: ABORDAGEM HÍBRIDA PARA ANÁLISE DOS BENEFÍCIOS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM”. Trabalho de Conclusão de Curso, foi apresentado como requisito necessário para obtenção do título de Engenheiro de Produção pelas alunas **ARIANNA TEIXEIRA PEREIRA E JANIELLE DA SILVA LAGO**, em 05 de dezembro de 2024, na Universidade do Estado do Pará (UEPA), e aprovado pela Banca Examinadora, formada pelos seguintes membros:

Dra. Yvelyne Bianca Iunes Santos, UEPA
Orientador

Assinado por: BRUNO MIGUEL DELINDRO VELOSO
Data de Emissão: 05/12/2024
Hora: 11:28:57 AM -0300



Dr. Bruno Miguel Delindro Veloso, Universidade do Porto
Co-Orientador

Dr. José Alberto Silva de Sá, UEPA
1º Avaliador

Dr.ª Norma Ely Santos Beltrão, UEPA
2º Avaliador

Belém/PA, 05 de dezembro de 2024.

AGRADECIMENTOS

Arianna Teixeira Pereira

A realização deste Trabalho de Conclusão de Curso foi uma jornada repleta de desafios e aprendizados, mas também de imensa gratidão. Afinal, não teria sido possível chegar até aqui sem o apoio e incentivo de tantas pessoas queridas.

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, minha fonte de força e inspiração. É graças a Ele que encontrei a sabedoria e a serenidade necessárias para superar cada obstáculo; sem dúvida, sua presença constante em minha vida foi vital para esta conquista.

Em seguida, gostaria de expressar minha profunda gratidão aos meus orientadores, Prof.^a Dr.^a Yvelyne Bianca Iunes Santos e Prof. Dr. Bruno Miguel Delindro Veloso. Graças à dedicação de ambos, pude desenvolver este trabalho com qualidade e segurança.

Além disso, sou eternamente grata à minha família, em especial minha mãe e pai, Zenaide Teixeira e José Areno, meu porto seguro em todos os momentos. Sendo meus principais apoiadores e motivadores para seguir em frente com amor e garra.

Por fim, mas não menos importante, agradeço ao meu namorado, Andrey Manhyck. Sua presença em minha vida me proporcionou a tranquilidade e o amor necessários para concluir esta etapa. Graças a você, pude celebrar mais uma conquista com a pessoa que amo.

A todos, a minha mais profunda gratidão. Vocês fizeram parte desta jornada.

RESUMO

A poluição ambiental e as mudanças climáticas, impulsionadas na maioria pelas emissões do setor de transportes, representam desafios globais que exigem soluções urgentes. Nesse contexto, a eletrificação do transporte público surge como uma estratégia promissora para mitigar os impactos ambientais, como a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e a melhoria da qualidade do ar. Este estudo apresenta os resultados de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) combinada com a metodologia de análise multicritério Fuzzy-TOPSIS, visando identificar e priorizar pesquisas sobre o uso de frotas de ônibus elétricos na Região Metropolitana de Belém (RMB), capital do Pará, que sediará a COP-30 (30ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas) em 2025. A pesquisa enfatiza fatores-chave como a redução das emissões de GEE, a redução da poluição sonora, a eficiência energética e a melhoria da qualidade do ar. Os resultados foram organizados seguindo a metodologia PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), conforme as diretrizes da comunidade científica da Colaboração Cochrane. Após a pesquisa em vários bancos de dados, os estudos selecionados foram submetidos a análise multicritério e comparativas, o que permitiu destacar os artigos mais relevantes. O estudo também inclui uma análise comparativa com base na experiência de Portugal na adoção de ônibus elétricos, usando a matriz SWOT para avaliar os principais pontos fortes e desafios. A pesquisa destaca a aplicabilidade das estratégias implementadas em Portugal ao contexto da RMB, considerando suas características geográficas, demográficas e econômicas. A conclusão se alinha com a agenda global de desenvolvimento sustentável, destacando que a implementação de frotas elétricas apoiadas por energias renováveis é uma solução viável para atingir a meta de zero emissões de CO₂. Essas políticas são recomendadas para a RMB, contribuindo para a promoção da mobilidade urbana sustentável e o cumprimento dos compromissos climáticos globais.

Palavras-chave: Mobilidade Urbana Sustentável; Ônibus Elétricos; RSL; Fuzzy-TOPSIS; PRISMA; Análise SWOT; Análise Comparativa; Benefícios ambientais e econômicos; COP-30.

ABSTRACT

Environmental pollution and climate change, mostly driven by emissions from the transport sector, represent global challenges that require urgent solutions. In this context, the electrification of public transport has emerged as a promising strategy for mitigating environmental impacts, such as reducing greenhouse gas (GEE) emissions and improving air quality. This study presents the results of a Systematic Literature Review (RSL) combined with the Fuzzy-TOPSIS multi-criteria analysis methodology, aimed at identifying and prioritising research into the use of electric bus fleets in the Metropolitan Region of Belém (RMB), the capital of Pará, which will host COP-30 (30th United Nations Climate Change Conference) in 2025. The research emphasises key factors such as reducing GHG emissions, reducing noise pollution, energy efficiency and improving air quality. The results were organised following the PRISMA methodology (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), in accordance with the guidelines of the scientific community of the Cochrane Collaboration. After searching various databases, the selected studies were subjected to multi-criteria and comparative analyses, which enabled the most relevant articles to be highlighted. The study also includes a comparative analysis based on Portugal's experience in adopting electric buses, using the SWOT matrix to assess the main strengths and challenges. The research highlights the applicability of the strategies implemented in Portugal to the RMB context, considering its geographical, demographic and economic characteristics. The conclusion aligns with the global sustainable development agenda, emphasising that the implementation of electric fleets supported by renewable energies is a viable solution for achieving the goal of zero CO₂ emissions. These policies are recommended for the RMB, contributing to the promotion of sustainable urban mobility and the fulfilment of global climate commitments.

Keywords: *Sustainable Urban Mobility; Electric Buses; RSL; Fuzzy-TOPSIS; PRISMA; SWOT Analysis; Comparative Analysis; Environmental and Economic Benefits; COP-30.*

LISTA DE SIGLAS

BRT	<i>Bus Rapid Transit</i>
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CHAAS	<i>Charging-as-a-Service</i>
CMMAD	Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento
CNM	Confederação Nacional de Municípios
CO ₂	Dióxido de carbono
COP	<i>Conference of the Parties</i>
DEMATEL	<i>Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory</i>
DEMOB	Departamento de Projetos de Mobilidade e Serviços Urbanos
ECO-92	Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
ETS	<i>Carbon Value In The European Market</i>
EV's	<i>Electric Vehicles</i>
FADESP	Fundação de Amparo e Desenvolvimento da Pesquisa
FEEI	Fundos Europeus Estruturais e de Investimento
FIs	Fatores de Impacto
FPIS A+	<i>Fuzzy Positive Ideal Solution</i>
FNIS A-	<i>Fuzzy Negative Ideal Solution</i>
FST	<i>Fuzzy Set Theory</i>

GEE	Gases de Efeito Estufa
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i>
IEGEE	Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa
IRIB	Instituto do Registro Imobiliário do Brasil
JCR	<i>Journal Citation Reports</i>
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MIDR	Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional
MIE	Mecanismo Interligar a Europa
NTU	Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos
ONU	Organização das Nações Unidas
PDB	Plano Diretor de Belém
PESTEL	Política, Econômica, Social, Tecnológica, Ambiental e Legal
PICO	População, Intervenção, Comparação e Resultado de Interesse
PMUS	Plano de Mobilidade Urbana Sustentável
PRISMA	<i>Flow Diagram Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses Flow Diagram</i>
PROCV	Procurar e Comparar Valores
PROMOB-e	Projeto de Sistemas de Propulsão Eficiente
REPAD	Revista Estudos e Pesquisas em Administração
RMB	Região Metropolitana de Belém

RSL	Revisão Sistemática da Literatura
SCIELO	<i>Scientific Electronic Library Online</i>
SIT/RMB	Fundo Estratégico do Sistema Integrado de Transporte Público da Região Metropolitana de Belém
SNA	<i>Social Network Analysis</i>
SWOT	<i>Strengths, Weaknesses, Opportunities e Threats</i>
TIS	Transporte Inovação e Sistema
TOPSIS	<i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution</i>
UNFCCC	<i>National Inventory of Brazil's Fourth National Communication to the United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
VEBs	<i>Battery Electric Vehicles</i>
VHFCs	<i>Hydrogen Fuel Cell Vehicles</i>

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: 1ª Resultado da Avaliação da Qualidade das Publicações

Tabela 2: Termos linguísticos das alternativas (artigos) da Metodologia RSL

Tabela 3: Termos linguísticos dos pesos dos critérios da Metodologia RSL

Tabela 4: Avaliação das alternativas (artigos) referente às similares geográficas com Belém do Pará da Metodologia RSL

Tabela 5: Avaliação das alternativas (artigos) referente a presença de dados quantitativos da Metodologia RSL

Tabela 6: Avaliação das alternativas (artigos) referente às Emissões de GEE da Metodologia RSL

Tabela 7: Avaliação das alternativas (artigos) referente a melhoria do ar da Metodologia RSL

Tabela 8: Avaliação das alternativas (artigos) referente a poluição sonora da Metodologia RSL

Tabela 9: Avaliação das alternativas (artigos) referente a eficiência energética da Metodologia RSL

Tabela 10: Matriz de avaliação linguística dos tomadores de decisão sobre o desempenho dos artigos da Metodologia RSL

Tabela 11: Matriz de avaliação linguística dos tomadores de decisão sobre o peso dos critérios da Metodologia RSL

Tabela 12: Números fuzzy triangulares correspondentes aos julgamentos dos tomadores de decisão da Metodologia RSL

Tabela 13: Matriz de decisão normalizada da Metodologia RSL

Tabela 14: Matriz de decisão normalizada e ponderada da Metodologia RSL

Tabela 15: Solução ideal positiva (A+) e solução ideal negativa (A-) da Metodologia RSL

Tabela 16: Distâncias entre o desempenho dos artigos e a solução ideal positiva e negativa da Metodologia RSL

Tabela 17: Classificação dos artigos atendendo ao CCI e FI da Metodologia RSL

Tabela 18: Termos linguístico das alternativas (artigos) do Caso Português

Tabela 19: Termos linguístico dos pesos dos critérios do Caso Português

Tabela 20: Avaliação das alternativas (artigos) referente a inovação metodológica do Caso Português

Tabela 21: Avaliação das alternativas (artigos) referente aos aspectos económicos do Caso Português

Tabela 22: Avaliação das alternativas (artigos) aos aspectos ambientais do Caso Português

Tabela 23: Avaliação das alternativas (artigos) em relação ao alinhamento com as metas da COP 30 do Caso Português

Tabela 24: Matriz de avaliação linguística dos tomadores de decisão sobre o desempenho dos artigos do Caso Português

Tabela 25: Matriz de avaliação linguística dos tomadores de decisão sobre os pesos dos critérios do Caso Português

Tabela 26: Números fuzzy triangulares correspondentes aos julgamentos dos tomadores de decisão do Caso Português

Tabela 27: Matriz de decisão normalizada do Caso Português

Tabela 28: Matriz de decisão normalizada e ponderada do Caso Português

Tabela 29: Solução ideal positiva (A+) e solução ideal negativa (A-) do Caso Português

Tabela 30: Distâncias entre o desempenho dos artigos e a solução ideal positiva e negativa do Caso Português

Tabela 31: Classificação dos artigos para o Caso Português atendendo ao CCI

Tabela 32: Quilómetros percorridos anualmente pelos autocarros em Portugal

Tabela 33: Critérios de abate e substituição da frota de autocarros

Tabela 34: Classificação dos autocarros segundo as normas Euro em Portugal

Tabela 35: Redução das emissões de CO₂ para toda a frota de autocarros

Tabela 36: Emissões evitadas CO₂ e respectivo custo

Tabela 37: Análise SWOT do Setor de Transportes na RMB

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma da Metodologia de Pesquisa

Figura 2: Modelo de fluxograma PRISMA 2020 para revisões sistemáticas

Figura 3: Número Fuzzy Triangular

Figura 4: Exemplo de escala de valores linguísticos

Figura 5: Distribuição Temporal das Referências Bibliográficas

Figura 6: Distribuição das Referências por Idioma

Figura 7: Distribuição das Fontes de Dados

Figura 8: Mapa de Calor dos Fatores de Impacto por Periódicos

Figura 9: Representação gráfica da escala para o peso dos critérios da Metodologia RSL

Figura 10: Representação gráfica da escala para a avaliação dos artigos da Metodologia RSL

Figura 11: Representação gráfica da escala para o peso dos critérios do Caso Português

Figura 12: Representação gráfica da escala para a avaliação dos artigos do Caso Português

Figura 13: Dados geográficos da RMB

Figura 14: Distribuição populacional de Portugal

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Função de Pertinência

Equação 2: Operações entre números triangulares

Equação 3: Agregação de pontuações

Equação 4: Agregação de pesos

Equação 5: Matriz de decisão fuzzy \tilde{D}

Equação 6: Vetor dos pesos fuzzy \tilde{W}

Equação 7: Normalização da matriz \tilde{D}

Equação 8: Normalização para critérios de benefícios

Equação 9: Normalização para critérios de custo

Equação 10: Matriz normalizada e ponderada

Equação 11: Multiplicação dos pesos pelos elementos da matriz normalizada

Equação 12: Vetor solução fuzzy ideal positiva

Equação 13: Vetor solução fuzzy ideal negativa

Equação 14: Distância entre pontuação do fornecedor e a FPIS+ (d_i^+)

Equação 15: Distância entre pontuação do fornecedor e a FPIS- (d_i^-)

Equação 16: Distância entre números fuzzy

Equação 17: Coeficiente de aproximação

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1 Justificativa e Metodologia Proposta	17
1.2 Objetivo Geral	19
1.3 Objetivos Específicos	19
1.4 Classificação e Fluxograma da Pesquisa	20
2. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA (RSL)	22
2.1 Fundamentação Teórica	22
2.2 Resultados: Execução dos Métodos	35
3. ANÁLISE MODAL DO CASO PORTUGUÊS NO CONTEXTO PARAENSE EM CONSONÂNCIA A COP 30	55
3.1 Aplicação Fuzzy-TOPSIS na Metodologia do Caso Português	57
3.2 Análise do Impacto Demográfico nas Frotas Elétricas: Portugal e RMB	67
3.3 Descarbonização da Frota de Autocarros Urbanos: Metodologia e Resultados	70
3.4 Resultados explorados na Análise SWOT	72
4. CONCLUSÃO	81
5. REFERÊNCIAS	82

1. INTRODUÇÃO

As questões climáticas globais são tratadas com seriedade há décadas, com marcos como a Eco-92, realizada no Rio de Janeiro em 1992, que estabeleceu a Convenção sobre Mudança do Clima e a Agenda 21. Esses compromissos foram reforçados em 2015 pelo Acordo de Paris, que entrou em vigor em 2016, substituindo o Protocolo de Kyoto e englobando países desenvolvidos e em desenvolvimento no esforço global contra as mudanças climáticas (GUTIÉRREZ, 2021).

Apesar dos avanços globais, na América Latina, especialmente no Brasil, a aplicação de políticas como a Lei Federal nº 12.587/2012 – que estabelece a Política Nacional de Mobilidade Urbana – apresenta resultados limitados. Embora haja exemplos positivos, como Santiago, no Chile, “os baixos níveis de adesão e execução no Brasil refletem dificuldades financeiras e estruturais”, intensificadas pela recente extensão do prazo para a criação dos Planos de Mobilidade Urbana (PMU) até 2025.

No contexto brasileiro, a expansão urbana é marcada pelo crescimento desordenado das cidades, especialmente nas últimas décadas, quando a população passou de essencialmente rural para urbana, impulsionada pelo aumento das atividades industriais (BARROS *ET AL.*, 2024). Essa transformação, aliada a problemas sociais, contribui diretamente para a degradação ambiental nas grandes cidades, manifestando-se em poluição do ar, sonora e visual, além de incêndios florestais e exploração descontrolada de recursos naturais.

Implementar soluções sustentáveis que assegurem as agendas globais de sustentabilidade é insubstituível para a sociedade atual. Com a rápida transformação do mundo, as cidades emergem como o centro dos esforços de desenvolvimento sustentável, sendo elementares para a integração da mobilidade elétrica com sistemas de transporte urbano. Experiências nacionais e internacionais, como o PROMOB-e, demonstram a viabilidade do acoplamento eficaz de setores diversos para alcançar esses objetivos (EISENKRAEMER, 2022).

Hodiernamente, “o transporte motorizado alimentado por combustíveis fósseis predomina nos padrões de deslocamento”, sendo responsável por uma parcela significativa das emissões poluentes nas áreas urbanas, especialmente pelo uso intensivo de combustíveis fósseis (LISBOA, 2023). Esse panorama agrava os impactos ambientais e exige soluções imediatas.

Sob tal perspectiva, o Inventário Nacional de Emissões emitiu que o transporte rodoviário representou aproximadamente 13% das emissões de CO₂ equivalentes no Brasil em 2016, em 2021, dados do governo federal indicaram que esse setor foi “o maior consumidor de energia fóssil, contribuindo com 44,5% das emissões de CO₂ no setor energético”. Além disso, mais da metade dessas emissões têm origem em veículos pesados, como caminhões e ônibus (MCTI, 2021).

As políticas de mobilidade centradas no automóvel agravaram a crise de mobilidade urbana, gerando desafios relacionados à concentração populacional não planejada e à ineficiência do transporte público (SILVA, 2015). Segundo Alves (2023), “a promoção da eficiência energética deve ser vista como uma meta estratégica, requerendo a integração de veículos sustentáveis e mudanças industriais em todos os setores”.

As problemáticas apresentadas evidenciam a necessidade de decisões estruturais para reverter esse cenário. “A adoção de transportes elétricos, com seus benefícios ambientais, econômicos e sociais, emerge como a principal alternativa para melhorar a eficiência energética e reduzir significativamente os impactos ambientais provocados pelos veículos automotores.” (ALVES, 2023).

No âmbito brasileiro, as barreiras para a transição de veículos convencionais para elétricos decorrem de desafios sociais, econômicos e ambientais. Contudo, é imprescindível abordá-los por meio de estratégias que priorizem “a eficiência energética, a sustentabilidade industrial e a integração de tecnologias limpas”. Essa transição representa uma oportunidade para reestruturar o setor de transporte e fomentar uma mobilidade mais sustentável e inclusiva (GAMA, 2022).

1.1 Justificativa e Metodologia Proposta

Diante disso, este trabalho visa fomentar essas iniciativas em prol da inclusão da mobilidade urbana sustentável, demonstrando quais os benefícios ambientais e econômicos que essa tecnologia pode proporcionar nas grandes cidades, visando discutir as melhorias do país de Portugal, conseguiu após a implementação da frota elétrica, trazendo uma discussão comparativa com a cidade de Belém do Pará, capital escolhida para sediar o evento COP-30

promovido em prol de discussões climáticas pela ONU. Além de identificar os principais estudos e avanços no tema e suas respectivas contribuições para a literatura. Diante das publicações disponíveis, a seleção dos artigos mais relevantes torna-se uma tarefa pertinente. Para incorporar e aperfeiçoar esta tarefa, será aplicado o método de Revisão da Literatura (RSL) juntamente com Fuzzy-TOPSIS, uma técnica de tomada de decisão multicritério que permite a avaliação e a seleção de alternativas, considerando a imprecisão e a subjetividade inerentes aos processos de decisão, foco na análise e priorização dos artigos que apresentaram maior relevância para a literatura sobre mobilidade urbana sustentável, especialmente no contexto de cidades com características semelhantes a Belém. E, comumente, aplicar a técnica PICO, que segundo Roever *et al* (2021), recomenda-se delimitar as questões de pesquisa, onde P representa População ou Problema, I corresponde à Intervenção, C refere-se à Comparação e O indica o Desfecho ou Resultado; com foco em revisitar as questões de pesquisa de forma fatídica e, o checklist PRISMA a fim de demonstrar as etapas da RSL. Conseqüentemente, ao aplicar essa metodologia, é possível converter informações qualitativas em quantitativas, facilitando a análise dos estudos sobre mobilidade urbana.

Assim, a justificativa deste trabalho está em mostrar de maneira clara e objetiva que medidas precisam ser incorporadas e priorizadas nas agendas de governo para obtenção dos resultados já mencionados. Além das discussões comparativas sobre o caminho para descarbonização, usando o caso de Portugal para destacar os benefícios da substituição da atual frota de coletivos para a cidade de Belém do Pará, para promover parâmetros ao poder governamental sobre a eletrificação de transportes públicos. Assim, o ponto central desta pesquisa é estudar as variáveis de mobilidade urbana sustentável, em relação aos veículos públicos, e identificar os benefícios econômicos e ambientais mais adequados à realidade da capital paraense. Dessa maneira, será detalhada a técnica na metodologia da RSL, contudo abaixo estão as perguntas de pesquisas:

1. Como o uso do método Fuzzy-TOPSIS pode facilitar a identificação e priorização de estudos que contribuem significativamente para a literatura sobre mobilidade urbana sustentável em cidades com características geográficas similares a Belém do Pará?

2. Quais são os potenciais benefícios econômicos e ambientais que a implementação de transporte público elétrico pode proporcionar à capital paraense alinhados aos objetivos da COP-30?

1.2 Objetivo Geral

Fornecer diretrizes para auxílio na tomada de decisão voltada a adoção de boas práticas de transporte público elétrico em Belém do Pará.

1.3 Objetivos Específicos

- Identificar e reunir estudos sobre mobilidade urbana sustentável e os impactos da eletrificação por meio da aplicação do Revisão Sistemática da Literatura (RSL);
- Classificar e priorizar os estudos da Revisão Sistemática, aplicando o método Fuzzy-TOPSIS, focando nas contribuições para a mobilidade urbana sustentável, especialmente nos aspectos ambientais e econômicos;
- Avaliar os benefícios ambientais e econômicos do transporte elétrico em Portugal e sua aplicabilidade em Belém, identificando fatores que influenciam a implementação de frotas elétricas na capital paraense.

