

Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Programa de Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas

**CICLOGÍSTICA: AVALIAÇÃO DO
USO DE BICICLETAS ELÉTRICAS
NA LOGÍSTICA DE ÚLTIMA MILHA
NAS OPERAÇÕES POSTAIS**

Frank Schneider Carvalho de Moura

2023

**CICLOLOGÍSTICA: AVALIAÇÃO DO USO DE BICICLETAS
ELÉTRICAS NA LOGÍSTICA DE ÚLTIMA MILHA NAS
OPERAÇÕES POSTAIS**

Frank Schneider Carvalho de Moura

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas.

Orientadora: Prof. Maria José Pereira Dantas,
Dra.

Goiânia

Setembro de 2023

Catálogo na Fonte - Sistema de Bibliotecas da PUC Goiás

M929c Moura, Frank Schneider Carvalho de.
Ciclogística : avaliação do uso de bicicletas elétricas
na logística de última milha nas operações postais
/ Frank Schneider Carvalho de Moura.-- 2023.
114 f.: il.

Texto em português, com resumo em inglês.
Orientadora: Prof.^a Dr.^a Maria José Pereira Dantas.
Dissertação (mestrado) -- Pontifícia Universidade
Católica de Goiás, Escola Politécnica, Goiânia, 2023.

Inclui referências: f. 104-113.

1. Bicicletas. 2. Serviço postal. 3. Cidades inteligentes.
4. Logística. I. Dantas, Maria José Pereira. II. Pontifícia
Universidade Católica de Goiás - Programa de Pós-Graduação
em Engenharia de Produção e Sistemas - 26/09/2023.
III. Título.

CDU: Ed. 2007 -- 656.87:656.183.5(043)

CICLOLOGÍSTICA: AVALIAÇÃO DO USO DE BICICLETAS ELÉTRICAS NA LOGÍSTICA DE ÚLTIMA MILHA NAS OPERAÇÕES POSTAIS

Frank Schneider Carvalho de Moura

Esta Dissertação julgada adequada para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas, e aprovada em sua forma formal final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Pontifícia Universidade Católica de Goiás em novembro de 2023.

Documento assinado digitalmente
 **MARCOS LAJOVIC CARNEIRO**
Data: 29/01/2024 16:01:30-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Professor Marcos Lajovic Carneiro, *Dr.*
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção e Sistemas

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **MARIA JOSE PEREIRA DANTAS**
Data: 31/01/2024 12:25:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Professora Maria José Pereira Dantas, *Dra.*
Orientadora

Documento assinado digitalmente
 **ANTONIO PASQUALETTO**
Data: 30/01/2024 14:38:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Professor Antonio Pasqualetto, *Dr.*

Documento assinado digitalmente
 **ANDRE LUIZ NASCIMENTO REIS**
Data: 30/01/2024 08:34:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

André Luiz Nascimento Reis, *Dr.*

Goiânia – Goiás

SETEMBRO DE 2023

DEDICATÓRIA

Aos meus filhos, Guilherme e Leonardo, razão maior da minha existência.

À minha esposa, Línik, minha maior inspiração.

À minha mãe, Dona Lucia, que me deu a vida e me ensinou a vivê-la com dignidade.

AGRADECIMENTOS

Obrigado professora Maria José, pelos ensinamentos, incentivo e inspiração.

Agradeço também aos colegas de trabalho pelo apoio, e aos gestores dos Correios, que autorizaram minha atuação como pesquisador interno na empresa.

Por fim, e não menos importante, obrigado aos colegas de turma, demais professores e colaboradores do Programa de Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas (PPGEPS), que ajudaram a tornar o sonho de ser mestre possível.

*Emoção na cidade.
Chegou telegrama para Chico Brito.
Que notícia ruim,
Que morte ou pesadelo
Avança para Chico Brito no papel dobrado?*

*Nunca ninguém recebe telegrama
Que não seja de má sorte. Para isso foi inventado.*

*Lá vem o estafeta com rosto de Parca
Trazendo na mão a dor de Chico Brito.
Não sopra a ninguém.
Compete a Chico
Descolar as dobras
De seu infortúnio.*

Telegrama telegrama telegrama.

*Em frente à casa de Chico Brito o voejar murmure
De negras hipóteses confabuladas.
O estafeta bate à porta.
Aparece Chico, varado de sofrimento prévio.
Não lê imediatamente.
Carece de um copo de água
E de uma cadeira.
Pálido, crava os olhos
Nas letras mortais:*

*Queira aceitar efusivos cumprimentos passagem
Data natalícia espero contar valioso apoio
Distinto amigo minha reeleição deputado
Federal quinto distrito cordial abraço
Atanágoras Falcão.*

*(Carlos Drummond de Andrade. Telegrama, in
Jornal do Brasil. Rio de Janeiro, 8/7/72).*

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGEPS/ PUC Goiás como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas (M. Sc.).

CICLOLOGÍSTICA: AVALIAÇÃO DO USO DE BICICLETAS ELÉTRICAS NA LOGÍSTICA DE ÚLTIMA MILHA NAS OPERAÇÕES POSTAIS

Frank Schneider Carvalho de Moura

Setembro/2023

Orientador: Professora Maria José Pereira Dantas, *Dra.*

O contexto de cidades inteligentes, tendência de crescente relevância no direcionamento das estratégias de administradores públicos, de cidadãos e de empresas, gera a necessidade de investimento em soluções de logística de última milha mais amigáveis ao meio ambiente e integradas ao cenário urbano, especialmente em grandes cidades. O presente estudo, conduzido como pesquisa-ação, quantitativa