O presente trabalho é estruturado em cinco seções principais. A primeira seção corresponde à introdução, apresentando o contexto e a relevância do tema. A segunda seção, esta a metodologia que constitui no tópico da metodologia da RSL, na qual realiza uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), onde são utilizados o método Fuzzy-TOPSIS e o checklist PRISMA para mapear a literatura relevante, definir os conceitos-chave e aprofundar a compreensão teórica sobre a mobilidade urbana sustentável e a implementação de frotas elétricas. Comumente descreve a metodologia utilizada, detalhando a classificação do estudo, as etapas de coleta e análise de dados e a documentação do passo a passo da RSL. Na sequência, o tópico 3 é dedicado ao estudo de caso da frota portuguesa, trazendo uma análise

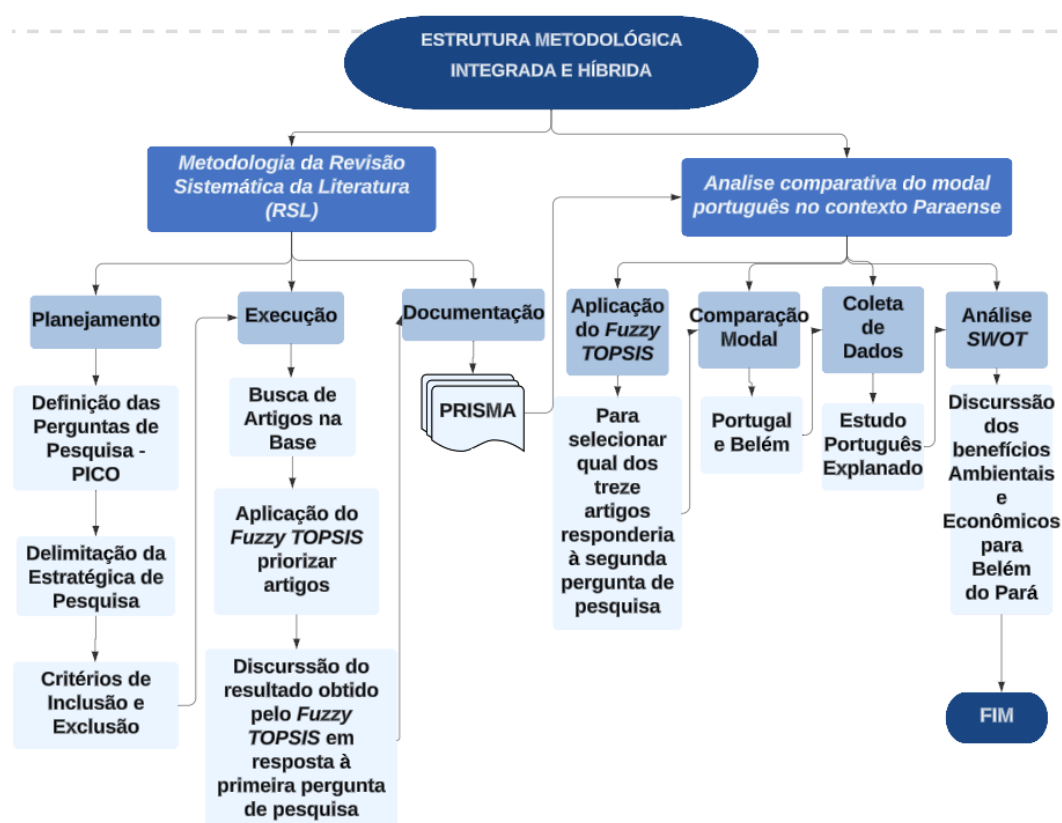
comparativa das estratégias e resultados já obtidos com a substituição da frota à combustão, identificando diretrizes aplicáveis ao contexto de Belém. Na terceira seção são apresentadas as conclusões e limitações de pesquisa, com ênfase nas contribuições para a sociedade e recomendações para formuladores de políticas públicas. Esta abordagem proposta é estratégica e integrada, abrangendo tanto os aspectos econômicos quanto ambientais, visando promover práticas de mobilidade urbana sustentável e eficiente, considerando a organização urbana e os modelos de circulação oportunos à Grande Região Metropolitana do Pará.

1.4 Classificação e Fluxograma da Pesquisa

Inicialmente, este parágrafo reflete a classificação da pesquisa, à vista disso, consoante Lunetta *et al.* (2023), uma pesquisa pode ser classificada a partir de quatro parâmetros: natureza, abordagem, objetivo e procedimentos metodológicos. Quanto à natureza, o presente estudo se enquadra como uma pesquisa básica, por desenvolver conhecimentos científicos e teóricos sobre mobilidade urbana sustentável e a adoção de ônibus elétricos, sem uma aplicação prática imediata. Assim como, a pesquisa visa entender os impactos ambientais dessa adoção. Em relação à abordagem, segundo Lunetta *et al.* (2023), esta pesquisa se classifica como quanti-qualitativa, utilizando dados numéricos manuseando a metodologia Fuzzy-TOPSIS na etapa de Execução da revisão da literatura para analisar numericamente quais trabalhos mais impactam para a literatura sobre o tema mobilidade urbana sustentável e, na última etapa, aplicou-se o fluxograma do PRISMA para desenvolver o método com sua documentação final. Além disso, um software — Microsoft Excel — de análise de dados será utilizado para o tratamento desses dados. Naquilo que tange aos objetivos, o estudo é compreendido como sendo uma pesquisa exploratória, buscando promover maior entendimento e familiarização com o tema, explorado na literatura estratégias de mobilidade urbana sustentável, entendendo as condições atuais do transporte coletivo e identificando medidas para minimizar as emissões de CO₂, Poluição Sonora, Redução da Poluição do Ar e Eficiência Energética. Conforme Prigol e Behrens (2019), as pesquisas exploratórias têm como propósito proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses. Seu planejamento tende a ser bastante flexível, considerando os mais variados aspectos relativos ao fato ou fenômeno estudado. Quanto aos

procedimentos metodológicos, este trabalho se relaciona com o procedimento de estudo de caso, realizando uma análise detalhada da adoção de ônibus elétrico na capital paraense, incluindo a avaliação de suas potencialidades, fragilidades e impactos ambientais. Para Marconi e Lakatos (2017), estudo de caso se refere ao levantamento com mais profundidade de determinado caso ou grupo humano sob todos os seus aspectos. Consequentemente, consiste em um estudo amplo e detalhado, buscando um maior conhecimento do objeto analisado. Neste caso, trata-se de um levantamento de dados bibliográficos para fins de discussões metodológicas das estratégias sustentáveis da inserção da frota elétrica e suas respectivas vantagens ao nível ambiental e social. Assim, a coleta de dados será para entender suas implicações práticas e fornecer recomendações baseadas nas evidências coletadas dos artigos. Além disso, foi elaborado um fluxograma que ilustra todo o processo metodológico, realçando as decisões tomadas em cada etapa. De modo, há permite garantir maior transparência e rigor científico no desenvolvimento da revisão sistemática, na análise comparativa de Portugal com Belém do Pará, na aplicação do método Fuzzy-TOPSIS. Bem como, todo o procedimento é alinhado com o protocolo PRISMA e complementado com uma análise SWOT, demonstrado na Figura abaixo.

Figura 1: Fluxograma da Metodologia de Pesquisa



Fonte: Autores (2024).

2. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA (RSL)

Neste capítulo, serão abordados os principais conceitos teóricos necessários para fundamentar as aplicações dos métodos usados, com foco em responder à primeira questão de pesquisa. Inicialmente, serão apresentados os fundamentos da Revisão Sistemática da Literatura (RSL), explicando sua relevância para a identificação e priorização de estudos no campo da mobilidade urbana sustentável. Posteriormente, será examinado o protocolo PRISMA, amplamente empregado para sistematizar revisões, bem como uma explicação detalhada sobre o método Fuzzy-TOPSIS, que destaca sua habilidade em lidar com incertezas e subjetividades em análises multicritérios. Após uma análise teórica, discutirá os passos metodológicos que levaram à aplicação prática desses métodos.

2.1 Fundamentação Teórica

- Definição e Etapas da RSL

A Revisão Sistemática da Literatura RSL, ou SLR do inglês *Systematic Literature Review*, é um método de investigação empírica que busca, mediante uma abordagem sistemática, identificar, avaliar criticamente e sintetizar o conjunto das evidências científicas disponíveis na literatura sobre um determinado tema. Por aplicar uma metodologia sistemática e replicável, a RSL tem por objetivo responder a uma pergunta de pesquisa específica, avaliando a qualidade metodológica, a pertinência clínica e a aplicabilidade dos estudos primários que abordem a questão. Assim, a revisão sistemática da literatura é caracterizada por sua natureza imparcial, em que a revisão rastreia exhaustivamente a literatura e aplica

critérios de inclusão e exclusão explicitamente definidos, aumentando a credibilidade dos resultados obtidos por esta revisão. Como estudo secundário, ela depende dos resultados dos estudos primários, o que a torna válida na medida do rigor dos estudos incluídos na análise (GUSENBAUER e HADDAWAY, 2020).

Sendo assim, o desenvolvimento de revisões sistemáticas de literatura que combinam estudos qualitativos e quantitativos para responder à pergunta de pesquisa também está em ascensão. Este tipo de revisão, conhecida como revisão sistemática mista, tenta superar as limitações de simplesmente uma perspectiva; isto é, quando a qualidade dos dados quantitativos é complementada por um extensivo entendimento do que os dados qualitativos representam e vice-versa. Em síntese, a racionalidade por trás dessa abordagem comum é que, tal como os problemas contemporâneos vêm se tornando mais complexos, é necessário entender um problema de forma mais holística. É por isso que pesquisadores como Creswell (2021) e Faria Rodrigues *et al.* (2021) fizeram comentários sobre a importância da pesquisa e da integração entre os métodos qualitativos e quantitativos.

A nomenclatura utilizada para caracterizar revisões sistemáticas ou meta-análises sofreu alterações ao longo do tempo: O propósito da mudança da sigla QUORUM para PRISMA era abarcar tanto as revisões sistemáticas quanto as meta-análises, conforme o que preconiza a comunidade científica (JUNIOR *et al.*, 2021, *apud* PAGE, 2017). Dessa forma, o presente estudo consiste em uma revisão sistemática da literatura, tendo como objeto os Principais Itens para Relatar Revisões Sistemáticas e Meta-análises através da realização de uma pesquisa de texto baseada em investigação temática, em que procederemos à verificação da qualidade dos trabalhos que apresentam relatórios com relação à inserção de ônibus elétricos e benefícios reintegrados ao meio ambiente. Entretanto, para um entendimento melhor do que se propõe, é importante serem apresentados os pressupostos envolvidos. Galvão *et al.* (2015), explicam que uma revisão sistemática consiste em uma seleção detalhada e avaliação crítica de pesquisas relevantes e pode ou não utilizar métodos estatísticos para avaliar e integrar os resultados dos estudos selecionados. O método PRISMA *flow diagram*, por sua vez, é composto por um fluxograma de quatro etapas (Identificação, Rastreamento, Elegibilidade e Inclusão) e visa tornar mais eficiente a elaboração de relatórios de revisão sistemática e de meta-análises e facilitar a avaliação crítica dessas revisões.

Segundo Marchetti (2020), a elaboração de um protocolo é um planejamento cuidadoso para a revisão sistemática. O ponto de partida deve ser a definição e o aprimoramento da pergunta de pesquisa. A protocolização deve estabelecer, de causas a efeitos, e do início ao fim, os métodos a serem usados, para assegurar a padronização e minimizar o viés. Deste modo, o principal objetivo do protocolo proposto neste trabalho é identificar, avaliar e interpretar os resultados de todas as pesquisas já realizadas relacionadas com uma questão em particular, de um tema determinado ou de subárea do conhecimento. Além disso, é uma sequência de atividades bem estabelecidas antes da pesquisa propriamente dita. Assim, a análise e a síntese de dados de uma revisão sistemática da literatura permitirão a investigação, avaliação e interpretação das questões de investigação que ocorrem num campo específico.

O processo executado no RSL pode ser explicado com a sequência de seis passos proposta por Cavalcante *et al.* (2022) e os adaptando às percepções do autor Marchetti. A primeira etapa do processo trata-se do planejamento, que, na prática, inclui o estabelecimento do problema de pesquisa, apresentação da estratégia de pesquisa e delineamento claro dos critérios de seleção dos trabalhos, incluindo inclusão e exclusão. A segunda etapa, execução, resulta do desenvolvimento dos trabalhos específicos que atendem a estratégia de pesquisa produzida sob planejamento. Ou seja, busca nas fontes, seleção, avaliação dos estudos, extração de dados e análise. A última etapa e Documentação ou Relato é a publicação dos resultados da pesquisa da análise do RSL, que deve incluir, ainda lista dos principais autores, periódicos e bases de dados que colaboram com o desenvolvimento de um framework de pesquisa científica sobre um tema e permitir o desenvolvimento pelas pesquisadoras das falhas e oportunidades para investigações futuras. Dessa forma, este estudo encerra com as principais informações para Relatar Revisões Sistemáticas e Meta-análises PRISMA. Fink (2019) destaca ainda que a síntese dos resultados RSL pode ser descritiva, e que as sínteses descritivas são interpretações das conclusões da revisão com base na experiência do revisor e a qualidade e o conteúdo da literatura disponível. Para o exemplo atual, esse passo permitirá que surjam conclusões e discussões sobre o tema levantado na revisão bibliográfica.

Portanto, o levantamento dos dados bibliográficos foi realizado entre agosto e outubro de 2024, conforme as etapas descritas no estudo. O processo estruturado garante abordagem abrangente e metodológica na compreensão dos efeitos da inserção dos ônibus elétricos na capital metropolitana do Pará. As revisões sistemáticas seguem os protocolos rigorosos para preservar a qualidade das revisões de literatura. Neste tópico, abordam-se as etapas

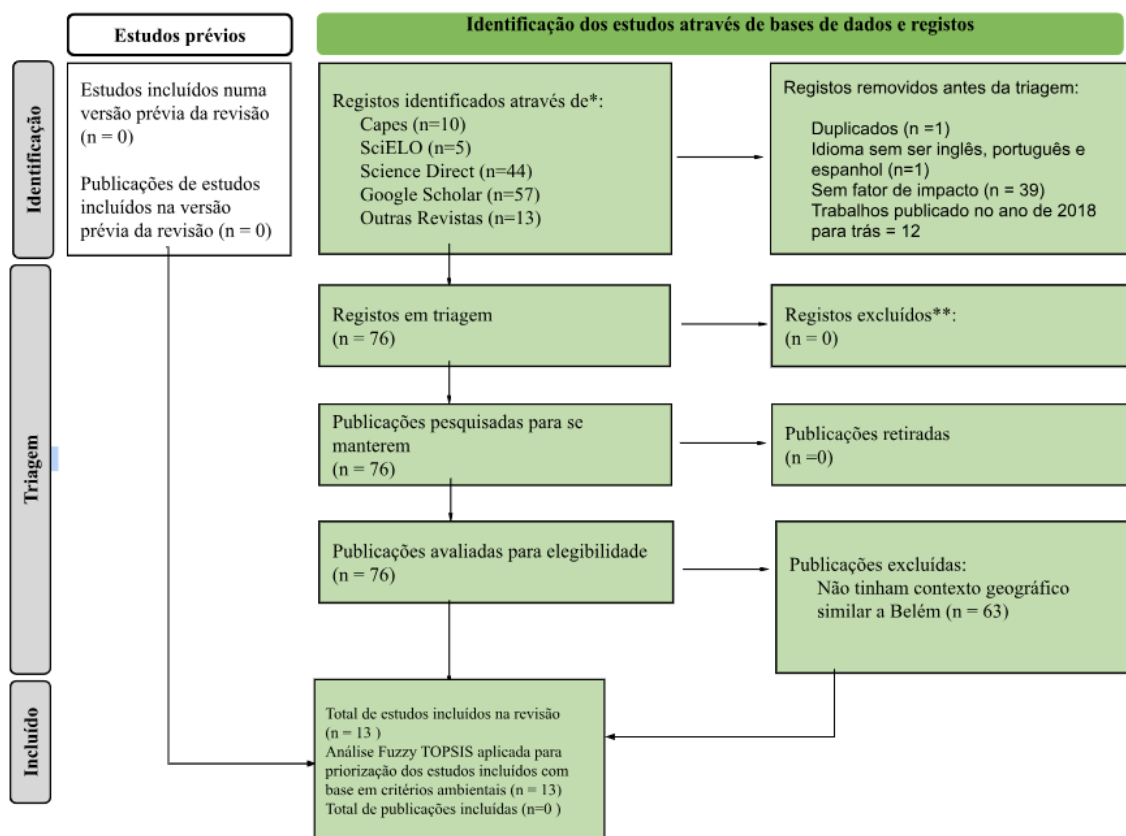
fundamentais do seu desenvolvimento. Começando pela delimitação precisa das questões de pesquisa aplicando a técnica PICO (população, intervenção, comparação e *outcome* de interesse), que orientará o entendimento inicial do processo de pesquisa, como discutido por Roever *et al.* (2021). Na sequência, discutem-se as estratégias para seleção das bases bibliográficas mais adequadas e formulação de buscas avançadas para identificação dos estudos.

- **PRISMA *flow diagram***

A metanálise é uma ferramenta usada para combinar os resultados de vários estudos sobre um mesmo assunto, porém quantitativos, e, utilizando métodos estatísticos, para analisar coletivamente os dados; assim, seu uso envolvendo um entendimento aprofundado do tema e métodos estatísticos empregados para garantir a qualidade dos resultados; uma ferramenta que pode ser citada, por exemplo, é o *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses – PRISMA flow diagram*; MJ, McKenzie JE *et al.* (2021), que apresenta o fluxo de critérios de entrada e saída de artigos de uma revisão sistemática. Dessa forma, um exemplo de questionamento do checklist do PRISMA pode ser: “quantos registros foram identificados? Quantos registros foram removidos antes da triagem e por quê? Quantos registros foram triados? Quantas publicações foram identificadas ao buscá-la para a avaliação de texto completo? E quantas foram as publicações categorizadas para a avaliação de elegibilidade e suas razões?” Ou “quantos estudos foram incluídos na revisão?”.

Na fase anterior, na penúltima fase, a combinação do PRISMA *Flow Diagram* com o método Fuzzy-TOPSIS foram aplicadas, garantindo o processo de seleção e priorização com uma análise multicritério e integrando uma avaliação sistemática e uma análise comparativa feita com informações provenientes dos estudos revisados. Dessa forma, oferecem uma visão detalhada dos estudos, ou seja, quais estudos contribuem mais para a literatura na utilização da metanálise sobre a sustentabilidade da mobilidade urbana observada em países de contextos comparáveis. Durante esse passo, com o propósito de fornecer transparência e rastreabilidade do processo de seleção, a seguir o método PRISMA *flow diagram* (Figura 2).

Figura 2: Modelo de fluxograma PRISMA 2020 para revisões sistemáticas



Fonte: MJ, MCKENZIE JE *et al.*, 2021) (2021) adaptado por Autores (2024)

- Teoria do Método Fuzzy-TOPSIS

O TOPSIS foi proposto em 1981 para selecionar a alternativa que esteja tão próxima quanto possível da solução ideal positiva e o mais distante possível da solução ideal negativa. Na abordagem clássica do método TOPSIS, a solução ideal é formada tomando os melhores valores alcançados pelas alternativas durante a avaliação em relação a cada critério de decisão, enquanto a solução ideal negativa é composta similarmente, tomando-se os piores

valores. Porém, apesar da sua facilidade no entendimento e metodologia, sua aplicação em alguns casos se torna inviável devido à incapacidade de lidar com incertezas sobre as decisões. Assim, o princípio do método fuzzy-TOPSIS também é baseado na distância entre as pontuações e as soluções ideais positiva e negativa, contudo, utiliza-se a lógica fuzzy para lidar com incertezas (NUNES *ET AL.*, 2023).

Visando adaptar o método TOPSIS às situações de incerteza, Chen (2000) combinou-o com a teoria dos conjuntos fuzzy. Essa teoria, que permite modelar conjuntos com fronteiras difusas, possibilitando a representação de informações imprecisas e subjetivas, tornando a teoria em prática ao permitir graus de pertinência intermediários entre “falso” e “verdadeiro”, assim, efetiva a adaptação do método TOPSIS a cenários de incerteza. Desse modo, a teoria dos conjuntos fuzzy (*Fuzzy Set Theory-FST*) foi proposta por Zadeh (1965) e vem sendo usada na modelagem de sistemas com categorias de elementos cujas fronteiras são consideradas incertas, sendo definidas por meio de propriedades subjetivas ou atributos imprecisos. Numericamente, consoante com Magalhães e Lima (2021), a adequação da FST ao tratamento de incerteza se deve principalmente à lógica que define o grau de inclusão dos elementos em conjuntos fuzzy: a FST modela um conjunto fuzzy por meio de uma função de pertinência $\mu_A(x): X \rightarrow [0.0, 1.0]$, para permitir níveis parciais de inclusão. Ao contrário da teoria dos conjuntos clássica, em que um conjunto pode ser definido usando uma função característica $\mu_A(x): X \rightarrow \{0.0, 1.0\}$, na teoria dos conjuntos fuzzy e na Lógica Fuzzy, como $\mu_A(x)$ toma valores no intervalo contínuo $[0.0, 1.0]$, admite-se a existência de níveis intermediários entre os valores de pertinência “falso” (0.0) e “verdadeiro” (1.0).

A partir da mesma linha de raciocínio anterior, os números fuzzy são constituídos por conjuntos fuzzy que obedecem às condições de normalidade e convexidade. Conforme ilustrado na figura 2, é comumente representado na forma (l, m, u) , onde m corresponde ao valor modal (ou núcleo) do conjunto fuzzy, enquanto l e u representam, respectivamente, os limites inferior e superior do seu suporte e, que m denota um valor crisp formal para o conjunto fuzzy. Desse modo, a morfologia de um número fuzzy, definida por meio do comportamento de sua função de pertinência $\mu(x)$, permite quantificar a imprecisão inerente à informação e, também, facilita a visualização e a manipulação algébrica desses números. Comumente, as operações algébricas com dois números triangulares, podem ser feitas usando a equação 1 para mostrar a função de pertinência subsequentemente com a figura 2

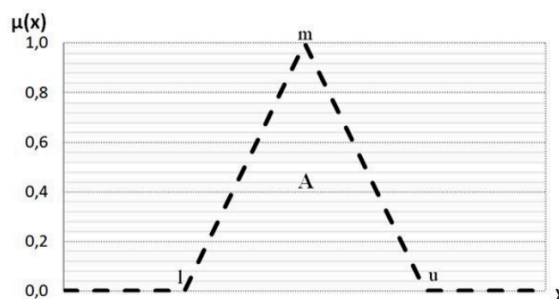
demonstrando a estrutura de número fuzzy triangular e, a equação 2 soma demonstra as operações de soma, subtração, multiplicação e divisão (MAGALHÃES E LIMA, 2021).

Equação 1: Função de Pertinência

$$\text{Sendo } \mu_A(x) = \begin{cases} 0, & \text{se } x \leq l \\ \frac{x-l}{m-l}, & \text{se } x \in [l, m] \\ \frac{u-x}{u-m}, & \text{se } x \in [m, u] \\ 0, & \text{se } x \geq u \end{cases} \quad (\text{Eq. 1})$$

Fonte: Magalhães e Lima (2021)

Figura 3: Número Fuzzy Triangular



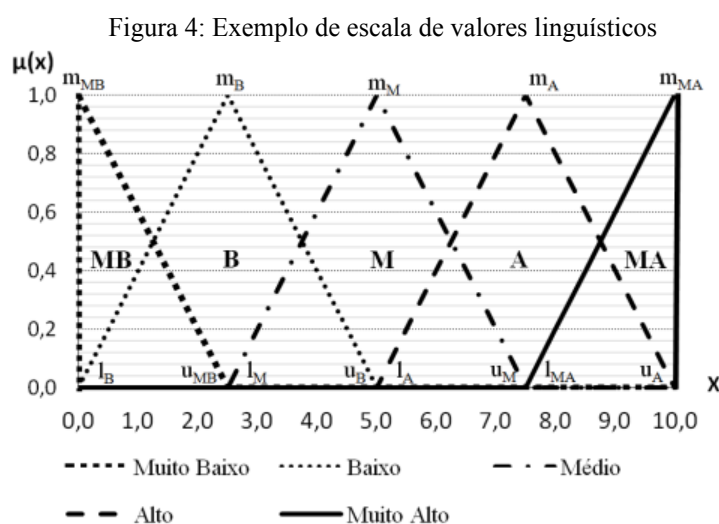
Fonte: Magalhães e Lima (2021)

Equação 2: Operações entre números triangulares

$$\begin{aligned} \tilde{A} + \tilde{B} &= [l_A, m_A, u_A] + [l_B, m_B, u_B] = [l_A + l_B, m_A + m_B, u_A + u_B] \\ \tilde{A} - \tilde{B} &= [l_A, m_A, u_A] - [l_B, m_B, u_B] = [l_A - u_B, m_A - m_B, u_A - l_B] \\ \tilde{A} * \tilde{B} &= [l_A, m_A, u_A] * [l_B, m_B, u_B] = [l_A * l_B, m_A * m_B, u_A * u_B] \\ \tilde{A} / \tilde{B} &= [l_A, m_A, u_A] / [l_B, m_B, u_B] = \left[\frac{l_A}{u_B}, \frac{m_A}{m_B}, \frac{u_A}{l_B} \right] \end{aligned} \quad (\text{Eq. 2})$$

Fonte: Magalhães e Lima (2021)

Na maioria das vezes, os métodos de tomada de decisão baseados em lógica fuzzy, como o Fuzzy-TOPSIS, as avaliações das alternativas e a importância dos critérios são frequentemente expressas por meio de variáveis linguísticas. Essa abordagem permite capturar a imprecisão e a subjetividade inerentes à avaliação humana, tornando os resultados da decisão mais precisos e representativos da realidade. Desse modo, os termos linguísticos são comumente representados por números fuzzy triangulares e trapezoidais. Por exemplo, conforme ilustrado na figura 3, o valor da variável linguística “nível de emissão de poluição do fornecedor” pode ser medido por meio dos termos linguísticos “muito baixo”, “baixo”, “médio”, “alto” e “muito alto” (ZADEH, 1965).



Fonte: Magalhães e Lima (2021)

Com base nos fundamentos do sistema fuzzy, torna-se necessário parametrizá-las, os que podem ser feitos passando respectivamente pelos seguintes procedimentos de cálculos iterativos propostos por Magalhães e Lima (2021), com base na versão original de Chen (2000).

- i. Transformar as avaliações linguísticas dos juízes em *fuzzy numbers*;
- ii. Para consolidar os valores linguísticos dados pelos DMs sobre os escores dos pesos das alternativas e dos critérios, a Equação 3 ($\tilde{x} \frac{r}{ij}$) é utilizada para agregar os escores

das alternativas, onde \tilde{x}_{ij} descreve o escore da alternativa A_i ($i = 1, \dots, n$), em relação ao critério C_j ($j = 1, \dots, m$), dado pelo tomador de decisão (DMr). As ponderações dos critérios são agregadas com base na Equação 4, onde \tilde{w}_j^r é o peso do critério j dado pelo tomador de decisão DMr ($r = 1, \dots, k$);

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{1}{K} [\tilde{x}_{ij}^1 + \tilde{x}_{ij}^r + \dots + \tilde{x}_{ij}^k] \quad (\text{Eq. 3})$$

$$\tilde{w}_j = \frac{1}{K} [\tilde{w}_j^1 + \tilde{w}_j^2 + \dots + \tilde{w}_j^k] \quad (\text{Eq. 4})$$

iii. Construindo uma matriz de decisão difusa \tilde{D} para representar as pontuações das alternativas e, um vetor difuso \tilde{W} para representar os pesos dos critérios conforme definido pelas Equações 5 e 6;

$$\tilde{D} = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 & \dots & C_j & \dots & C_m \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ \vdots \\ A_i \\ \vdots \\ A_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1j} & \dots & \tilde{x}_{1m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{x}_{i1} & \tilde{x}_{i2} & \dots & \tilde{x}_{ij} & \dots & \tilde{x}_{im} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{x}_{n1} & \tilde{x}_{n2} & \dots & \tilde{x}_{nj} & \dots & \tilde{x}_{nm} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (\text{Eq. 5})$$

$$\tilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_m] \quad (\text{Eq. 6})$$

iv. A matriz de normalização \tilde{D} e a matriz normalizada \tilde{R} pode ser escrita usando a Equação 7 como \tilde{r}_{ij} derivada da Equação 8

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n} \quad (\text{Eq. 7})$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{l_{ij}}{u_j^+}, \frac{m_{ij}}{u_j^+}, \frac{u_{ij}}{u_j^+} \right), \text{ sendo } u_j^+ = \max_i u_{ij} \quad (\text{critérios de benefício}) \quad (\text{Eq. 8})$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{l_j^-}{u_{ij}}, \frac{l_j^-}{m_{ij}}, \frac{l_j^-}{l_{ij}} \right), \text{ sendo } l_j^- = \min_i l_{ij} \quad (\text{critérios de custo}) \quad (\text{Eq. 9})$$

v. Adquirindo a matriz normalizada e ponderada \tilde{V} por meio da Equação 10, derivada da multiplicação do peso de \tilde{w}_j pelos elementos \tilde{r}_{ij} da matriz normalizada, conforme mostrado na Equação 11;

$$\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n} \quad (\text{Eq.10})$$

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} * \tilde{w}_j \quad (\text{Eq.11})$$

vi. Definição da Solução Ideal Positiva Fuzzy, FPIS, A^+ e uma Solução Ideal *Negativa Fuzzy*, FNIS, A^- conforme descrito nas equações 12 e 13, onde Fuzzy Positivo $\tilde{v}_j^+ = (1, 1, 1)$, e *Fuzzy Negative* $\tilde{v}_j^- = (0, 0, 0)$;

$$A^+ = \{\tilde{v}_1^+, \tilde{v}_2^+, \dots, \tilde{v}_m^+\} \quad (\text{Eq.12})$$

$$A^- = \{\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_m^-\} \quad (\text{Eq.13})$$

vii. Calcular a distância D_i^+ entre os valores de FPIS e os valores da matriz \tilde{R} usando a equação 14. De maneira similar, calcular a distância D_i^- entre os valores de FNIS e a matriz \tilde{R} usando a equação 15. Aplicando o método *vertex* a fim de demonstrar a distância entre dois números fuzzy, definida pela equação 16.

$$D_i^+ = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+) \quad (\text{Eq.14})$$

$$D_i^- = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-) \quad (\text{Eq.15})$$

$$d(\tilde{x}, \tilde{z}) = \sqrt{\frac{1}{3} [(l_x - l_z)^2 + (m_x - m_z)^2 + (u_x - u_z)^2]} \quad (\text{Eq.16})$$

viii. Cálculo do coeficiente de aproximação CC_i usando a equação 17;

$$CC_i = \frac{D_i^-}{(D_i^+ + D_i^-)}$$

(Eq.17)

x. Definição de um ranking ordenando os valores de CCI decrescentemente. Quanto mais próximo esse valor estiver de 1,0, melhor será o desempenho geral da alternativa

- **Estratégias Iniciais do Levantamento Bibliográfico**

Como discutido anteriormente, as revisões sistemáticas aderem a protocolos rígidos para melhorar a qualidade das revisões da literatura. Esta seção descreve as etapas envolvidas em seu desenvolvimento, começando com a formulação precisa de questões de pesquisa. Uma definição clara das questões a serem exploradas para orientar todo o processo de revisão. Posteriormente, serão examinadas estratégias para selecionar bases de dados bibliográficas relevantes e elaborar pesquisas avançadas para identificar estudos pertinentes. A próxima etapa envolve a seleção dos estudos e a avaliação de sua qualidade.

- **Delimitação das Questões de Pesquisa**

Semelhante a outras investigações científicas, as revisões da literatura requerem o estabelecimento de objetivos e questões de pesquisa. Normalmente, entende-se que uma pergunta de revisão sistemática deve especificar a população ou questão a ser estudada, o tipo de intervenção a ser analisada, se haverá comparações entre as intervenções e o desfecho pretendido para investigação. Esse referencial de formulação da pergunta é conhecido pela sigla PICO, que significa População, Intervenção, Comparação e Desfecho (ROEVER *ET AL.*, 2021).

Desse modo, a pergunta norteadora da busca nas bases científicas foi: “Em relação à mobilidade urbana sustentável na capital paraense:

1. Como o uso do método Fuzzy-TOPSIS pode facilitar a identificação e priorização de estudos que contribuem significativamente para a literatura sobre mobilidade urbana sustentável em cidades com características geográficas similares a Belém do Pará?

P (População): Estudos sobre mobilidade urbana sustentável e impactos ambientais;

I (Intervenção): Uso do método Fuzzy-TOPSIS;

C (Comparação): Estudos que não utilizam o método Fuzzy-TOPSIS;

O (Resultado): Identificação e priorização de estudos relevantes para a literatura sobre mobilidade urbana sustentável e impactos ambientais em cidades como Belém do Pará.

2. Quais são os potenciais benefícios econômicos e ambientais que a implementação de transporte público elétrico pode proporcionar à capital paraense alinhados aos objetivos da COP-30?

P (População): A população de Belém, capital do estado do Pará, Brasil.

I (Intervenção): Implementação de transporte público elétrico em Belém, inspirado na experiência de Portugal.

C (Comparação): Comparação com o sistema de transporte público convencional a diesel atualmente utilizado.

O (Resultado): Potenciais benefícios ambientais e econômicos, como redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE), melhoria da qualidade do ar, diminuição da poluição sonora, economia com combustíveis fósseis e fortalecimento da imagem da cidade frente aos compromissos assumidos na COP-30.

Além disso, a segunda questão de pesquisa será abordada no Tópico 4 deste estudo, enquanto a primeira questão é discutida no decorrer do tópico 3 (Metodologia da Revisão Sistemática da Literatura).

- **Delimitação da Estratégica de Pesquisa**

Desenvolveu-se uma estratégia de busca que combinou os termos “*electric bus*” AND “*fleet implementation*” AND “*case studies*” OR “*environmental potential*” AND

“*environmental benefits*”; essa expressão serviu como um ponto de partida útil para as buscas realizadas nas bases de dados. No entanto, para aprofundar a investigação, foi necessário refinar essa estratégia, pois a união dos termos AND e OR não produziu um número suficiente de resultados relevantes. Assim, termos mais amplos como “*environmental benefits*” AND “*electric bus*” foram empregados. O uso estratégico dos operadores booleanos AND e OR permitiu a identificação de um número significativo de estudos abordando tanto os benefícios ambientais quanto os ônibus elétricos, sem limitar a busca especificamente a estudos sobre a implantação de frotas elétricas. Nesta pesquisa, os idiomas incluídos no banco de artigos são inglês, português e espanhol, embora não tenha havido restrições de idioma no processo de seleção dos artigos.

Uma vez definidas as perguntas, estratégia de busca e suas palavras-chave, é crucial determinar quais bancos de dados serão consultados para artigos de origem e outros materiais bibliográficos a serem incluídos ou excluídos da revisão de literatura planejada. No tocante, existem novos e mais complexos bancos de dados surgem anualmente; no entanto, alguns se estabeleceram como recursos-chave para revisões de literatura, incluindo o SciELO, que engloba artigos de vários países da América Latina; IEEE Xplore, que contém uma coleção de trabalhos tecnológicos publicados pelo Institute of Electrical and Electronic Engineers; Web of Science (WoS); e Google Acadêmico.

As bases de dados consultadas para a recuperação dos artigos incluíram: primeiro, o SciELO (Citation Index Web of Science, WOS – abrangendo os anos de 2000 a 2024), seguido pelo Google Scholar (pesquisa filtrada de 2020 a 2024) e, por fim, o IEEE Xplore (Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos), acessado por meio do CAFE (Comunidade Acadêmica Federada) disponibilizado pelo Portal de Periódicos da CAPES/MEC (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) Pessoal da Educação / Ministério da Educação e Cultura). A expressão criada na seção “Definição de Questões de Pesquisa” foi utilizada nos campos de busca dessas bases de dados, segmentando termos em títulos, resumos e palavras-chave.

Ao passar a compreender a produção científica por meio de indicadores quantitativos, possibilitou-se avaliar o impacto e a relevância de autores, artigos e periódicos na produção científica, fornecendo dados concretos para a tomada de decisão. O Fator de Impacto é um método utilizado para avaliar periódicos científicos com base nas citações recebidas. Esse

cálculo envolve a soma das citações de artigos publicados no ano em que o fator de impacto é calculado e a divisão desse número pelo total de artigos publicados nos dois anos anteriores. Além disso, o Scimago Journal & Country Rank oferece fatores de impacto ao longo dos anos para um determinado periódico com base no número médio de citações recebidas em um ano específico para artigos publicados nos dois anos anteriores, calculados semelhantemente (SCIMAGO, 2024).

Os artigos incluídos foram todos os levantados na procura usando os termos de busca descrito no parágrafo 1 deste tópico e, todos foram devidamente estudados com base na análise destes critérios específicos: o contexto geográfico semelhante ao de Belém do Pará, a apresentação de dados quantitativos – dado o potencial de estudos para ilustrar cenários de antes e depois após a implantação de uma frota elétrica –, relatórios sobre a redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE), melhorias na qualidade do ar, redução na poluição sonora e dados sobre a eficiência energética de ônibus elétricos. Comumente, foram excluídos artigos não escritos originalmente em inglês, espanhol ou português. Geralmente, trabalhos que não possuem fator de impacto também foram excluídos, ao serem frequentemente publicados em anais de conferências, revistas científicas ou por outros motivos não divulgados. No total, 129 artigos foram identificados, com 41 artigos excluídos - um por ser em francês, um por ser duplicado e trinta e nove por não ter fator de impacto.

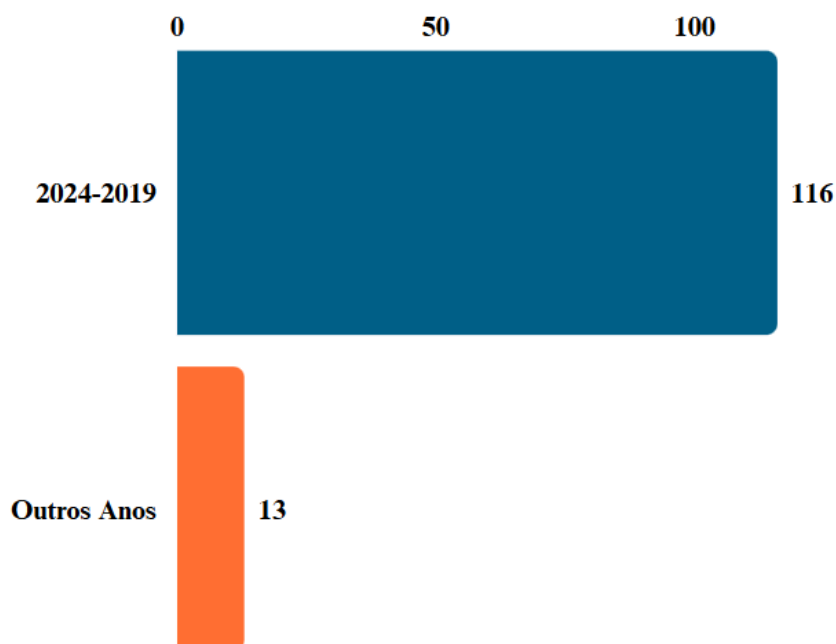
2.2 Resultados: Execução dos Métodos

Nesta seção, serão apresentados os resultados obtidos a partir da revisão Sistemática da Literatura (RSL) e da aplicação do método Fuzzy-TOPSIS. Inicialmente, será apresentado a continuação do processo de seleção e triagem dos artigos, demonstrando a análise gráfica dos artigos selecionados e, seguido da criação da matriz fuzzy e da análise multicritério. Por fim, será apresentado o ranking dos estudos mais relevantes, destacando aqueles que melhor se enquadram para o tema da mobilidade urbana sustentável na Região Metropolitana de Belém.

- Análise Temporal do Levantamento Bibliográfico

Elaborou-se um gráfico para informar a quantidade de referenciais bibliográficos utilizados, categorizados por períodos (2024 até 2019 e, outros), a fim de avaliar a atualidade e a relevância das fontes nesta pesquisa acadêmica. Dessa maneira, este processo envolve a criação de uma visualização que facilita a compreensão da distribuição temporal das referências, permitindo uma análise crítica da fundamentação teórica. Assim, criou-se um gráfico de coluna, a fim de destacar as proporções de cada categoria temporal claramente, bem como representar percentualmente os anos das bibliografias. Como resultado, reflete-se a atualização do conhecimento e a integração de pesquisas recentes, representando 116 trabalhos das fontes bibliográficas e 13 artigos, como fontes mais antigas, conforme ilustrado no Figura 5.

Figura 5: Distribuição Temporal das Referências Bibliográficas

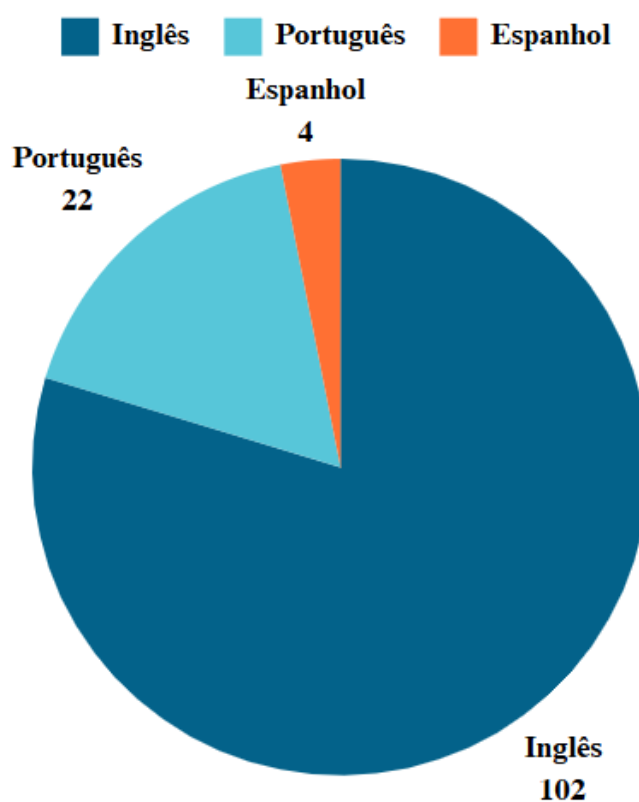


Fonte: Autores (2024)

- **Análise Percentual do Levantamento Bibliográfico por Idioma**

A avaliação da distribuição proporcional das referências por idioma tem a finalidade de contextualizar a influência de diferentes contextos culturais e acadêmicos na construção do conhecimento científico, demonstrar o que está sendo desenvolvido sobre o tema tratado em diversos países, aprofundando a pesquisa, bem como, compreender a diversidade linguística dos estudos consultados em uma pesquisa acadêmica. Desse modo, ao elaborar um gráfico que representa essa distribuição, foi possível visualizar a predominância do idioma em inglês em relação aos idiomas português e espanhol, conforme a figura 6, que 102 artigos estão como referências em inglês, 22 artigos em português e 4 artigos em espanhol, totalizando 128 artigos, visto que 1 foi redigido na língua francesa, em virtude disso, o elemento em questão foi excluído da análise gráfica, subsequente:

Figura 6: Distribuição das Referências por Idioma

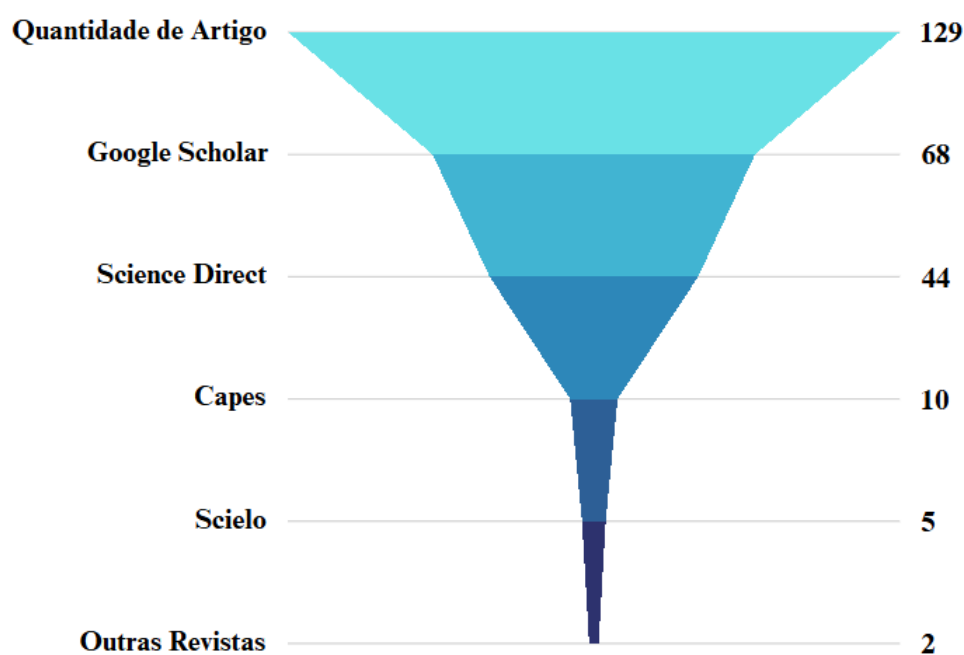


Fonte: Autores (2024)

- Análise Percentual das Fontes de Dados

A investigação da distribuição das fontes de dados revela uma concentração significativa dos artigos em plataformas de busca acadêmica e repositórios institucionais. Neste trabalho, pesquisou-se a plataforma do Google Scholar, igual ao quantitativo de 68 artigos, sendo notória como a principal fonte de dados utilizada na busca por trabalhos acadêmicos, provando sua importância como um agregador de informações científicas. Seguidamente, da plataforma Science Direct, de abrangência internacional, contribuiu com 44 referências, evidenciando a relevância de estudos internacionais para a pesquisa. Bem como, as bases de dados brasileiras CAPES (10 referências coletadas) e SciELO (5 trabalhos compilados) também apresentaram contribuições significativas, refletindo o interesse nacional pela temática. Contudo, é notada a carência da escrita sobre o tema nesses periódicos. Comumente, as demais revistas (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores e Anais do ENEGEP) , que representam 2 artigos do total, englobam publicações especializadas e periódicos de menor impacto, complementando a diversidade das fontes consultadas, totalizando 129 artigos pesquisados na base de dados. A seguir, mostram os dados acima descritos no formato de funil.

Figura 7: Distribuição das Fontes de Dados



Fonte: Autores (2024)

- **Análise dos Fatores de Impacto dos Periódicos**

A inspeção dos 29 periódicos que fundamentam este trabalho, com foco em suas áreas e subáreas de estudo, além dos seus respectivos fatores de impacto (FI), ressaltando a interdisciplinaridade entre engenharia, logística, sustentabilidade urbana e tecnologias de energia renovável. As áreas apresentadas pelos periódicos selecionados revelam uma abordagem abrangente e integrada, vital para manipular as barreiras complexas da mobilidade urbana sustentável. Para melhor clareza e relevância, essa análise foi condensada nos 10 periódicos mais importantes, escolhidos com base em sua contribuição acadêmica e interdisciplinar para os temas de mobilidade urbana sustentável, energia limpa e planejamento de transportes. Os FIs foram obtidos de bases como o *Journal Citation Reports* (JCR), assegurando a credibilidade das fontes.

Os periódicos analisados abrangem diversas áreas, destacando a integração entre ciências ambientais, engenharia de transportes, tecnologias de energia renovável e logística. O periódico com maior fator de impacto é o *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (FI: 16.30), uma das principais referências em energia limpa, sustentabilidade e eletrificação de transportes. Em seguida, o *Sustainable Cities and Society* (FI: 12.07) se destaca por tratar de resiliência ambiental, planejamento urbano sustentável e cidades inteligentes. O *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* (FI: 11.42) contribui de maneira significativa para discussões sobre logística e eficiência de sistemas de transporte.

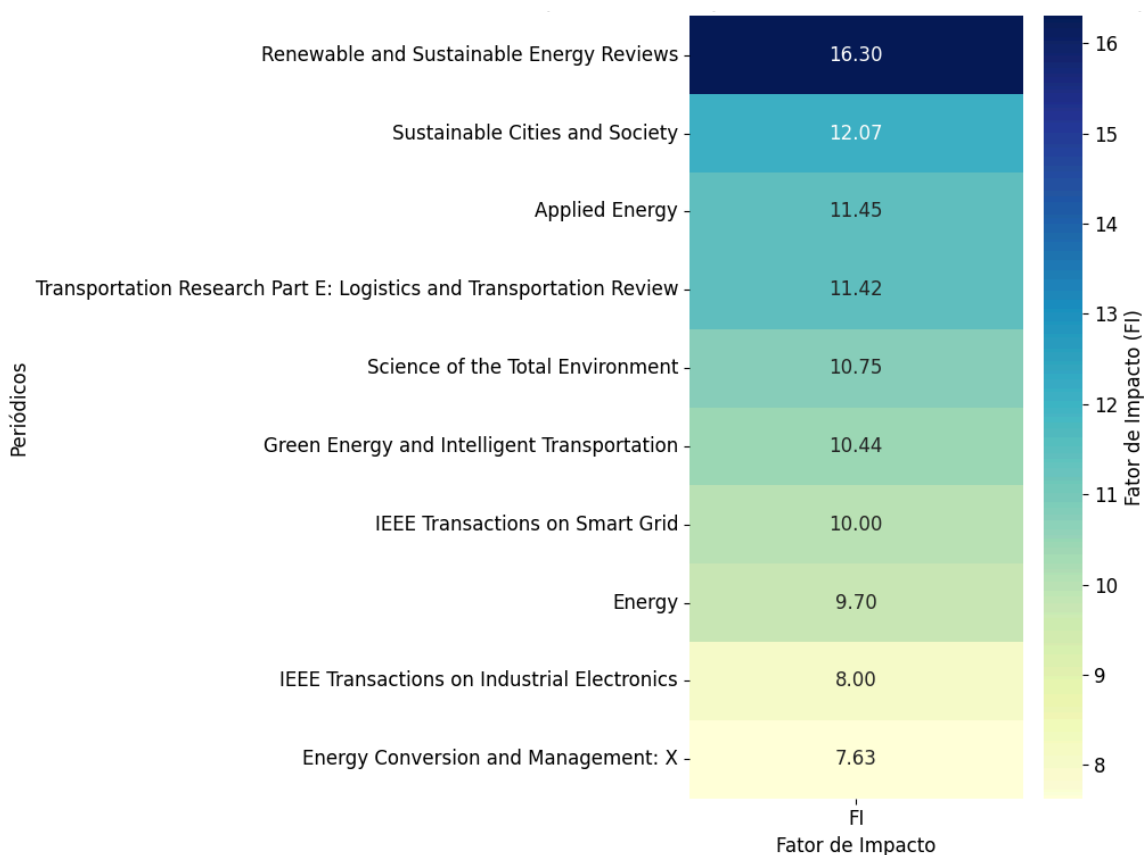
Outros periódicos relevantes incluem:

- *Applied Energy* (FI: 11,45), focado em sistemas de energia e tecnologias renováveis;
- *Science of the Total Environment* (FI: 10,75), que investiga impactos ambientais e gestão de resíduos;
- *Green Energy and Intelligent Transportation* (FI: 10,44), direcionado ao transporte sustentável e inteligência artificial;
- *IEEE Transactions on Smart Grid* (FI: 10,0), especializado na integração de veículos elétricos e redes inteligentes;

- *Energy* (FI: 9,7), que examina tecnologias de energia limpa e seus impactos ambientais;
- *Transportation Research Part D: Transport and Environment* (FI: 7,3), com um enfoque em transporte e meio ambiente;
- *Environmental Research Letters* (FI: 6,79), que discute saúde e clima, especialmente no contexto de emissões urbanas.

Essa seleção acima salienta a metodologia do estudo, utilizando fontes reconhecidas em suas respectivas áreas. O mapa de calor (Figura 8) ilustra os fatores de impacto, facilitando a identificação dos periódicos mais influentes e enfatizando a qualidade acadêmica das publicações utilizadas nesta monografia.

Figura 8: Mapa de Calor dos Fatores de Impacto por Periódicos



Fonte: Autores (2024)

- Qualidade das Publicações

Inicialmente, os artigos científicos passaram por um processo de verificação e triagem no que diz respeito à qualidade da produção. Primeiramente, foram verificadas as qualidades das produções selecionadas por meio da identificação dos fatores de impacto das revistas, todas foram encontradas trinta e nove referências sem fator de impacto. Posteriormente, verificou-se haverem oitenta e oito artigos na base que tinham fator de impacto após essa averiguação; assim, decidiu-se descobrir quantos artigos tinham similaridade geográfica com Belém do Pará, por meio da escolha da filtragem “Muita Alta” no Excel, na coluna “C1: Contexto Geográfico Similar a Belém?” (Este critério considera a quantidade populacional e clima) assim encontrou-se dezoito artigos e, para finalizar essa etapa de averiguação da qualidade do trabalho, utilizamos a fórmula PROCV a fim de encontrar os anos de publicação desses dezoito artigos e, exclui-se todos os trabalhos que não foram publicados nos últimos cinco anos; a contagem de treze artigos. Em relação à área mais relevante, em função do elevado fator de impacto, foi o campo de energia, com ênfase na subárea de Energia Renováveis, Sustentabilidade e Meio Ambiente, representada pela revista *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. A partir deste cenário, utilizamos esse quantitativo de artigos para elaborar a análise das produções incluídas por meio do programa Excel utilizando o método Fuzzy-TOPSIS com o propósito de identificar e priorizar os estudos que oferecem a maior contribuição para a literatura no tema de mobilidade urbana sustentável, com foco em impactos ambientais no contexto de cidades como Belém, assim, recorrendo a múltiplos critérios. Desse modo, a seguir mostra-se o primeiro resultado de averiguação da qualidade dos trabalhos.

Tabela 1: 1ª Resultado da Avaliação da Qualidade das Publicações

Artigo	FI	C1: Contexto Geográfico Similar a Belém ?	Ano de Publicação	
A77	Transportation and electricity systems integration via electric vehicle charging-as-a-service: A review of techno-economic and societal benefits	16,30	Sim	2023
A3	Aggregator-supported strategy for electric bus fleet charging: A hierarchical optimisation approach	9,00	Sim	2024
A117	Cidades inteligentes e o transporte urbano sustentável com bioenergia: um estudo de caso de Curitiba , Brasil	9,00	Sim	2022
A4	Life-Cycle analysis of economic and environmental effects for electric bus transit systems	7,30	Sim	2024
A30	Análise de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Transporte Público de Curitiba: Ônibus Híbridos Brasileiros e Sustentabilidade	6,49	Sim	2022
A118	Mobilidade urbana sustentável: breves considerações sobre planos e práticas nas cidades latino-americanas	6,00	Sim	2024
A10	Comparative analysis of the performance, environmental impact, and costs of electric, combustion, and gas buses in an operating context of a mid-sized city of an emerging country	3,90	Sim	2024
A65	Socio-Economic and Environmental Analyses of Sustainable Public Transport in the Philippines	3,57	Sim	2020
A33	Comparative Analysis of Sustainable Electrification in Mediterranean Public Transportation	3,30	Sim	2024
A39	Towards Zero CO2 Emissions from Public Transport: The Pathway to the Decarbonization of the Portuguese Urban Bus Fleet	3,30	Sim	2022
A75	Public Transport Decarbonization: An Exploratory Approach to Bus Electrification	2,60	Sim	2024
A41	Movilidad Eléctrica y Eficiencia Energética en el Sistema de Transporte Público del Ecuador un Mecanismo para Reducir Emisiones de CO2	1,12	Sim	2020
A44	Electromovilidad y Eficiencia Energética en el Transporte Público de Pasajeros del Ecuador Continental	0,66	Sim	2019
A67	Promoting zero emissions buses programs: A study of Ekaterinburg residents' willingness to pay	0,44	Sim	2018

Fonte: Autores (2024)

- Aplicação Fuzzy-TOPSIS

A implementação do método fuzzy-TOPSIS foi realizada por meio do software Microsoft Excel. Em seguida, foi justificada a escolha do Fuzzy-TOPSIS através de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), com o intuito de identificar de maneira precisa e fundamentada os artigos que mais contribuíram para o desenvolvimento e a consolidação da área de pesquisa em Mobilidade Urbana Sustentável. Para isso, foram analisados treze artigos listados na “Tabela 1: 1ª Resultado da Avaliação da Qualidade das Publicações”, relacionando-os com seus respectivos fatores de impacto e ano de publicação. Nesse cenário, os autores atuaram como tomadores de decisão, selecionando os critérios e fornecendo os julgamentos necessários para a aplicação do método fuzzy-TOPSIS. O grupo de tomadores de decisão optou pelos seguintes critérios, excluindo o C1, uma vez que este já havia sido

filtrado previamente, conforme demonstrado na Tabela 1, esses são os critérios em ordem: C2: Dados Quantitativos; C3: Emissões de GEE; C4: Qualidade do Ar; C5: Poluição Sonora; C6: Eficiência Energética. Para fins de proporcionar melhor compreensão sobre mobilidade urbana sustentável e impactos ambientais discutidos em cada artigo, elaborou-se perguntas de pesquisa para cada critério:

1. Contexto Geográfico Semelhante a Belém: O estudo é aplicável ao contexto geográfico de Belém?
2. Dados Quantitativos: O artigo apresenta dados quantitativos robustos para fundamentar as conclusões?
3. Emissões de GEE: O estudo avalia detalhadamente a redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE)?
4. Qualidade do Ar: O artigo aborda os impactos da eletrificação na melhoria da qualidade do ar?
5. Poluição Sonora: O estudo considera a redução da poluição sonora como um dos impactos da eletrificação?
6. Eficiência Energética: O estudo aborda sobre ganhos de eficiência energética a longo prazo com a eletrificação?

A partir dessa análise minuciosa, as Tabelas 2 e 3 ilustram as escalas linguísticas utilizadas para avaliar o desempenho dos artigos e o peso dos critérios, respectivamente. Para isso, optou-se pelo uso de números fuzzy triangulares, devido à sua simplicidade de modelagem e menor complexidade computacional. Além disso, o Google Colab (com a Linguagem Python) foi empregado para a elaboração dos triângulos fuzzy. A seguir, estão representadas as escalas fuzzy triangulares em relação às suas classificações:

Tabela 2: Termos linguísticos das alternativas (artigos) da Metodologia RSL

ESCALA FUZZY DE RESPOSTA EM RELAÇÃO AOS CRITÉRIOS			
Termos Linguísticos	L	M	U
Muito Baixo	0,0	0,0	2,5
Baixo	0,0	2,5	5,0
Parcial	2,50	5,00	7,50
Alto	5,00	7,50	10,00
Muito Alto	7,50	10,00	10,00

Fonte: Autores (2024)

Tabela 3: Termos linguísticos dos pesos dos critérios da Metodologia RSL

ESCALA FUZZY DE IMPORTÂNCIA DOS PESOS DOS CRITÉRIOS			
Termos Linguísticos	L	M	U
Muito Baixa	1,00	1,00	2,00
Baixa	1,00	2,00	3,00
Moderada	2,00	3,00	4,00
Alta	3,00	4,00	5,00
Muito Alta	4,00	5,00	5,00

Fonte: Autores (2024)

Onde, como se pode ver no contexto definido em Contexto Geográfico Similar a Belém, Dados Quantitativos, Emissões de GEE, Qualidade do Ar, Poluição Sonora e Eficiência Energética, na qual são critérios de avaliação dos artigos, onde a Tabela 4 até a Tabela 9 são tabelas usadas para análise de cada artigo pelos termos linguísticos (Muito Baixo, Baixo, Parcial, Alto, Muito Alto) quanto a leitura dos artigos exposto na Tabela 1 e, o resultado desta análise está na Tabela 10.

Tabela 4: Avaliação das alternativas (artigos) referente às similares geográficas com Belém do Pará da Metodologia RSL

Método de Avaliação pelo Contexto Geográfico Similar a Belém	
Termos Linguísticos	Significado
Muito Baixo	Sem relevância ou semelhança com Belém.
Baixo	Poucas semelhanças geográficas; o estudo menciona aspectos semelhantes, mas não é relevante
Parcial	O estudo possui algumas semelhanças com Belém, mas o contexto geral não é totalmente comparável.
Alto	O estudo tem boas semelhanças geográficas com Belém, embora não seja diretamente focado na cidade.
Muito Alto	O estudo é completamente aplicável ao contexto geográfico de Belém

Fonte: Autores (2024)

Tabela 5: Avaliação das alternativas (artigos) referente a presença de dados quantitativos da Metodologia RSL

Método de Avaliação pelos Dados Quantitativos	
Termos Linguísticos	Significado
Muito Baixo	Não apresenta dados quantitativos e, sim qualitativos.
Baixo	Poucos dados, insuficientes para uma análise sólida.
Parcial	Usa alguns dados, mas com pouca relevância ou rigor. Focado mais em análise qualitativa
Alto	Boa quantidade de dados, com algumas limitações.
Muito Alto	Análise quantitativa robusta e bem fundamentada.

Fonte: Autores (2024)

Tabela 6: Avaliação das alternativas (artigos) referente às Emissões de GEE da Metodologia RSL

Método de Avaliação em relação as Emissões de GEE	
Termos Linguísticos	Significado
Muito Baixo	Não aborda as emissões de GEE.
Baixo	Levanta a questão das emissões de GEE, mas com análise de pouca ou dados.
Parcial	Menciona GEE de forma superficial, sem dados robustos.
Alto	Aborda significativamente as emissões de GEE, mas com algumas lacunas.
Muito Alto	Avaliação detalhadamente a redução de GEE, com dados precisos e conclusões claras.

Fonte: Autores (2024)

Tabela 7: Avaliação das alternativas (artigos) referente a melhoria do ar da Metodologia RSL

Método de Avaliação sobre a Qualidade do Ar	
Termos Linguísticos	Significado
Muito Baixo	Não aborda a qualidade do ar.
Baixo	Pouca ou quase nenhuma menção à qualidade do ar.
Parcial	Menciona a qualidade do ar, mas com análise limitada.
Alto	Aborda bem a qualidade do ar, mas não explora totalmente os impactos.
Muito Alto	Avalia profundamente a qualidade do ar, mostrando melhorias significativas.

Fonte: Autores (2024)

Tabela 8: Avaliação das alternativas (artigos) referente a poluição sonora da Metodologia RSL

Método de Avaliação sobre a Poluição Sonora	
Termos Linguísticos	Significado
Muito Baixo	Não aborda a poluição sonora.
Baixo	Levanta o tema, mas com pouca relevância ou análise.
Parcial	Menciona a poluição sonora de forma superficial, sem dados sólidos.
Alto	Aborda a poluição sonora de maneira relevante, mas sem profundidade.
Muito Alto	Avaliação detalhada da poluição sonora, demonstrando redução significativa.

Fonte: Autores (2024)

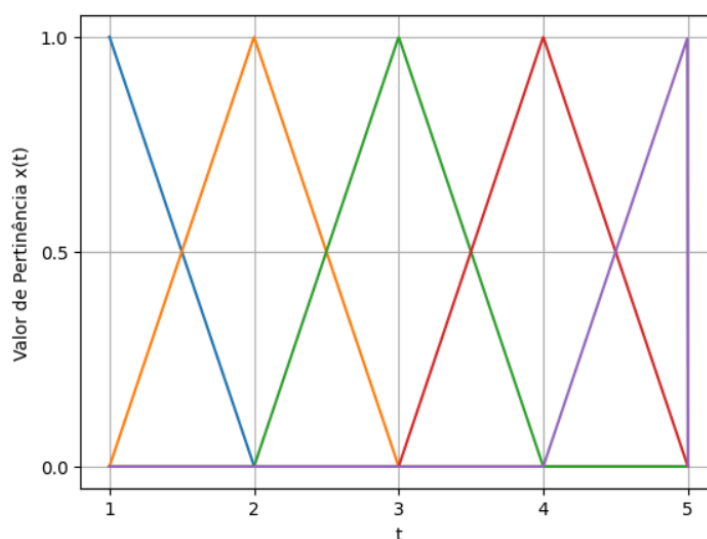
Tabela 9: Avaliação das alternativas (artigos) referente a eficiência energética da Metodologia RSL

Método de Avaliação sobre a Eficiência Energética	
Termos Linguísticos	Significado
Muito Baixo	Não aborda a eficiência energética.
Baixo	Menciona a eficiência energética, mas sem dados concretos.
Parcial	Menciona a eficiência energética, mas com dados insuficientes ou superficiais.
Alto	Aborda a eficiência energética de forma significativa, mas com algumas limitações de dados.
Muito Alto	Discute amplamente a eficiência energética, com dados claros e comparativos.

Fonte: Autores (2024)

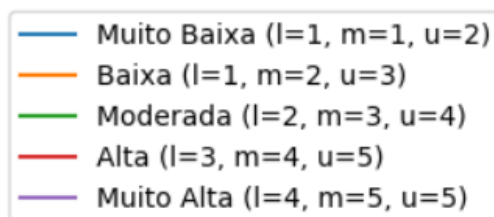
As figuras abaixo ilustram a representação gráfica na qual evidencia a importância de cada critério na análise dos dados. Adicionalmente, outra figura subsequente apresenta a escala a fim de analisar os trabalhos científicos expostos na tabela 1.

Figura 9: Representação gráfica da escala para o peso dos critérios da Metodologia RSL



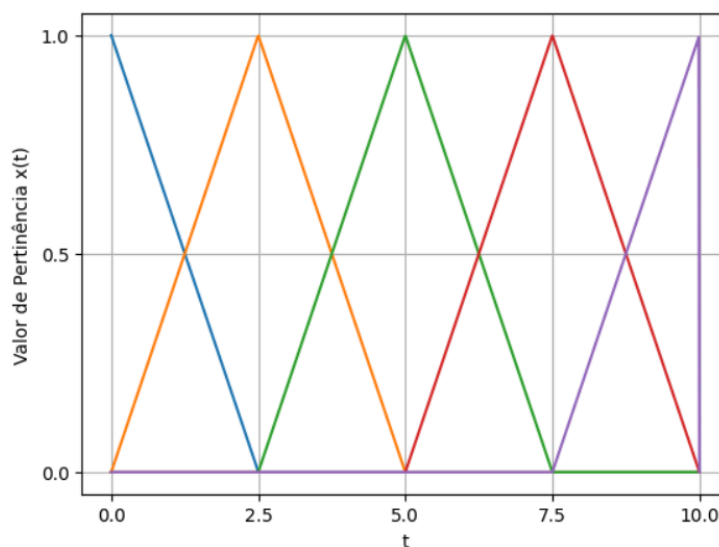
Fonte: Autores (2024)

Legenda: Termos linguísticos das escalas para o peso dos critérios da Metodologia RSL



Fonte: Autores (2024)

Figura 10: Representação gráfica da escala para a avaliação dos artigos da Metodologia RSL



Fonte: Autores (2024)

Legenda: Termos linguísticos das escalas para a avaliação dos artigos da Metodologia RSL

—	Muito Baixo ($l=0.0, m=0.0, u=2.5$)
—	Baixo ($l=0.0, m=2.5, u=5.0$)
—	Parcial ($l=2.5, m=5.0, u=7.5$)
—	Alto ($l=5.0, m=7.5, u=10.0$)
—	Muito Alto ($l=7.5, m=10.0, u=10.0$)

Fonte: Autores (2024)

Com base na leitura detalhada de autor para desempenho deles utilizando-se dos 6 critérios assinalados, desta forma a Tabela 10 mostra os valores linguísticos do desempenho das alternativas e a Tabela 11 mostra os valores aritméticos relativos ao peso de cada critério.

Tabela 10: Matriz de avaliação linguística dos tomadores de decisão sobre o desempenho dos artigos da Metodologia RSL

AVALIAÇÃO DOS ARTIGOS PELOS AUTORES					
Artigos	C2: Dados Quantitativos	C3: Emissões de GEE	C4: Qualidade do Ar	C5: Poluição Sonora	C6: Eficiência Energética
A77	Muito Alto	Muito Baixo	Muito Baixo	Muito Baixo	Parcial
A3	Parcial	Baixo	Muito Baixo	Muito Baixo	Muito Baixo
A117	Alto	Baixo	Muito Baixo	Muito Baixo	Parcial
A4	Muito Alto	Muito Alto	Alto	Muito Baixo	Muito Alto
A30	Alto	Muito Alto	Alto	Muito Baixo	Parcial
A118	Parcial	Baixo	Muito Baixo	Muito Baixo	Muito Baixo
A10	Muito Alto	Baixo	Parcial	Muito Baixo	Parcial
A65	Alto	Muito Alto	Muito Alto	Muito Baixo	Muito Alto
A33	Muito Alto	Muito Alto	Muito Alto	Muito Baixo	Muito Alto
A39	Muito Alto	Muito Alto	Alto	Parcial	Parcial
A75	Alto	Muito Alto	Alto	Muito Baixo	Alto
A41	Muito Alto	Muito Alto	Muito Alto	Muito Baixo	Alto
A44	Muito Baixo	Muito Baixo	Muito Baixo	Muito Baixo	Muito Baixo

Fonte: Autores (2024)

Tabela 11: Matriz de avaliação linguística dos tomadores de decisão sobre o peso dos critérios da Metodologia RSL

VETOR FUZZY PARA OS PESOS DOS CRITÉRIOS				
Crítérios	Importância	L	M	U
C2: Dados Quantitativos	Moderada	2,00	3,00	4,00
C3: Emissões de GEE	Muito Alta	4,00	5,00	5,00
C4: Qualidade do Ar	Moderada	2,00	3,00	4,00
C5: Poluição Sonora	Muito Baixa	1,00	1,00	2,00
C6: Eficiência Energética	Muito Baixa	1,00	1,00	2,00

Fonte: Autores (2024)

Os valores mostrados nas Tabelas 10 e 11 foram convertidos em números fuzzy conforme os valores das escalas das Tabelas 2 e 3. A seguir, a Tabela 12 apresenta a matriz de decisão e o vetor de pesos resultantes.

Tabela 12: Números fuzzy triangulares correspondentes aos julgamentos dos tomadores de decisão da Metodologia RSL

MATRIZ DE DECISÃO															
Artigos	C2			C3			C4			C5			C6		
	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U
A77	7,50	10,00	10,00	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	2,50	2,50	5,00	7,50
A3	2,50	5,00	7,50	0,00	2,50	5,00	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	2,50
A117	5,00	7,50	10,00	0,00	2,50	5,00	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	2,50	2,50	5,00	7,50
A4	7,50	10,00	10,00	7,50	10,00	10,00	5,00	7,50	10,00	0,00	0,00	2,50	7,50	10,00	10,00
A30	5,00	7,50	10,00	7,50	10,00	10,00	5,00	7,50	10,00	0,00	0,00	2,50	2,50	5,00	7,50
A118	2,50	5,00	7,50	0,00	2,50	5,00	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	2,50
A10	7,50	10,00	10,00	0,00	2,50	5,00	2,50	5,00	7,50	0,00	0,00	2,50	2,50	5,00	7,50
A65	5,00	7,50	10,00	7,50	10,00	10,00	7,50	10,00	10,00	0,00	0,00	2,50	7,50	10,00	10,00
A33	7,50	10,00	10,00	7,50	10,00	10,00	7,50	10,00	10,00	0,00	0,00	2,50	7,50	10,00	10,00
A39	7,50	10,00	10,00	7,50	10,00	10,00	5,00	7,50	10,00	2,50	5,00	7,50	2,50	5,00	7,50
A75	5,00	7,50	10,00	7,50	10,00	10,00	5,00	7,50	10,00	0,00	0,00	2,50	5,00	7,50	10,00
A41	7,50	10,00	10,00	7,50	10,00	10,00	7,50	10,00	10,00	0,00	0,00	2,50	5,00	7,50	10,00
A44	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	2,50

Fonte: Autores (2024)

A Tabela 13 apresenta os resultados da normalização. Bem como, apresenta a ponderação de todos os valores segundo a equação na Tabela 14, estruturados nesta sequência apresentada, as pontuações altas nos critérios assinalados da equação 12 foram normalizadas como critérios de benefício, usando a equação 8.

Tabela 13: Matriz de decisão normalizada da Metodologia RSL

MATRIZ DE DECISÃO NORMALIZADA (R)															
Artigos	C2			C3			C4			C5			C6		
	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U
A77	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,33	0,25	0,50	0,75
A3	0,00	0,50	0,75	0,00	0,25	0,50	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,25
A117	0,00	0,75	1,00	0,00	0,25	0,50	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,33	0,25	0,50	0,75
A4	0,75	1,00	1,00	0,75	1,00	1,00	0,50	0,75	1,00	0,00	0,00	0,33	0,75	1,00	1,00
A30	0,75	0,75	1,00	0,75	1,00	1,00	0,50	0,75	1,00	0,00	0,00	0,33	0,25	0,50	0,75
A118	0,00	0,50	0,75	0,00	0,25	0,50	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,25
A10	0,00	1,00	1,00	0,00	0,25	0,50	0,25	0,50	0,75	0,00	0,00	0,33	0,25	0,50	0,75
A65	0,75	0,75	1,00	0,75	1,00	1,00	0,75	1,00	1,00	0,00	0,00	0,33	0,75	1,00	1,00
A33	0,75	1,00	1,00	0,75	1,00	1,00	0,75	1,00	1,00	0,00	0,00	0,33	0,75	1,00	1,00
A39	0,75	1,00	1,00	0,75	1,00	1,00	0,50	0,75	1,00	0,33	0,67	1,00	0,25	0,50	0,75
A75	0,75	0,75	1,00	0,75	1,00	1,00	0,50	0,75	1,00	0,00	0,00	0,33	0,50	0,75	1,00
A41	0,75	1,00	1,00	0,75	1,00	1,00	0,75	1,00	1,00	0,00	0,00	0,33	0,50	0,75	1,00
A44	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,25

Fonte: Autores (2024)

Tabela 14: Matriz de decisão normalizada e ponderada da Metodologia RSL

MATRIZ DE DECISÃO NORMALIZADA E PONDERADA (V)															
Artigos	C2			C3			C4			C5			C6		
	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U
A77	1,50	3,00	4,00	0,00	0,00	1,25	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,67	0,25	0,50	1,50
A3	0,50	1,50	3,00	0,00	1,25	2,50	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,67	0,00	0,00	0,50
A117	1,00	2,25	4,00	0,00	1,25	2,50	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,67	0,25	0,50	1,50
A4	1,50	3,00	4,00	3,00	5,00	5,00	1,00	2,25	2,00	0,00	0,00	0,67	0,75	1,00	2,00
A30	1,00	2,25	4,00	3,00	5,00	5,00	1,00	2,25	2,00	0,00	0,00	0,67	0,25	0,50	1,50
A118	0,50	1,50	3,00	0,00	1,25	2,50	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,67	0,00	0,00	0,50
A10	1,50	3,00	4,00	0,00	1,25	2,50	0,50	1,50	1,50	0,00	0,00	0,67	0,25	0,50	1,50
A65	1,00	2,25	4,00	3,00	5,00	5,00	1,50	3,00	2,00	0,00	0,00	0,67	0,75	1,00	2,00
A33	1,50	3,00	4,00	3,00	5,00	5,00	1,50	3,00	2,00	0,00	0,00	0,67	0,75	1,00	2,00
A39	1,50	3,00	4,00	3,00	5,00	5,00	1,00	2,25	2,00	0,33	0,67	2,00	0,25	0,50	1,50
A75	1,00	2,25	4,00	3,00	5,00	5,00	1,00	2,25	2,00	0,00	0,00	0,67	0,50	0,75	2,00
A41	1,50	3,00	4,00	3,00	5,00	5,00	1,50	3,00	2,00	0,00	0,00	0,67	0,50	0,75	2,00
A44	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,25	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,67	0,00	0,00	0,50

Fonte: Autores (2024)

Com base nas equações 12 e 13, as soluções ideais positiva e negativa foram definidas como segue na Tabela 15. Dessa maneira, as distâncias entre os valores da Tabela adiante e as soluções ideais positiva e negativa foram, então, calculadas, conforme aplicado pelo método *vertex*, segundo as equações 14, 15 e 16. Sucedendo pelo cálculo das distâncias entre o desempenho das alternativas tanto para a solução ideal positiva, como para negativa na Tabela 16.

Tabela 15: Solução ideal positiva (A+) e solução ideal negativa (A-) da Metodologia RSL

SOLUÇÃO IDEAL POSITIVA (A+) E NEGATIVA (A-)															
	C2			C3			C4			C5			C6		
A+	4,00	4,00	4,00	5,00	5,00	5,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
A-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Autores (2024)

Tabela 16: Distâncias entre o desempenho dos artigos e a solução ideal positiva e negativa da Metodologia RSL

DISTÂNCIA D+							DISTÂNCIA D-						
Artigos	C2	C3	C4	C5	C6	D+	Artigos	C2	C3	C4	C5	C6	D-
A77	1,555	4,621	1,848	1,805	1,362	11,191	A77	3,014	0,722	0,289	0,385	0,924	5,333
A3	2,550	3,886	1,848	1,805	1,848	11,938	A3	1,958	1,614	0,289	0,385	0,289	4,534
A117	2,005	3,886	1,848	1,805	1,362	10,907	A117	2,712	1,614	0,289	0,385	0,924	5,923
A4	1,555	1,155	0,595	1,805	0,924	6,034	A4	3,014	4,435	1,831	0,385	1,362	11,027
A30	2,005	1,155	0,595	1,805	1,362	6,922	A30	2,712	4,435	1,831	0,385	0,924	10,287
A118	2,550	3,886	1,848	1,805	1,848	11,938	A118	1,958	1,614	0,289	0,385	0,289	4,534
A10	1,555	3,886	0,957	1,805	1,362	9,565	A10	3,014	1,614	1,258	0,385	0,924	7,195
A65	2,005	1,155	0,645	1,805	0,924	6,535	A65	2,712	4,435	2,255	0,385	1,362	11,148
A33	1,555	1,155	0,645	1,805	0,924	6,084	A33	3,014	4,435	2,255	0,385	1,362	11,450
A39	1,555	1,155	0,595	1,232	1,362	5,898	A39	3,014	4,435	1,831	1,232	0,924	11,437
A75	2,005	1,155	0,595	1,805	1,127	6,688	A75	2,712	4,435	1,831	0,385	1,267	10,629
A41	1,555	1,155	0,645	1,805	1,127	6,287	A41	3,014	4,435	2,255	0,385	1,267	11,355
A44	3,697	4,621	1,848	1,805	1,848	13,820	A44	0,577	0,722	0,289	0,385	0,289	2,261

Fonte: Autores (2024)

O coeficiente de proximidade do Fuzzy-TOPSIS foi exposto a partir da aplicação da equação 17, onde foi calculado e multiplicado pela importância de cada um, cujo resultado fornecido foi a pontuação de classificação. A classificação final do artigo foi organizada na Tabela 17.

Tabela 17: Classificação dos artigos atendendo ao CCI e FI da Metodologia RSL

RANKING DOS ARTIGOS AVALIADOS						
Artigos	Desempenho global (CCI)	Fator de Impacto (Fi)	CCI x Fi	Classificação		
A77	CC1	0,32	FI1 16,30	5,14	1 ^a	
A4	CC3	0,24	FI3 7,30	4,43	2 ^a	
A30	CC2	0,46	FI2 6,49	4,19	3 ^a	
A117	CC4	0,61	FI4 9,00	4,16	4 ^a	
A118	CC5	0,65	FI5 6,00	2,44	5 ^a	
A33	CC6	0,41	FI6 3,30	2,27	6 ^a	
A3	CC7	0,36	FI7 9,00	2,17	7 ^a	
A65	CC8	0,60	FI8 3,57	2,13	8 ^a	
A39	CC9	0,69	FI9 3,30	2,04	9 ^a	
A75	CC10	0,62	FI10 2,60	1,52	10 ^a	
A10	CC11	0,58	FI11 3,90	1,40	11 ^a	
A41	CC12	0,65	FI12 1,12	0,73	12 ^a	
A44	CC13	0,28	FI13 0,66	0,18	13 ^a	

Fonte: Autores (2024)

O artigo A77 tem a classificação final mais alta, o que se traduz em que esse estudo tem a maior proximidade da solução ideal positiva, assim como o mais distante da solução

ideal negativa. Além disso, este resultado recomendou-se porque o artigo A77 atingiu um desempenho ótimo nos critérios “contexto geográfico similar a Belém”, “presença de dados quantitativos”, “redução de emissões de GEE”, “aumento da qualidade do ar” e “aumento da eficiência energética”. Portanto, este estudo é o mais relevante para vergência literária em mobilidade urbana sustentável em cidades parecidas geograficamente com Belém. Quanto a outros estudos para analisar diretamente, a ordem crescente a maior colocação é A117 > A3 > A118 > A30 > A65 > A39 > A4 > A75 > A33 > A10 > A41 > A44.

- **Discussão com limitações e recomendações sobre o Fuzzy-TOPSIS**

A utilização do método Fuzzy-TOPSIS, neste trabalho, foi útil para a análise e classificação dos artigos em termos da contribuição para a literatura sobre mobilidade urbana sustentável em cidades geograficamente similares a Belém. Como resultado, como o uso do método Fuzzy-TOPSIS pode auxiliar na identificação e priorização de artigos que contribuem significativamente para a literatura sobre mobilidade urbana sustentável em cidades com características geográficas semelhantes a Belém do Pará por intermédio do seguinte PICO, P – População – estudos sobre mobilidade urbana sustentável e seus impactos ambientais, enquanto a Intervenção é artigos e pesquisas que discutem mobilidade urbana sustentável, por exemplo, modais de transporte sustentável e suas externalidades, recursos locais e gestão ambiental em cidades semelhantes a Belém do Pará; e o Comparação é estudos que não usam o método Fuzzy-TOPSIS, ou que empregam o método TOPSIS comuns; a reversão do resultado; E dificuldade com a definição do peso, são o grupo com características geográficas semelhantes a Belém do Pará e o resultado são a identificação de processos-chave a serem priorizados. Ao mesmo tempo, a Fuzzy-TOPSIS calculou que o artigo A77 é consideravelmente mais relevante, sendo o artigo com melhor classificação segundo os critérios do Fuzzy-TOPSIS. Portanto, a Fuzzy-TOPSIS é uma maneira eficaz e robusta de priorizar fatores relevantes para a implementação de esquemas de mobilidade urbana em Belém do Pará e em cidades semelhantes.

No entanto, algumas questões e desafios metodológicos merecem destaque na implementação. Em primeiro lugar, a complexidade associada à escolha de números fuzzy:

traduzir respostas subjetivas em números fuzzy certos usados, ou parâmetros definidos, isto é, a descaracterização adequada pode adicionar um erro. Outro desafio é a subjetividade dos pesos atribuídos: decidiu-se pelos pesos em cada critério e subcritérios, mesmo que em termos qualitativos, baseado na opinião dos especialistas. Os pesos podem afetar também os resultados, ou seja, introduzir vontades. Em seguida, o processamento de dados qualitativos apresentou uma complexidade de como processar os dados qualitativos. É difícil processar os dados qualitativos devido à forma dos dados, assim um esforço é necessário para transformar os dados quantitativos para forma a processá-los. Além disso, os critérios têm consideráveis relações entre uns que devem ser modelados e tratados corretamente. Conforme discutido por Amaro e Junior (2015) : O método Fuzzy-TOPSIS não é projetado para identificar ou modelar as interdependências entre critérios. É uma ferramenta excelente se os inter-relacionamentos entre critérios já são conhecidos e usados para priorizar ou avaliar alternativas.

Como sugestões para futuros trabalhos, o Fuzzy-TOPSIS poderia ser utilizado em situações com grande variedade de critérios e incertezas a serem consideradas, como a avaliação de políticas públicas, seleção de projetos de sustentabilidade, monitoramento de impactos ambientais, para além dos critérios técnicos e operacionais econômicos e sociais. Desse modo, a combinação do Fuzzy-TOPSIS com outras tecnologias poderia ser ainda relevante, como o DEMATEL (*Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory*) que considera a inter-relação dos critérios e um nível adicional de análise. Outra combinação interessante seria com a Análise de Redes Sociais (SNA *Social Network Analysis*) para uma análise ainda mais significativa dos critérios avaliados. Nesse caso, a avaliação da relevância dos estudos e impacto com mobilidade urbana sustentável seria mais dinâmica e detalhada, já que a SNA possibilita mapear e visualizar as inter relações entre os critérios de avaliação e sugerir quais os artigos mais centrais ou influentes da rede de critério analisada.

- **Discussão com limitações e recomendações sobre o PRISMA**

De tal maneira, o emprego da metodologia PRISMA culminou em um processo de seleção e avaliação dos estudos transparente e passível de replicação, aumentando a credibilidade dos resultados obtidos. Entretanto, os desafios metodológicos acompanham-se

por limites que impactam a condução de RSL, que embora sistematizado, transcende a um esforço demandante e um nível de experiência que não é compatível com a formação dos pesquisadores. A alta demanda e comprometimento necessários para correta aplicação do método frequentemente resultam numa confusão do enfoque entre a aplicação da metodologia e os objetivos da pesquisa, sendo que o passo de conclusão com frequência acaba sendo negligenciado. Da mesma maneira, a falta de intimidade com o tema também pode impactar na definição da aplicação do método e nos resultados, em especial nas fases iniciais, como a definição da questão, utilização dos termos de busca e escolha das bases de dados e periódicos no qual os artigos serão consultados.

Outrossim, é recomendado o uso de ferramentas de referências bibliográficas para manter as fontes consultadas exploradas e categorizadas em seções de softwares como EndNote, Mendeley, Zotero. Esses softwares permitem ainda armazenar e organizar automaticamente as referências e economizam tempo em função da minimização de erros, e possuem funcionalidades avançadas, como a sincronização em nuvem e a possibilidade de trabalho colaborativo, permitindo a integridade e validade da fundamentação.

3. ANÁLISE DO MODAL PORTUGUÊS E NUANCES AO CONTEXTO PARAENSE ALINHADOS A COP 30

Das causas às consequências, Oliveira e Sabino (2022) aplica a discussão de como a sustentabilidade ganhou seu nome em torno da mobilidade urbana nos últimos dez anos e, assim, destaca as questões de quais são os princípios, os parâmetros, os desafios e os meios de inovação como incêndios florestais para serem um pré-requisito de um lugar válido em torno do planejamento da mobilidade urbana. Portanto, no contexto mais amplo do desenvolvimento sustentável, a mobilidade urbana sustentável equilibrará as necessidades humanas com a proteção do ambiente natural, considerando a estabilidade e a confiabilidade do fornecimento de bens e serviços ao longo do tempo, sem comprometer as gerações futuras.

Nesse contexto, a capital paraense, Belém, localizada no norte do Brasil, e uma das da Amazônia Legal, apresentam dificuldades originais em adequar seu desenvolvimento urbano às metas de sustentabilidade. Portanto, com uma população de mais de 1,3 milhão, abrange uma densa malha urbana de cerca de 4.876 km², dos quais cerca de 1.059 km² pertencem exclusivamente ao município de Belém e está dividida em 72 bairros distintos, conforme

ilustrado na Figura 8: Cidade e Região Metropolitana de Belém e região metropolitana, maio de 2023. (IBGE, 2023; PA, 2023).

Em janeiro de 2023, Belém foi oficialmente anunciada como a candidata brasileira para sediar a 30ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas COP 30. Será realizada em novembro de 2025, coroando o compromisso de tornar a região uma referência mundial em desenvolvimento sustentável. O posicionamento estratégico reforça as iniciativas locais, especialmente na área de mobilidade urbana sustentável, saneamento, eficiência energética e preservação e gestão de áreas e cinturões verdes.

Porém, Belém ainda possui altos índices de emissões de gases de efeito estufa (GEE). Conforme o Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa (IEGEE) da capital paraense, o ano de 2022 registrou a maior emissão de gases, com 607.974 toneladas de CO₂ equivalente (PA, 2023). Desse modo, esse cenário exige uma transição urgente para alternativas sustentáveis, como o transporte público elétrico. Neste contexto, segundo Varga *et al.* (2023), a descarbonização influencia positivamente para a redução da degradação da qualidade do ar ocasionado pela poluição e, também, reduz as causas nocivas das alterações climáticas. Comumente, desde o Acordo de Paris na Conferência das Partes (COP) da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança Climáticas (UNFCCC), em 2015, todos os países envolvidos criaram estratégias para atingir a neutralidade carbônica até 2050. Tendo em vista esse cenário, na Europa, estabeleceram as normas Euro para os veículos a fim de reduzir as emissões de GEE, pois, a dependência de combustíveis fósseis será finalizada quando suceder à transferência de baterias movidas a gásóleo para elétricas, influenciando no futuro da descarbonização total dos transportes.

Nessa conjuntura, a eletrificação do transporte público em Belém merece atenção especial, pois mudará radicalmente as cidades e reduzirá inúmeras emissões de GEE. O Projeto Piloto de Eletrificação da Frota do Transporte Público Coletivo de Passageiros por Ônibus, já em atividade, é um exemplo dessas ações. Este é o objetivo da COP 30, alinhar as cidades na descarbonização face à mudança climática. Por exemplo, Almeida *et al.* (2019) argumenta que vários ônibus elétricos podem contribuir significativamente para a redução de emissão de CO₂ devido à abundância de energia renovável na matriz elétrica brasileira, tornando Belém um marco da mobilidade sustentável na Amazônia.

Ademais, no Capítulo 3, foi realizada uma análise minuciosa utilizando o método Fuzzy-TOPSIS para identificar os artigos que mais contribuem para o desenvolvimento e consolidação da temática de Mobilidade Urbana Sustentável. Posteriormente, o resultado desta análise foi constatar a importância da eletrificação do transporte público como solução viável para mitigar as emissões de gases de efeito estufa e, assim, promover um ambiente urbano mais sustentável. Conseqüentemente, o artigo classificado em 7º lugar: “*Towards Zero CO₂ Emissions from Public Transport: The Pathway to the Decarbonization of the Portuguese Urban Bus Fleet*” foi identificado como um estudo inovador que quantifica as reduções de CO₂ até 2034, simulando a transferência de frotas movidas a gasóleo e gás/GNV para uma frota de base elétrica, e frequentemente apresentando percepções sobre os benefícios econômicos e ambientais dos autocarros elétricos.

O objetivo deste capítulo, é explorar os benefícios ambientais e econômicos em Portugal, comumente, investigar o cenário modal da capital paraense, na qual o artigo analisado mensurou e discutiu sobre a implementação de transporte público elétrico em Portugal, utilizando a Análise SWOT do artigo selecionado. Esta análise permitirá uma compreensão mais aprofundada das forças, fraquezas, oportunidades e ameaças relacionadas à transição para um sistema de transporte mais sustentável na capital paraense, contribuindo para o alcance das metas de sustentabilidade e descarbonização estabelecidas para a região, respondendo a 2ª pergunta de pesquisa: “Quais são os potenciais benefícios econômicos e ambientais que a implementação de transporte público elétrico pode proporcionar à capital paraense alinhados aos objetivos da COP-30?”.

3.1 Aplicação Fuzzy-TOPSIS na Metodologia do Caso Português

No que diz respeito, aos treze artigos ranqueados no capítulo anterior, aplicou-se, novamente, o Método Fuzzy-TOPSIS para identificar e analisar qual artigo contribuiria para o responder à 2ª pergunta de pesquisa. Para isso, iniciou-se novamente uma investigação detalhada dos artigos analisados pelos seguintes critérios:

1. Inovação Metodológica: O artigo criou ou usou uma metodologia de pesquisa?
2. Impactos Econômicos: O artigo aborda custos de implementação, operação ou manutenção? Apresenta uma análise de retorno financeiro?

3. Impactos Ambientais: O estudo detalha a redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE), melhorias na qualidade do ar ou outros benefícios ambientais?
4. Alinhamento com a COP-30: O artigo está alinhado com objetivos de descarbonização e metas globais, como a COP-30?

Ademais, analisou-se cada estudo em relação à sua capacidade de responder a 2ª pergunta de pesquisa, como exposto na “Tabela 17: Avaliação Comparativa dos Artigos sobre Mobilidade Urbana Sustentável e Transporte Público Elétrico”. Nesse contexto, os autores atuaram como tomadores de decisão para escolher os critérios e fornecer os julgamentos requeridos pelo método fuzzy-TOPSIS. Nesse estudo, os tomadores de decisão optaram pelos seguintes critérios: C1: Inovação Metodológica; C2: Impactos Econômicos; C3: Impactos Ambientais; C4: Alinhamento com a COP 30.

Por conseguinte, iniciaram-se as etapas do Método Fuzzy-TOPSIS, as mesmas etapas expostas no Capítulo da RSL (Uso das mesmas equações para cada passo metodológico), com o diferencial em relação ao objetivo de pesquisa diferir da primeira vez que manuseou a ferramenta. Após, a conclusão desta lógica, foram elaboradas as Tabelas 18 e 19, onde detalham as escalas linguísticas utilizadas para mensurar o desempenho dos artigos e a importância atribuída a cada critério, respectivamente. Dessa forma, geraram-se as escalas fuzzy triangulares em relação às suas classificações, que estão representadas a seguir:

Tabela 18: Termos linguístico das alternativas (artigos) do Caso Português

ESCALA FUZZY DE RESPOSTA EM RELAÇÃO AOS CRITÉRIOS			
Termos Linguísticos	L	M	U
Não	0,0	0,0	2,5
Parcial	0,0	2,5	5,0
Sim	2,50	5,00	7,50
Parcialmente Adequado	5,00	7,50	10,00
Adequado	7,50	10,00	10,00

Fonte: Autores (2024)

Tabela 19: Termos linguístico dos pesos dos critérios do Caso Português

ESCALA FUZZY DE IMPORTÂNCIA DOS PESOS DOS CRITÉRIOS			
Termos Linguísticos	L	M	U
Muito Baixa	1,00	1,00	2,00
Baixa	1,00	2,00	3,00
Moderada	2,00	3,00	4,00
Alta	3,00	4,00	5,00
Muito Alta	4,00	5,00	5,00

Fonte: Autores (2024)

Onde, a Inovação Metodológica, Impactos Econômicos, Aspectos Ambientais, Alinhamento com a COP 30 refletem as seguintes respostas, na qual são critérios de avaliação dos artigos, onde a Tabela 20 até a Tabela 23 são tabelas usadas para análise de cada artigo pelos termos linguísticos (Não, Parcial, Sim, Parcialmente, Adequado, Adequado) quanto a leitura dos artigos exposto na Tabela 17 e, o resultado desta análise está na Tabela 24.

Tabela 20: Avaliação das alternativas (artigos) referente a inovação metodológica do Caso Português

Método de Avaliação destinada a Inovação Metodológica	
Termos Linguísticos	Significado
Não	A metodologia é uma réplica de abordagens já existentes, sem qualquer elemento inovador.
Parcial	A metodologia apresenta alguns elementos originais, mas não é substancialmente diferente das abordagens tradicionais.
Sim	A metodologia inclui aspectos originais e novas perspectivas, embora ainda utilize elementos tradicionais.
Parcialmente Adequado	A metodologia é amplamente original e introduz inovações significativas, mas pode ter algumas semelhanças com abordagens existentes.
Adequado	A metodologia é completamente original e inovadora, desafiando normas existentes e propondo novos paradigmas.

Fonte: Autores (2024)

Tabela 21: Avaliação das alternativas (artigos) referente aos aspectos econômicos do Caso Português

Método de Avaliação pelos Aspectos Econômicos	
Termos Linguísticos	Significado
Não	Quase nenhum impacto econômico mensurável
Parcial	Reduzidos efeitos nos custos ou receitas.
Sim	Efeitos econômicos intermediários.
Parcialmente Adequado	Impacto econômico significativo, mas não completo; maximização de ganhos ou redução de custos, evidenciando um impacto econômico substancial.
Adequado	Impacto econômico substancial, com reflexos positivos em custos e receitas.

Fonte: Autores (2024)

Tabela 22: Avaliação das alternativas (artigos) aos aspectos ambientais do Caso Português

Método de Avaliação pelos Aspectos Ambientais	
Termos Linguísticos	Significado
Não	Pequenos efeitos ambientais.
Parcial	Efeitos ambientais equilibrados, mas com considerações limitadas.
Sim	Aderência parcial às metas da COP-30; efeitos ambientais que são aceitáveis, mas não ideais.
Parcialmente Adequado	Impactos ambientais elevados e notáveis, mas com algumas limitações em relação aos objetivos sustentáveis.
Adequado	Impactos ambientais significativos, alinhados com os objetivos de sustentabilidade.

Fonte: Autores (2024)

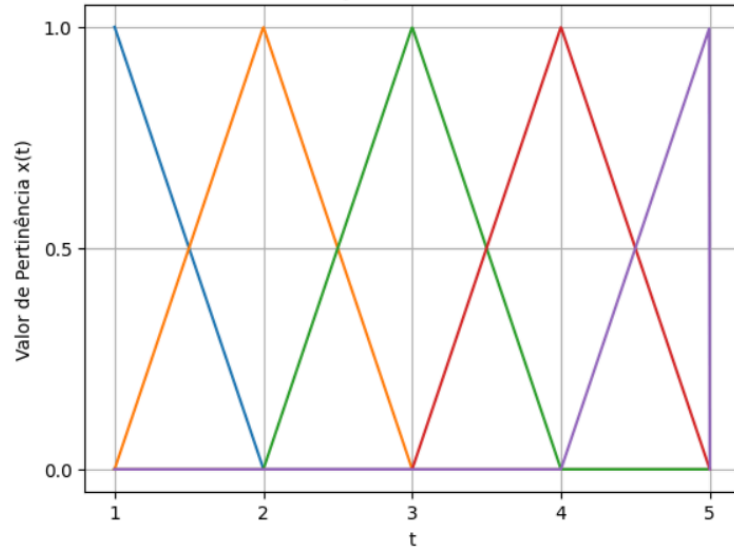
Tabela 23: Avaliação das alternativas (artigos) em relação ao alinhamento com as metas da COP 30 do Caso Português

Método de Avaliação destinada ao Alinhamento com a COP 30	
Termos Linguísticos	Significado
Não	Alinhamento reduzido, mas com alguma consideração; não atende às expectativas.
Parcial	Alinhamento limitado; atende a algumas metas, mas não todas.
Sim	Aderência parcial às metas; esforços estão em andamento, mas há espaço para melhorias.
Parcialmente Adequado	Aderência significativa às diretrizes da COP-30; ações positivas implementadas.
Adequado	Completo alinhamento com os objetivos de sustentabilidade da COP-30; cumpre integralmente as diretrizes.

Fonte: Autores (2024)

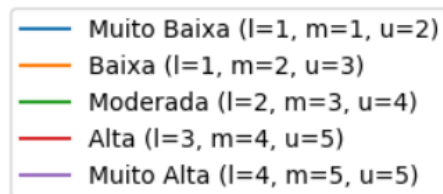
Por conseguinte, os gráficos fuzzy ilustrados a seguir tem os mesmo propósitos descritos no capítulo 3.2.

Figura 11: Representação gráfica da escala para o peso dos critérios do Caso Português



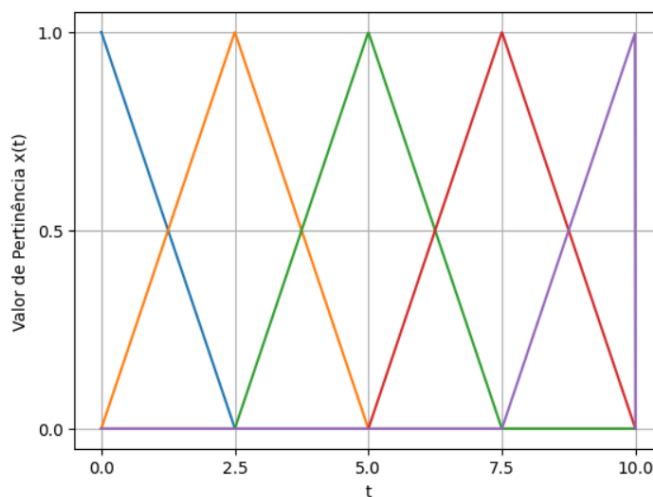
Fonte: Autores (2024)

Legenda: Termos linguísticos das escalas para o peso dos critérios do Caso Português



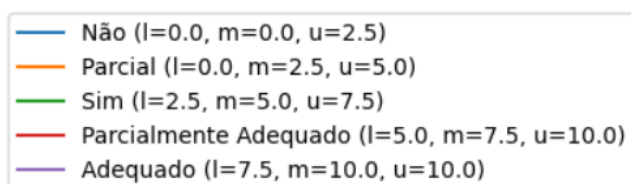
Fonte: Autores (2024)

Figura 12: Representação gráfica da escala para a avaliação dos artigos do Caso Português



Fonte: Autores (2024)

Legenda: Termos Linguísticos das escalas para a avaliação dos artigos do Caso Português



Fonte: Autores (2024)

Posteriormente, A Tabela 24 apresenta as avaliações linguísticas relacionadas ao desempenho das alternativas, enquanto a Tabela 25 exhibe os julgamentos referentes à importância de cada critério.

Tabela 24: Matriz de avaliação linguística dos tomadores de decisão sobre o desempenho dos artigos do Caso Português

AVALIAÇÃO DOS ARTIGOS PELOS AUTORES				
Artigos	C1: Inovação Metodológica	C2: Impactos Econômicos	C3: Impactos Ambientais	C4: Alinhamento com a COP 30
A77	Não	Parcial	Não	Não
A117	Não	Não	Parcial	Parcial
A3	Não	Sim	Parcial	Parcial
A118	Não	Não	Parcialmente Adequado	Não
A30	Não	Não	Sim	Parcial
A65	Parcialmente Adequado	Parcial	Sim	Sim
A39	Adequado	Adequado	Adequado	Adequado
A4	Parcialmente Adequado	Sim	Sim	Parcial
A75	Parcialmente Adequado	Sim	Sim	Sim
A33	Não	Sim	Adequado	Não
A10	Não	Sim	Parcial	Não
A41	Não	Sim	Sim	Sim
A44	Não	Não	Não	Não

Fonte: Autores (2024)

Tabela 25: Matriz de avaliação linguística dos tomadores de decisão sobre os pesos dos critérios do Caso Português

VETOR FUZZY PARA OS PESOS DOS CRITÉRIOS				
Critérios	Importância	L	M	U
C1: Inovação Metodológica	Muito Baixo	1,00	1,00	2,00
C2: Impactos Econômicos	Moderada	2,00	3,00	4,00
C3: Impactos Ambientais	Muito Alta	4,00	5,00	5,00
C4: Alinhamento com a COP 30	Muito Alta	4,00	5,00	5,00

Fonte: Autores (2024)

Após a elaboração das Tabelas 24 e 25 foram convertidos em números fuzzy segundo as escalas das Tabelas 18 e 19. A Tabela a seguir mostra a matriz de decisão e o vetor de pesos obtidos.

Tabela 26: Números fuzzy triangulares correspondentes aos julgamentos dos tomadores de decisão do Caso Português

MATRIZ DE DECISÃO												
Artigos	C1			C2			C3			C4		
	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U
A77	0,00	0,00	2,50	0,00	2,50	5,00	0,00	0,00	0,00	2,50	2,50	2,50
A117	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	5,00	5,00	5,00
A3	0,00	0,00	2,50	2,50	5,00	7,50	0,00	0,00	0,00	5,00	5,00	5,00
A118	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	2,50	5,00	5,00	5,00	2,50	2,50	2,50
A30	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	2,50	2,50	2,50	2,50	5,00	5,00	5,00
A65	5,00	7,50	10,00	0,00	2,50	5,00	2,50	2,50	2,50	7,50	7,50	7,50
A39	7,50	10,00	10,00	7,50	10,00	10,00	7,50	7,50	7,50	10,00	10,00	10,00
A4	5,00	7,50	10,00	2,50	5,00	7,50	2,50	2,50	2,50	5,00	5,00	5,00
A75	5,00	7,50	10,00	2,50	5,00	7,50	2,50	2,50	2,50	7,50	7,50	7,50
A33	0,00	0,00	2,50	2,50	5,00	7,50	7,50	7,50	7,50	2,50	2,50	2,50
A10	0,00	0,00	2,50	2,50	5,00	7,50	0,00	0,00	0,00	2,50	2,50	2,50
A41	0,00	0,00	2,50	2,50	5,00	7,50	2,50	2,50	2,50	7,50	7,50	7,50
A44	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	2,50	2,50	2,50

Fonte: Autores (2024)

Os dados apresentados na Tabela 28 ilustram os resultados da ponderação de conforme a Equação 10, enquanto a Tabela 27 apresenta os resultados do processo de normalização. Tendo em vista que valores mais altos nos critérios avaliados melhoram o desempenho do artigo, esses valores foram normalizados como critérios de benefício por meio da Equação 8.

Tabela 27: Matriz de decisão normalizada do Caso Português

MATRIZ DE DECISÃO NORMALIZADA (R)												
Artigos	C1			C2			C3			C4		
	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U
A77	0,00	0,00	0,25	0,00	0,25	0,50	0,00	0,00	0,00	0,25	0,25	0,25
A117	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,50	0,50	0,50
A3	0,00	0,00	0,25	0,25	0,50	0,75	0,00	0,00	0,00	0,50	0,50	0,50
A118	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,25	0,67	0,67	0,67	0,25	0,25	0,25
A30	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,25	0,33	0,33	0,33	0,50	0,50	0,50
A65	0,50	0,75	1,00	0,00	0,25	0,50	0,33	0,33	0,33	0,75	0,75	0,75
A39	0,75	1,00	1,00	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
A4	0,50	0,75	1,00	0,25	0,50	0,75	0,33	0,33	0,33	0,50	0,50	0,50
A75	0,50	0,75	1,00	0,25	0,50	0,75	0,33	0,33	0,33	0,75	0,75	0,75
A33	0,00	0,00	0,25	0,25	0,50	0,75	1,00	1,00	1,00	0,25	0,25	0,25
A10	0,00	0,00	0,25	0,25	0,50	0,75	0,00	0,00	0,00	0,25	0,25	0,25
A41	0,00	0,00	0,25	0,25	0,50	0,75	0,33	0,33	0,33	0,75	0,75	0,75
A44	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,25	0,25	0,25

Fonte: Autores (2024)

Tabela 28: Matriz de decisão normalizada e ponderada do Caso Português

MATRIZ DE DECISÃO NORMALIZADA E PONDERADA (V)												
Artigos	C1			C2			C3			C4		
	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U
A77	0,00	0,00	0,50	0,00	0,75	2,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,25	1,25
A117	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,50	2,50
A3	0,00	0,00	0,50	0,50	1,50	3,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,50	2,50
A118	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	1,00	2,67	3,33	3,33	1,00	1,25	1,25
A30	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	1,00	1,33	1,67	1,67	2,00	2,50	2,50
A65	0,50	0,75	2,00	0,00	0,75	2,00	1,33	1,67	1,67	3,00	3,75	3,75
A39	0,75	1,00	2,00	1,50	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	4,00	5,00	5,00
A4	0,50	0,75	2,00	0,50	1,50	3,00	1,33	1,67	1,67	2,00	2,50	2,50
A75	0,50	0,75	2,00	0,50	1,50	3,00	1,33	1,67	1,67	3,00	3,75	3,75
A33	0,00	0,00	0,50	0,50	1,50	3,00	4,00	5,00	5,00	1,00	1,25	1,25
A10	0,00	0,00	0,50	0,50	1,50	3,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,25	1,25
A41	0,00	0,00	0,50	0,50	1,50	3,00	1,33	1,67	1,67	3,00	3,75	3,75
A44	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,25	1,25

Fonte: Autores (2024)

Empregando-se as Equações 12 e 13, foram identificadas as soluções ideais positivas e negativas, conforme mostrado na Tabela 29. Usando o método dos vértices, conforme descrito nas Equações 14, 15 e 16, as distâncias entre os valores da Tabela 29 e as soluções ideais identificadas foram calculadas. Conseqüentemente, a Tabela 30 revela as distâncias entre o desempenho das alternativas e a solução positiva ideal, juntamente com as distâncias até a solução negativa ideal.

Tabela 29: Solução ideal positiva (A+) e solução ideal negativa (A-) do Caso Português

SOLUÇÃO IDEAL POSITIVA (A+) E NEGATIVA (A-)												
	C1			C2			C3			C4		
A+	2,00	2,00	2,00	4,00	4,00	4,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
A-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00

Fonte: Autores (2024)

Tabela 30: Distâncias entre o desempenho dos artigos e a solução ideal positiva e negativa do Caso Português

DISTÂNCIA D+						DISTÂNCIA D-					
Artigos	C1	C2	C3	C4	D+	Artigos	C1	C2	C3	C4	D-
A77	1,848	3,192	5,000	4,690	14,731	A77	0,289	1,233	0,000	0,816	2,338
A117	1,848	3,697	5,000	4,435	14,980	A117	0,289	0,577	0,000	1,000	1,866
A3	1,848	2,550	5,000	4,435	13,833	A3	0,289	1,958	0,000	1,000	3,247
A118	1,848	3,697	1,915	2,681	10,141	A118	0,289	0,577	3,127	1,905	5,898
A30	1,848	3,697	3,448	3,226	12,219	A30	0,289	0,577	1,563	0,793	3,223
A65	1,127	3,192	3,448	2,956	10,724	A65	1,267	1,233	1,563	1,277	5,340
A39	0,924	1,555	0,577	0,577	3,633	A39	1,362	3,014	4,690	3,697	12,763
A4	1,127	2,550	3,448	3,226	10,351	A4	1,267	1,958	1,563	0,793	5,581
A75	1,127	2,550	3,448	2,956	10,081	A75	1,267	1,958	1,563	1,277	6,064
A33	1,848	2,550	0,577	2,309	7,285	A33	0,289	1,958	4,690	3,266	10,203
A10	1,848	2,550	5,000	4,690	14,088	A10	0,289	1,958	0,000	0,816	3,063
A41	1,848	2,550	3,448	2,956	10,802	A41	0,289	1,958	1,563	1,277	5,087
A44	1,848	3,697	5,000	4,690	15,236	A44	0,289	0,577	0,000	0,816	1,683

Fonte: Autores (2024)

Com base nas informações da Tabela 30, o método Fuzzy-TOPSIS foi utilizado para determinar o coeficiente de proximidade (CCi) para cada estudo analisado, que foi então multiplicado pelo fator de impacto de cada um; isso resultou na pontuação final da classificação, demonstrado na Tabela 31.

Tabela 31: Classificação dos artigos para o Caso Português atendendo ao CCi

RANKING DOS ARTIGOS AVALIADOS			
A39	CC1	0,78	1ª
A33	CC2	0,58	2ª
A75	CC3	0,38	3ª
A118	CC4	0,37	4ª
A4	CC5	0,35	5ª
A65	CC6	0,33	6ª
A41	CC7	0,32	7ª
A30	CC8	0,21	8ª
A3	CC9	0,19	9ª
A10	CC10	0,18	10ª
A77	CC11	0,14	11ª
A117	CC12	0,11	12ª
A44	CC13	0,10	13ª

Fonte: Autores (2024)

Em suma, o Artigo A39 foi incluído no estudo devido à sua metodologia inovadora para estimar as emissões de CO₂ e os custos associados à eletrificação da frota de autocarros, demonstrados por via do estudo de caso em Portugal que aborda os impactos ambientais e econômicos. Essa abordagem é particularmente pertinente para o contexto de Belém, ao fornecer visões sobre a viabilidade de descarbonizar a frota de ônibus urbanos, enfatizando a necessidade de reduzir as emissões de CO₂ e os custos relacionados. Além disso, o foco do artigo na neutralidade de carbono e no exame das externalidades negativas da operação da frota se alinha significativamente com as metas de sustentabilidade e descarbonização, conforme proposto pela COP 30.

3.2 Análise do Impacto Geodemográfico nas Frotas Elétricas: Portugal e RMB

No que diz respeito às duas localidades, a RMB e Portugal apresentam diferenças geográficas, demográficas e modais significativas, que impactam diretamente nas estratégias de planejamento para a mobilidade urbana sustentável. Belém, a capital do estado do Pará, situada na Amazônia brasileira, ocupa uma área de aproximadamente 1.059 km², com uma população estimada em cerca de 1,4 milhão de habitantes, que se distribui de maneira dispersa, com um forte predomínio de áreas periféricas. Esse padrão de ocupação resulta em uma configuração urbana fragmentada, onde grande parte da população vive em bairros afastados do centro, exigindo um planejamento de transporte mais abrangente para assegurar conectividade e acessibilidade (IPEA, 2016).

Além disso, a eficiência das baterias de veículos elétricos na RMB é influenciada pelas condições climáticas locais. Altas temperaturas e umidade, características da região, podem reduzir o desempenho das baterias e encurtar sua vida útil. Conforme estudos, temperaturas elevadas aceleram o desgaste das células de íons de lítio, prejudicando a capacidade de armazenamento de energia e, conseqüentemente, a autonomia dos veículos elétricos (CABRAL, 2023). Assim, consoante o artigo da Localiza Meo (2023), em regiões de baixa densidade populacional, como em certas áreas de Belém, a instalação de estações de recarga enfrenta dificuldades adicionais, impactando diretamente a operação de frotas elétricas.

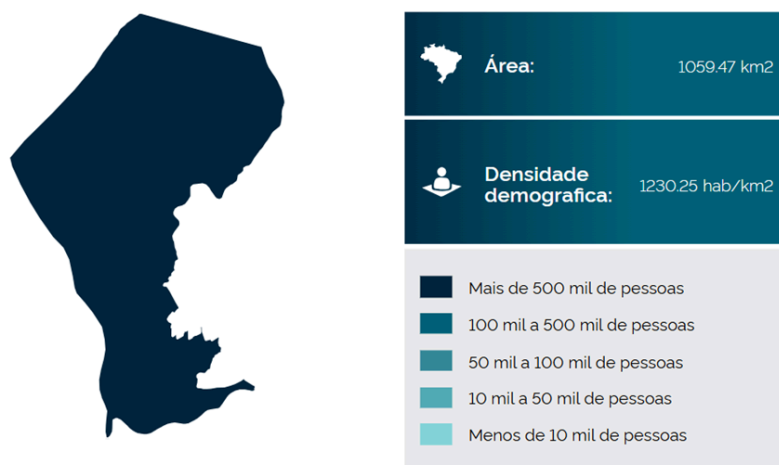
Em contraste, Portugal, com uma extensão total de 92.090 km² e uma população de cerca de 10,3 milhões de habitantes, apresenta uma distribuição populacional mais homogênea, concentrada principalmente em cidades médias e grandes como Lisboa e Porto. Essa configuração facilita a integração de sistemas de transporte e a implementação de tecnologias de mobilidade sustentável. Assim, os planejadores portugueses conseguem realizar alterações no transporte público de forma mais coordenada e eficiente, beneficiando-se da proximidade entre as cidades e da presença de uma infraestrutura intermunicipal mais desenvolvida (LUDOVIQUE *ET AL.*, 2024).

Na capital paraense, os desafios são ampliados pela dispersão territorial e pela predominância de áreas com baixa densidade populacional em certas regiões, tornando o transporte público menos eficiente e mais oneroso. Diferentemente do cenário português, onde existe um sistema de transporte público robusto e diversificado, Belém depende quase exclusivamente de ônibus e possui um sistema rodoviário que ainda enfrenta problemas estruturais e uma forte dependência de combustíveis fósseis. Essas disparidades na configuração urbana e na densidade demográfica indicam a necessidade de soluções adaptadas a cada contexto, com Belém necessitando de um planejamento mais específico que considere a dispersão e as particularidades geográficas da Amazônia. É evidente que a cidade enfrenta desafios significativos relacionados à infraestrutura e à gestão, com um sistema de transporte altamente dependente de ônibus a diesel e redes viárias frequentemente congestionadas (FADESP/UFPA, 2023; GABRIEL *ET AL.*, 2021; TOSTES, 2023).

O objetivo desta análise é demonstrar informativamente como a geografia local e a demografia influenciam diretamente a implementação de frotas elétricas. Em Belém, a dispersão territorial e a predominância de áreas com baixa densidade populacional exigem uma rede de recarga ampla e distribuída, impondo desafios logísticos e financeiros consideráveis. A fragmentação urbana resulta em trajetos mais longos e menos eficientes, demandando um planejamento robusto e adaptado às condições locais. Em contraste, Portugal, com uma geografia mais compacta e uma distribuição populacional mais homogênea, encontra um cenário mais favorável. A proximidade entre cidades e a infraestrutura intermunicipal desenvolvida facilitam instalar uma rede de recarga eficiente e a integração de veículos elétricos ao transporte público, permitindo uma gestão coordenada que maximiza a viabilidade e a eficiência das frotas elétricas. Enquanto Belém lida com desafios significativos devido à sua configuração urbana, Portugal se beneficia de condições muito

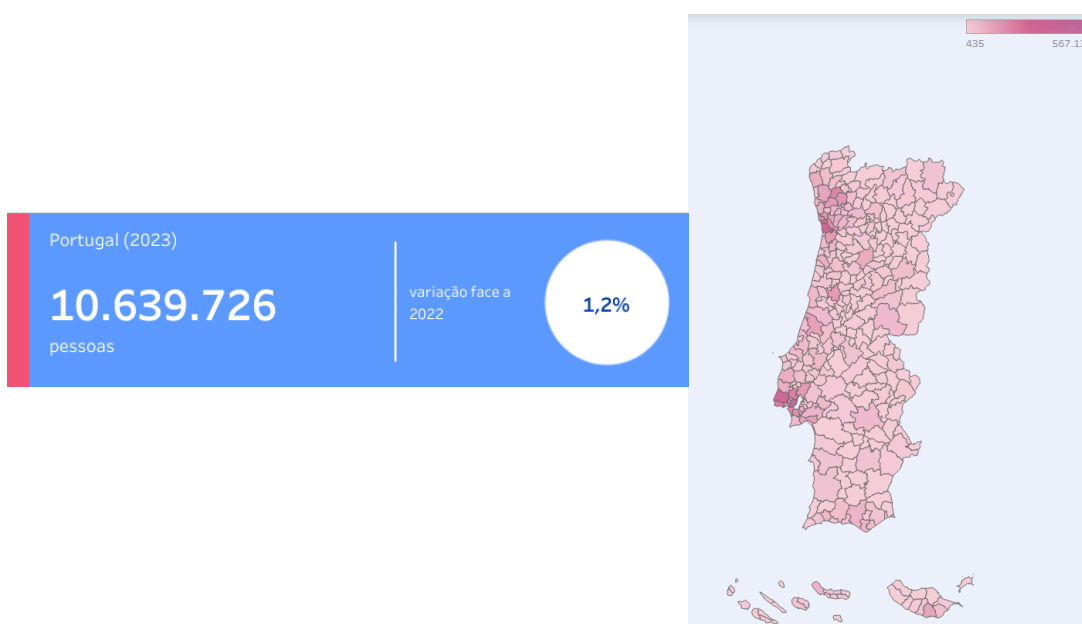
mais propícias para a adoção de tecnologias de mobilidade sustentável. A seguir os dados geográficos e demográficos da RMB e Portugal, na Figura 13 e 14.

Figura 13: Dados geográficos da RMB



Fonte: IBGE (2023)

Figura 14: Distribuição populacional de Portugal



Fonte: Por data (2023)

3.3 Descarbonização da Frota de Autocarros Urbanos: Metodologia e Resultados

O estudo selecionado aborda a descarbonização da frota urbana de autocarros em Portugal, visando alcançar zero emissões de CO₂ até 2034. A metodologia adotada pelos autores, Paulo J. G. Ribeiro e José F. G. Mendes é baseada na substituição gradual dos veículos movidos a combustíveis fósseis por autocarros elétricos a bateria (VEB) e autocarros elétricos a célula de combustível de hidrogênio (VHC). A metodologia inclui as seguintes etapas:

- Caracterização da Frota Existente

A análise inicial identificou a situação atual do transporte público no país. Em 2020, a frota urbana portuguesa era composta por 5.633 autocarros, dos quais 91% utilizavam gásóleo, 8% gás natural e apenas 1% eletricidade. A idade média da frota era de 15,9 anos, com a maioria dos veículos classificados como Euro III ou anteriores, evidenciando a urgência da renovação. A frota foi dividida em três categorias: mini-autocarros, autocarros convencionais e articulados, cujas idades médias eram de 11,6, 16,3 e 15,6 anos, respectivamente. A predominância de veículos movidos a combustíveis fósseis destaca a necessidade de modernização para atender às metas ambientais.

- Planejamento e Substituição

O cenário de substituição da frota de autocarros urbanos em Portugal é um componente para alcançar a descarbonização total até 2034. Este processo envolve o estabelecimento de critérios claros, um planejamento detalhado e um cronograma de substituição que garantam a transição eficiente para veículos de emissões zero.

Os critérios de abate e substituição da frota são necessários para assegurar que os autocarros mais antigos e poluentes sejam retirados de circulação. Nesse aspecto, a substituição da frota foi planejada com critérios claros de abate e renovação, priorizando veículos mais antigos e poluentes. Até 2028, toda a frota a combustíveis fósseis será substituída por VEBs e VHFCs, com exceção dos autocarros articulados, cuja substituição por

modelos movidos a hidrogênio terá início em 2024. Essa escolha se justifica pelas limitações de custo e eficiência operacional dos modelos a bateria para veículos de grande porte.

A transição exige também a adaptação das infraestruturas de carregamento e o planejamento energético adequado. A metodologia prevê que autocarros com mais de 14 anos sejam renovados, mantendo eficiência operacional e ambiental.

- Resultados da Descarbonização

Até 2034, espera-se que 83% da frota seja composta por VEBs e 17% por VHFCs. Isso resultará na redução de 87% nas emissões anuais de CO₂, equivalente a 4,1 milhões de toneladas de CO₂ evitadas. A economia gerada pela redução das emissões, considerando o valor do carbono no mercado europeu, será de aproximadamente 420 milhões de euros. A transição também impacta positivamente a qualidade do ar nas áreas urbanas, contribuindo para a saúde pública e mitigando doenças respiratórias relacionadas à poluição.

- Benefícios Ambientais e Econômicos

A eletrificação completa da frota de autocarros urbanos em Portugal apresenta benefícios ambientais e econômicos substanciais. A substituição da frota proporciona benefícios ambientais significativos, como a redução expressiva de emissões de gases de efeito estufa, e econômicos, como a economia gerada pela eliminação gradual de veículos a combustão. Durante o período de substituição, mais de 4 milhões de toneladas de CO₂ serão evitadas, representando não apenas um avanço nas metas climáticas, mas também uma solução para a poluição urbana e os impactos na saúde pública.

A implementação dessa metodologia até 2034 posiciona Portugal como um modelo na descarbonização do transporte público urbano, promovendo sustentabilidade ambiental e eficiência econômica. Esse plano pode servir de referência para outras regiões que buscam implementar políticas públicas de mobilidade urbana sustentável.

3.4 Resultados explorados na Análise SWOT

O transporte público em Belém está relacionado ao planejamento e à elaboração de propostas para a descarbonização, tido como um dos principais aspectos da construção de um futuro sustentável pelo PA (2023) e pelo Sumário (2023). Portanto, esta seção visa proceder com uma análise detalhada do cenário modal da cidade, a fim de entender os possíveis fatores que podem influenciar a transição para um sistema mais limpo e eficiente. Em poucas palavras, esta seção oferece informações preliminares sobre as vantagens potenciais tanto em termos ambientais quanto econômicos da descarbonização do transporte público na referida cidade. Esta discussão será fundamentada no relatório da Fundação de Amparo e Desenvolvimento da Pesquisa (FADESP), que retrata a situação da mobilidade urbana na RMB juntamente com outros estudos que afirmam os pontos levantados na análise e ajudará a aprofundar a segunda questão de pesquisa do tópico 4, formando a base para a análise SWOT. Pertence à nota de rodapé que, apesar de o relatório da FADESP não apresentar um cenário modal de Portugal, o exemplo de descarbonização da frota de ônibus portuguesa foi aproveitado neste trabalho como um ponto de comparação com a realidade de Belém. Assim, o relatório chama a atenção para fatores estruturais do sistema de transporte coletivo por ônibus, em particular a cobertura insuficiente, a superlotação e a precariedade dos veículos, todos prejudicando a qualidade de vida dos usuários e evidenciando a necessidade premente de investimentos em infraestrutura e renovação da frota.

No contexto de Belém, as forças internas, como a crescente conscientização sobre a necessidade de modernização e descarbonização do sistema de transporte, precisam ser maximizadas para impulsionar a transição para um modelo mais sustentável. Ao mesmo tempo, as fraquezas identificadas, como a precariedade da frota e a falta de integração entre modais, devem ser mitigadas. Conforme Dias *et al.* (2023), define fraquezas como variáveis controláveis que podem ser trabalhadas para evitar que prejudiquem o progresso da organização, sendo essencial, portanto, que essas questões sejam abordadas para facilitar a implementação de um transporte público mais eficiente.

As oportunidades externas, como a experiência de outros países na implementação de frotas elétricas, também devem ser aproveitadas para modernizar o transporte público. Desse

modo, ressaltam-se as oportunidades que surgem de situações externas que podem contribuir para o alcance dos objetivos organizacionais. Um exemplo concreto é a experiência portuguesa na descarbonização da frota de ônibus, que pode servir como modelo para Belém. Por outro lado, as ameaças, definidas como fatores incontrolláveis que podem prejudicar o desenvolvimento da organização, devem ser mitigadas para minimizar riscos e impactos negativos no processo de transição (DIAS *ET AL.*, 2023).

A análise SWOT, ao cruzar essas informações sobre forças, fraquezas, oportunidades e ameaças, possibilita que a organização formule estratégias eficazes para fortalecer sua gestão sustentável. Dessa maneira, Queiroz (2011) proferiu que o planejamento estratégico é um processo que envolve a análise criteriosa dos pontos fortes e fracos da organização, bem como das oportunidades e ameaças do ambiente externo, visando definir metas, estratégias e ações que viabilizem o alcance da missão. Além disso, como observa o ENAP (2019), essa análise contribui para a elaboração de planos e orçamentos públicos e para a gestão de riscos. Simultaneamente, a participação de diferentes *stakeholders*, garante uma visão abrangente e para que as ações implementadas possam ser revisadas e adaptadas às mudanças constantes do ambiente.

Tabela 37: Análise SWOT do Setor de Transportes na RMB

ANÁLISE SWOT	Contribui		Dificulta	
	para a Implementação total da transição da frota elétrica		a Implementação total da transição da frota elétrica	
Fatores Internos	PONTOS FORTES		PONTOS FRACOS	
	+	Compromisso com o desenvolvimento sustentável; Potencial de investimento em energias renováveis; Reconhecimento da importância do transporte público;	—	Deficiências na infraestrutura de transporte; Dependência do transporte individual motorizado; Desigualdades socioespaciais;
Fatores Externos	OPORTUNIDADES		AMEAÇAS	
	+	A COP 30 como catalisador de investimentos; Avanços tecnológicos e redução de custos; Melhoria da qualidade do ar e redução das emissões; Incentivos governamentais e políticas de apoio.	—	Custos de implementação elevados; Resistência da população e desconhecimento sobre a tecnologia; Dependência de energia elétrica e risco de interrupções no fornecimento; Impacto da verticalização na capacidade de recarga;

Fonte: FADESP/UFPA (2023); Ribeiro, Mendes (2022) adaptado por Autores (2024)

Em Belém, há um notável compromisso com o desenvolvimento sustentável. A administração da cidade tem demonstrado preocupação com a sustentabilidade e está buscando ativamente soluções para a crise climática, conforme destacado na revisão do Plano Diretor de 2008. Este plano enfatiza a redução das desigualdades socioespaciais, a melhoria da qualidade de vida e a elaboração de estratégias para a transição ecológica e climática. Além disso, Belém se prepara para sediar a COP-30 em 2025, o que reforça ainda mais sua dedicação às questões ambientais. Além disso, a preparação de Belém para a COP-30 reflete uma postura proativa em relação às ações climáticas. Tais iniciativas reforçariam o potencial de Belém de ser reconhecida como uma cidade sustentável modelo (RIBEIRO; MENDES, 2022); (FADESP/UFPA, 2023).

Uma vantagem significativa diz respeito ao potencial de investimentos em energia renovável, especialmente energia solar. Esse recurso poderia ser aproveitado para alimentar estações de carregamento de ônibus elétricos, diminuindo assim as emissões de carbono e

fornecendo uma alternativa econômica de longo prazo (LIMA, 2023; RIBEIRO; MENDES, 2022).

Segundo Maia *et al.* (2021), Belém é identificada como uma das principais cidades da região amazônica com considerável potencial de energia solar, o que poderia facilitar o estabelecimento de infraestrutura de recarga para veículos elétricos. Dessa maneira, conforme Lusa (2023), o Brasil tem se concentrado em aumentar o número de estações de recarga rápida e ultrarrápida para veículos elétricos. Além disso, a Transporte Inovação e Sistema (2023), observa que o aumento do número de estações de carregamento rápido e ultrarrápido – semelhante aos desenvolvimentos observados em outras regiões – está alinhado com projetos em andamento, como a integração de painéis solares em ônibus. Essa integração ajudaria a diminuir a dependência de fontes de energia não renováveis, o que poderia beneficiar a cidade.

O reconhecimento do papel do transporte público na Região Metropolitana de Belém é um ponto positivo. Conforme a Fundação de Amparo e Desenvolvimento da Pesquisa (2023 (FADESP/UFPA), há uma necessidade de modernização e integração do sistema de transporte público na região. A transição para uma frota de ônibus elétricos é vista como uma oportunidade para melhorar a qualidade do transporte e promover a sustentabilidade urbana.

No entanto, existem desafios a serem superados. Como evidenciado na análise SWOT, a infraestrutura de transporte em Belém possui deficiências notáveis, incluindo a falta de integração entre diferentes modos de transporte e serviços públicos inadequados (FADESP/UFPA, 2023). Assim como ocorreu em Portugal, onde a eletrificação da frota demandou investimentos significativos em infraestrutura de carregamento e sistemas de suporte, Belém provavelmente enfrentará problemas semelhantes que requerem consideráveis aportes financeiros tanto do setor público quanto do privado.

Outro ponto negativo é a elevada dependência do transporte individual motorizado, que decorre da qualidade insatisfatória dos serviços de transporte público. Isso dificulta a mobilidade da população e intensifica os problemas relacionados ao congestionamento e à poluição. O sistema de transporte coletivo em Belém tem uma cobertura restrita, especialmente nas áreas periféricas e nas ilhas, o que agrava essa dependência. A configuração do transporte é centrada no bairro com foco no centro da cidade; a maioria das

linhas converge para essa área central, limitando as viagens diretas entre os bairros e promovendo o uso de veículos particulares.

A pandemia de COVID-19 e o aumento da popularidade de aplicativos de transporte, como Uber e 99, contribuíram para uma redução na frota de ônibus e no número de passageiros do transporte coletivo. Essa situação afeta diretamente a mobilidade da população de baixa renda, que frequentemente não dispõe de recursos para arcar com os custos do transporte individual. Isso resulta em imobilidade e acentua as desigualdades sociais ao restringir o acesso a empregos, educação e saúde (FADESP/UFPA, 2023). Dessa forma, tornar viável a transição para uma frota elétrica se torna um desafio considerável sem mudanças significativas nos comportamentos dos moradores ou uma aceitação ampla dos veículos elétricos.

A desigualdade socioespacial é uma questão presente na Região Metropolitana de Belém, caracterizada por disparidades no acesso a serviços e infraestrutura, particularmente evidente nas áreas periféricas onde o transporte público de qualidade é limitado (FADESP/UFPA, 2023). Ao contrário de Portugal, que obtinha uma rede de transportes mais estabelecida durante a sua mudança para os veículos elétricos, Belém ainda necessita de melhorias consideráveis na sua infraestrutura de transportes.

Consequentemente, para que a melhoria de uma frota elétrica seja eficaz, é essencial abordar estas desigualdades e garantir que todos os cidadãos acessem a um sistema mais sustentável (RIBEIRO E MENDES, 2022).

Além disso, o relatório indica que as ciclovias e ciclofaixas existentes em Belém muitas vezes correm ao lado de corredores de tráfego, comprometendo a segurança dos ciclistas - especialmente em estradas com grande fluxo de veículos; a falta de planejamento e investimento em infraestrutura cicloviária adequada contribui para a insegurança e desestimula o uso da bicicleta como meio de transporte. Além disso, a ausência de financiamento para opções de transporte não motorizado, como ciclovias e percursos pedestres, representa uma limitação significativa. Esses modos alternativos poderiam complementar a frota elétrica e promover uma mobilidade mais sustentável na região, desempenhando um papel crucial para alcançar a justiça (FADESP/UFPA, 2023). Assim, a transição para uma frota elétrica deve ser executada equitativamente para beneficiar todos os moradores.

Por outro lado, sediar a COP-30 apresenta uma oportunidade significativa para Belém; este evento pode atrair novos investidores e estimular iniciativas de transporte sustentável semelhantes às observadas em Portugal, onde os incentivos governamentais desempenharam um papel crucial na modernização de suas frotas. Dessa maneira, a COP-30 pode atuar como um catalisador de projetos inovadores focados na mobilidade urbana sustentável (FADESP/UFPA, 2023).

A melhoria da qualidade do ar e a redução das emissões de gases de efeito estufa são outros potenciais benefícios, resultando na eletrificação da frota podendo reduzir significativamente a emissão de poluentes. Como, por exemplo, em Portugal, houve uma queda de 80% nas emissões de CO₂ nos primeiros cinco anos. Para Belém, essa medida pode contribuir significativamente para melhorar a qualidade do ar, especialmente em áreas densamente povoadas, onde os problemas de saúde associados à poluição atmosférica são mais agudos (ASSUMPÇÃO *ET AL.*, 2019; FADESP/UFPA, 2023; RIBEIRO; MENDES, 2022).

Nesse sentido, as políticas públicas de incentivo à eletrificação do transporte, como subsídios para a compra de veículos elétricos e investimentos em infraestrutura de recarga, também podem acelerar essa transição (PNME, 2024). A partir desse cenário, O projeto PROMOB-e visa apoiar o Brasil a estabelecer as condições para a difusão da mobilidade elétrica, contribuindo para a formulação e implantação de políticas públicas voltadas ao setor, políticas regulatórias para veículos e combustíveis limpos, cotas de veículos limpos, normas de eficiência de combustível, normas de combustível limpo que dão crédito aos veículos elétricos. Na capital paraense, o governo do Pará, em parceria com a Assembleia Legislativa do Pará (ALEPA), aprovou a criação do Fundo Estratégico do Sistema Integrado de Transporte Público da Região Metropolitana de Belém (SIT/RMB), consoante com O Liberal (2024), esta iniciativa visa a aquisição de veículos elétricos para renovar e ampliar a frota de transporte coletivo.

Porém, há ameaças que precisam ser consideradas. Os custos de implementação de uma frota elétrica em Portugal são considerados elevados, especialmente devido ao investimento em novos veículos, infraestrutura de carregamento e formação de pessoal. No entanto, políticas de incentivo, como isenções fiscais e subsídios, reduzem significativamente esses custos, que a longo prazo apresenta longevidade dos benefícios fiscais e a

competitividade dos preços dos combustíveis renováveis para a rentabilidade do sistema. Além disso, os custos de manutenção dos veículos elétricos tendem a ser menores do que os de veículos a combustão, compensando o investimento inicial (TIS, 2023; LOPES, 2023).

Semelhantemente, os custos de implementação de uma frota elétrica em Belém também são elevados, mas existem iniciativas iniciais para mitigar esses custos. Em fevereiro de 2024, o governo do Pará recomendou 40 ônibus elétricos para integrar o BRT da região metropolitana até a COP-30, com um investimento de aproximadamente R\$ 120 milhões (LIMA, 2023). Na capital paraense, iniciou-se o processo de eletrificação, claro que a meta é a descarbonização caminhando rumo a frota total elétricas e, para isso, outros países, como Portugal já está mais avançado em suas políticas públicas que incentivam essa meta a ser alcançada pelo setor de transportes, comumente, amenizando os custos elevados de implementação de frota elétrica total na RMB.

Outro risco envolve a resistência da população à adoção de veículos elétricos, devido ao custo inicial elevado e à falta de familiaridade com a tecnologia, pode atrasar esse processo. Como em Portugal, onde houve resistência inicial à adoção de ônibus elétricos devido ao custo e à falta de familiaridade com a tecnologia (MARQUES, 2024). Consoante a PNE (2020) e Freitas *et al.* (2023), Belém também pode enfrentar desafios de aceitação pública, especialmente com relação ao custo dos novos ônibus e à infraestrutura de suporte, bem como, a dependência de energia elétrica, já que interrupções no fornecimento, comuns em algumas áreas da cidade, poderiam afetar o funcionamento da frota.

Por último, a crescente verticalização em Belém, especialmente em áreas com maior densidade populacional, pode dificultar a instalação de pontos de recarga individuais para os moradores de apartamentos. Nesse caso, seria necessário buscar soluções criativas para garantir a acessibilidade à infraestrutura de recarga em áreas densamente povoadas (FADESP/UFPA,2023).

Em síntese, Belém apresenta um cenário promissor para a eletrificação de sua frota de transporte público, com fortes compromissos com o desenvolvimento sustentável e um potencial considerável para investimentos em energias renováveis. No entanto, obstáculos relacionados à infraestrutura, desigualdades socioespaciais e resistência da população precisam ser enfrentados para a transição seja bem-sucedida; A COP-30 representa uma oportunidade única para a cidade atrair investimentos e impulsionar iniciativas inovadoras,

enquanto as ameaças relacionadas aos custos e à dependência de energia elétrica devem ser mitigadas por meio de políticas públicas eficazes e investimentos em infraestrutura.

- **Discussão com limitações e recomendações sobre a Análise SWOT**

Das causas a efeitos, este tópico apresenta as limitações da Análise SWOT que precisam ser consideradas ao aplicá-la. Uma das principais limitações é o foco interno e externo limitado, podendo não equilibrar adequadamente a análise interna (forças e fraquezas) e a análise externa (oportunidades e ameaças), resultando em uma visão incompleta da situação. Por natureza, a SWOT segmenta as informações em quatro quadrantes (forças, fraquezas, oportunidades e ameaças). Esse formato pode levar a uma análise que não equilibra adequadamente os aspectos internos e externos de uma situação, resultando na simplificação exacerbada das complexidades e deixando de considerar como esses fatores internos e externos interagem entre si. Por exemplo, uma força interna pode influenciar a capacidade de aproveitar uma oportunidade externa, mas a SWOT não detalha essas inter-relações. Isso pode resultar em uma visão incompleta ou superficial da situação, que não capta a verdadeira complexidade do contexto.

Ao focar nas forças e fraquezas internas, como o compromisso com a sustentabilidade e a infraestrutura de transporte, pode haver uma subestimação ou simplificação das oportunidades e ameaças externas, como os avanços tecnológicos e as políticas públicas. Isso pode resultar em uma visão incompleta do cenário analisado, uma vez que as inter-relações entre esses fatores não são suficientemente exploradas. Assim, a análise pode deixar de considerar como as políticas externas e avanços tecnológicos (oportunidades) podem ser alavancados pelas forças internas da cidade ou como as fraquezas internas podem ser mitigadas frente às ameaças externas, como a resistência da população à adoção de veículos elétricos.

No que tange às recomendações, a combinação com a análise PESTEL (Política, Econômica, Social, Tecnológica, Ambiental e Legal) pode aprofundar a compreensão dos fatores externos que impactam sua análise. Isso ajudaria a equilibrar a avaliação interna e externa, oferecendo uma visão mais completa e detalhada para um diagnóstico e, posteriormente, tomada de decisão.

- **Discussão das Diretrizes para a Mobilidade Sustentável**

Nesta seção, são apresentadas as principais diretrizes identificadas em estudos acadêmicos para apoiar a transição de Belém do Pará para uma frota de transporte público totalmente elétrica. Essas diretrizes, sintetizadas em uma tabela, foram extraídas de experiências nacionais e internacionais e incluem estratégias econômicas, ambientais e técnicas adaptáveis à realidade local.

As diretrizes destacam práticas bem-sucedidas, como o modelo de financiamento *ChaaS*, que facilita a eletrificação com viabilidade financeira, permitindo mudanças estruturais escalonadas. Também são enfatizadas medidas como planejamento técnico otimizado e incentivos fiscais, que criam condições favoráveis para a adoção de tecnologias sustentáveis.

Do ponto de vista ambiental, ações como o uso de fontes renováveis de energia, monitoramento contínuo de emissões e regulamentações eficazes têm demonstrado resultados positivos na redução de gases de efeito estufa, alinhando a mobilidade urbana às metas globais de descarbonização. Como ilustrado na matriz SWOT, Belém enfrenta desafios como limitações de infraestrutura sustentável.

A análise inclui ainda exemplos de cidades líderes, como Portugal e Equador, que implementaram soluções como corredores exclusivos, terminais com infraestrutura de recarga e substituição gradual de frotas a combustão por veículos elétricos. Essas práticas servem de inspiração para ações concretas no contexto paraense. Adiante, como ilustrado na Tabela 38.

Tabela 38: Diretrizes Estratégicas para a Transição Elétrica na RMB

ARTIGO		PRINCIPAIS DIRETRIZES
A77	Transportation and electricity systems integration via electric vehicle charging-as-a-service: A review of techno-economic and societal benefits	Modelo de financiamento ChaaS; Planejamento técnico; Políticas de eficiência energética.
A3	Aggregator-supported strategy for electric bus fleet charging: A hierarchical optimisation approach	Estratégia de carregamento otimizada (ChaaS); Infraestrutura eficiente; Gestão de demanda energética.
A117	Cidades inteligentes e o transporte urbano sustentável com bioenergia: um estudo de caso de Curitiba, Brasil	Foco em mobilidade sustentável; Uso de energia limpa; Parcerias para inovação tecnológica.
A4	Life-Cycle analysis of economic and environmental effects for electric bus transit systems	Análise de ciclo de vida (ACV); Infraestrutura adaptativa; Incentivos financeiros.
A30	Análise de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Transporte Público de Curitiba: Ônibus Híbridos Brasileiros e Sustentabilidade	Substituição gradual da frota; Corredores exclusivos; Uso de híbridos como solução intermediária.
A118	Mobilidade urbana sustentável: breves considerações sobre planos e práticas nas cidades latino-americanas	Adaptação de práticas de cidades líderes; Fortalecimento dos PMUs; Priorização do transporte coletivo.
A10	Comparative analysis of the performance, environmental impact, and costs of electric, combustion, and gas buses in an operating context of a mid-sized city of an emerging country	Ferramentas de análise de sensibilidade para rotas; Infraestrutura compartilhada; Recarga noturna para eficiência.
A65	Socio-Economic and Environmental Analyses of Sustainable Public Transport in the Philippines	Subsídios fiscais; Infraestrutura de carregamento; Educação pública e capacitação.
A33	Comparative Analysis of Sustainable Electrification in Mediterranean Public Transportation	Integração de fontes renováveis; Recarga sem fio; Planejamento econômico.
A39	Towards Zero CO2 Emissions from Public Transport: The Pathway to the Decarbonization of the Portuguese Urban Bus Fleet	Planejamento de cenários; Indicadores de desempenho; Estímulo à energia renovável.
A75	Public Transport Decarbonization: An Exploratory Approach to Bus Electrification	Planejamento técnico com dados; Parcerias público-privadas; Incentivos financeiros.
A41	Movilidad Eléctrica y Eficiencia Energética en el Sistema de Transporte Público del Ecuador un Mecanismo para Reducir Emisiones de CO2	Estratégia de corredores exclusivos; Recarga em terminais; Monitoramento de emissões.
A44	Electromovilidad y Eficiencia Energética en el Transporte Público de Pasajeros del Ecuador Continental	Planejamento regulatório eficiente; Incentivos econômicos; Estratégias com biocombustíveis e elétricos.

Fonte: Autores (2024)

4. CONCLUSÃO

Este estudo identificou caminhos estratégicos para a transição de Belém do Pará rumo a uma frota de transporte público sustentável, alinhada às metas globais de descarbonização. Nesse contexto, as diretrizes apresentadas oferecem um guia prático para gestores e formuladores de políticas enfrentarem os desafios locais, impulsionando melhorias significativas nos indicadores de mobilidade urbana da cidade.

A 74ª posição de Belém no ranking de mobilidade urbana da Connected Smart Cities em 2023 reforça a urgência de medidas concretas. Com avanços em eficiência energética, transporte público de qualidade e redução de emissões, Belém tem o potencial de melhorar sua posição no ranking e se tornar referência em mobilidade sustentável.

Experiências internacionais comprovam que a substituição gradual de frotas a combustão por veículos elétricos é benéfica como menor emissão de gases de efeito estufa, melhora na qualidade do ar, e economia a longo prazo. Em Belém, superar desafios como a falta de dados atualizados e a capacitação de profissionais é chave para criar as condições necessárias para uma transição bem-sucedida.

Com a proximidade da COP-30, a ser sediada no Brasil em 2025, a RMB pode implementar políticas públicas alinhadas às diretrizes globais a fim de fortalecer sua infraestrutura de transporte, aumentar sua competitividade e estabelecer a cidade como referência em sustentabilidade para o país.

Portanto, apesar das ameaças e fraquezas, que Belém possui o potencial de superar sua posição atual no ranking de mobilidade urbana e se destacar como exemplo de inovação e sustentabilidade urbana, não apenas no Brasil, mas também no cenário internacional.

5. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F.R. *et al.* Ferramenta de avaliação técnico-econômica de ônibus elétricos urbanos municipais. *Boletim de Conjuntura*, n. 9, p. 13-18, 2019.

ALVES, G.P. **Políticas de eficiência energética: estudo do cenário nacional, benefícios, impactos e propostas de aperfeiçoamento.** 2023.

AMARO G.D.; JUNIOR, F.R.L. **Aplicação do método Fuzzy-TOPSIS no apoio à seleção de fornecedores “verdes”.** 2015. Disponível em: <https://engemausp.submissao.com.br/17/anais/arquivos/83.pdf>.

ASSUMPÇÃO, M.P.D. *et al.* **Balço de carbono em cidades da Amazônia: estudo de caso em Belém, Brasil. urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 11, p. e20180186, 2019.

BARROS, A. *et al.* **Descaracterização da paisagem rural: consequências e desafios para as comunidades rurais. Revista Tópicos**, v. 2, n. 12, p. 1-12, 2024.

CABRAL, J. **Como o calor pode prejudicar as baterias dos carros elétricos e híbridos.** *Quatro Rodas*, 2023. Disponível em: <https://quatrorodas.abril.com.br/carros-eletricos/como-o-calor-prejudica-as-baterias-dos-carros-eletricos-e-hibridos/>. Acesso em: 29 out. 2024.

CAPES. **Portal de Periódicos**. Plataforma de periódicos científicos. Brasília: CAPES, 2023. Disponível em: <http://www.periodicos.capes.gov.br>.

CAVALCANTE, V. F. do R *et al.* **Systematic review of literature on gamification in higher education in administration and accounting sciences**. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 10, p. e590111032277, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i10.32277. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/32277>. Acesso em: 7 dez. 2024.

CHEN, C. T. **Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment**. *Fuzzy Sets and Systems*, v. 114, n. 1, p. 1-9, 2000. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0165-0114\(97\)00377-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0165-0114(97)00377-1).

CONNECTED SMART CITIES. **Descubra o futuro da mobilidade: levantamento 100+ Connected Smart Cities em parceria com o Mobilidade Estadão. 2024**. Disponível em: <https://portal.connectedsmartcities.com.br/2024/01/23/descubra-o-futuro-da-mobilidade-levantamento-100-connected-smart-cities-em-parceria-com-o-mobilidade-estadao/>. Acesso em: 16 out. 2024.

CRESWELL, J.W. **A concise introduction to mixed methods research**. SAGE Publications, 2021.

DIAS, L.A. *et al.* **MATRIZ DE SWOT: ESTUDO DE CASO NO SETOR DE ÔNIBUS DA REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO DURANTE A PANDEMIA DA COVID-19**. *Projectus*, v. 6, n. 2, p. 1-10, 2021.

EISENBERG, T. *et al.* **De Santiago a Shenzhen como os ônibus elétricos estão movendo as cidades. 2024**. Disponível em: https://itdp.org/wp-content/uploads/2021/09/e-bus_PT_Report_SINGLEPAGE.pdf.

EISENKRAEMER, P.H. **Metodologia para análise de impacto de veículos elétricos em redes de distribuição de energia elétrica. 2022**.

ENAP - Escola Nacional de Administração Pública. **Ciclo de gerenciamento de riscos. 2019**. Disponível em: <https://repositorio.enap.gov.br/bitstream/1/4090/1/Modulo%203-Ciclo%20de%20Gerenciamento%20de%20Riscos.pdf>. Acesso em: 15 out. 2024.

FADESP/UFPA. **Relatório do Diagnóstico do Município de Belém e Atlas de Mapas Temáticos. 2023**. Disponível em: <https://planodiretor.belem.pa.gov.br/wp-content/uploads/2024/09/P2-FADESP-RELATORIO-DIAGNOSTICO-E-MAPAS-TEMATICOS.pdf>. Acesso em: 13 out. 2024.

FARIA RODRIGUES, T. D. de F. *et al.*. **As pesquisas qualitativas e quantitativas na educação**. *Revista Prisma*, v. 2, n. 1, p. 154-174, 2021.

FINK, A. **Conducting research literature reviews: from the internet to paper**. SAGE Publications, 2019.

FREITAS, N.S.D. *et al.* **Potencial energético para geração de energia elétrica a partir de resíduos sólidos urbanos em Belém do Pará: revisão de literatura. 2023**.

GABRIEL, A. *et al.* **Dispersão urbana e transporte público na região metropolitana de Belém: uma análise de Castanhal e Santa Izabel do Pará**. *IHGP*, v. 8, n. 1, 2021. DOI: 10.17648/IHGP.V8I1.191.

GALVÃO, T.F. *et al.* **Principais itens para relatar revisões sistemáticas e meta-análises: a recomendação PRISMA**. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v. 24, p. 335-342, 2015.

GAMA, J. V. H. **Transição energética no setor automobilístico. 2022**. Trabalho de Graduação.

GOOGLE SCHOLAR. **Academic Research Database. 2024**. Disponível em: <https://scholar.google.com>.

GUSENBAUER, M.; HADDAWAY, N. R. **Which academic search systems are suitable for systematic reviews or meta-analyses? Evaluating retrieval qualities of Google Scholar, PubMed, and 26 other resources.** *Research Synthesis Methods*, v. 11, n. 2, p. 181-217, 2020.

GUTIÉRREZ, E.P. **Governança das mudanças climáticas em Santos-SP e cobertura na mídia impressa regional: uma análise relacional entre 2015 e 2020.** 2021. Tese de Doutorado.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua trimestral.** 2023. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6472>.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Governança Metropolitana no Brasil: análise comparativa das funções públicas de interesse comum. Região Metropolitana de Belém.** 2016. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/redeipea/images/pdfs/governanca_metropolitana/160128_relatorio_rm_belem.pdf.

JUNIOR, I. M. L. *et al.* **Riscos, complexidade e incertezas na cadeia de suprimentos: uma revisão sistemática de literatura.** P2P E INOVAÇÃO, v. 7, n. 2, p. 277-294, 2021.

LEI Nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012. **Política Nacional de Mobilidade Urbana.** Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112587.htm.

LIMA, J.F.M. **Análise de viabilidade para o uso de veículos elétricos, com dimensionamento de posto de recarga para ônibus elétricos.** 2023.

LISBOA, G.H.G. **Estudo da transição do uso de combustíveis fósseis para energias renováveis no segmento de transporte.** 2023.

LOCALIZA MEOO. **Carros elétricos e meio ambiente: conheça os benefícios e futuros impactos desse movimento sustentável.** 2024. Disponível em: <https://meoo.localiza.com/blog/post/carros-eletricos-e-meio-ambientes?form=MG0AV3>.

LOPES, R. **A importância das frotas para a Mobilidade Elétrica em Portugal (Parte II).** 2022. Disponível em: <https://fleetmagazine.pt/mobilidade-eletrica-frotas-portugal/?form=MG0AV3>.

LUDOVIQUE, C. *et al.* Dinâmica da difusão da infraestrutura de recarga rápida para veículos elétricos em rodovias. *TDSE* 126 – *Gesel*, 2024. Disponível em: <https://gesel.ie.uftj.br/publicacao/tdse-126-dinamica-da-difusao-da-infraestrutura-de-recarga-rapida-para-veiculo-s-eletricos-em-rodovias/>. Acesso em: 12 nov. 2024.

LUNETTA, A. *et al.* Procedimentos metodológicos de classificação das pesquisas científicas. *Educere - Revista da Educação da UNIPAR*, v. 23, n. 1, p. 303-311, 2023.

LUSA. **UE adota regras para carregamento de veículos elétricos.** 2023. Disponível em: <https://eco.sapo.pt/2023/07/25/ue-adota-regras-para-estacoes-de-carregamento-de-veiculos-eletricos-e-abastecimento-a-hidrogenio/>. Acesso em: 15 out. 2024.

MAGALHÃES, W.R.D. ; LIMA, F.R. **A model based on FMEA and Fuzzy-TOPSIS for risk prioritization in industrial processes.** *Gestão & Produção*, v. 28, n. 4, p. e5535, 2021.

MAIA, A. L. A. *et al.* **Análise da morfologia urbana para geração de energia solar fotovoltaica em Belém - PA.** *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, v. 7, n. 1, 30 mar. 2021.

MARCHETTI, C. A. **Introdução à Revisão Sistemática de Literatura (RSL).** 2020. Disponível em: <https://www.bar.ufscar.br/arquivos/treinamento-rsl-ufscar.pdf>.

MARCONI, M.A. ; LAKATOS, E.M. **Fundamentos de metodologia científica**. 8. ed. 2. reimpr. São Paulo: Atlas, 2017. xx, 346 p. Inclui índice e bibliografia. ISBN 978-85-97-0100. Disponível em: <https://biblioteca.aneel.gov.br/acervo/detalhe/187717>. Acesso em: 16 dez. 2024.

MARQUES, S. **Autocarros elétricos em Portugal e o futuro da Mobilidade Urbana**. SM, 2024. Disponível em: <https://serafimmarques.com/autocarros-eletricos-em-portugal/?form=MG0AV3>. Acesso em: 29 out. 2024.

MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Dados digitais sobre transporte no Brasil podem auxiliar na elaboração do inventário nacional de gases de efeito estufa**. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2021/06/dados-digitais-sobre-transporte-no-brasil-podem-auxiliar-na-elaboracao-do-inventario-nacional-de-gases-de-efeito-estufa>.

MJ, McKenzie JE *et al.* **A declaração PRISMA 2020: uma diretriz atualizada para relatar revisões sistemáticas**. PLOS Medicine, v. 18, n. 3, p. e1003583, 2021.

NUNES, B. *et al.* **Aplicação de um modelo baseado no método TOPSIS para a seleção de fornecedores em uma usina siderúrgica**. 2023. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/bitstream/handle/123456789/4059/TFC%20BRUNO%20E%20MAIRA.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.

O LIBERAL, Belém. **ALEPA vota criação de fundo estratégico para ampliar sistema de transporte público de Belém**. O Liberal, Belém, 17 de janeiro de 2024. Disponível em: <https://www.oliberal.com/politica/alepa-vota-criacao-de-fundo-estrategico-para-ampliar-sistema-de-transporte-publico-de-belem-1.862313>. Acesso em: 15 out. 2024.

OLIVEIRA, V.G. ; SABINO, R.R. **Desafios e soluções para desenvolver a mobilidade urbana sustentável no Brasil**. 2022.

PA, B. **Inventário de emissões de gases de efeito estufa**. 2023. Disponível em: https://numeros.belem.pa.gov.br/wp-content/uploads/2024/01/RELATORIO-IEGEE_-BELEM_V4_240110_180752.pdf. Acesso em: 25 abr. 2024.

PAGE, M. J.; MOHER, D. **Evaluations of the uptake and impact of the Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses (PRISMA) Statement and extensions: A scoping review**. Systematic Reviews, v.6, n.1, p.1–14, 2017. <https://doi.org/10.1186/s13643-017-0663-8>.

PLANO DIRETOR DE BELÉM. **Prefeitura Municipal de Belém**. 2008. Disponível em: http://www.belem.pa.gov.br/planodiretor/Plano_diretor_atual/Lei_N8655-08_plano_diretor.pdf.

PNE - Plano Nacional de Energia 2050. **Ministério de Minas e Energia**. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf>.

PNME - Plano Nacional de Mobilidade Elétrica. Projeto PROMOB-e. **Estudo de Governança e Políticas Públicas para Veículos Elétricos: normas e regulamentos para a mobilidade elétrica no enquadramento do Brasil Análise internacional e propostas de N&R para o contexto brasileiro**. 2020. Disponível em: <https://pnme.org.br/wp-content/uploads/2020/07/Normas-e-regulamentos-para-mobilidade-eletrica-no-enquadramento-do-Brasil-1.pdf>.

PRIGOL, E. L.; BEHRENS, M. A. **Teoria fundamentada: metodologia aplicada na pesquisa em educação**. *Educação & Realidade*, v. 44, n. 3, p. e84611, 2019.

PORDATA. **Densidade populacional**. Disponível em: <https://www.pordata.pt/pt/estatisticas/populacao/populacao-residente/densidade-populacional>.

QUEIROZ, F.C.B.P. *et al.* **Gestão estratégica e financeira das instituições de ensino superior: um estudo de caso.** 2011.

RIBEIRO, P. J. G.; MENDES, J. F. G. **Towards Zero CO₂ Emissions from Public Transport: The Pathway to the Decarbonization of the Portuguese Urban Bus Fleet.** *Sustainability*, v. 14, n. 15, p. 9111, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14159111>.

ROEVER, L. *et al.* **Compreendendo o GRADE: PICO e qualidade dos estudos.** *Revista da Sociedade Brasileira de Clínica Médica*, v. 19, n. 1, p. 54-61, 2021.

SCIELO: Scientific Electronic Library Online. Site da Internet. Disponível em: <http://www.scielo.org/>.

SILVA, A. N. R. , 2015 . **Desafios e perspectivas para a mobilidade urbana sustentável** . Disponível em: <https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/768/537>.

SCIMAGO. **Scimago journal & country rank.** 2022. Disponível em: <https://www.scimagojr.com/>. Acesso em: 26 set. 2024.

SUMÁRIO, P. **Inventário de emissões de gases de efeito estufa.** 2023. Disponível em: <https://numeros.belem.pa.gov.br/wp-content/uploads/2024/01/Sumario-Executivo-IEGEE-Belem-Final-DIGITAL.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2024.

TOSTES, L. **Transporte público em Portugal: guia completo para usar.** 2023. Disponível em: <https://www.euodicas.com.br/transporte-publico-em-portugal/>.

TRANSPORTE INOVAÇÃO E SISTEMA – TIS. **Estudo sobre infraestruturas de carregamento de apoio à transição energética da mobilidade em Portugal.** 2023. Disponível em: https://www.mobie.pt/documents/42032/140624/Estudo_Mobilidade_Portugal.pdf. Acesso em: [data].

VARGA, B.O. *et al.* **Aspectos ambientais diretos e indiretos de uma frota de autocarros elétricos em serviço.** *Energias*, v. 13, p. 336, 2020.

ZADEH, L.A. **Fuzzy sets.** *Information and Control*, v. 8, n. 3, p. 338-353, 1965. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X).



Centro de Ciências Naturais e Tecnologia Curso de
Graduação em Engenharia de Produção
Tv. Enéas Pinheiro, nº2626-Marco
CEP: 66095-100 Belém-PA
www.uepa.br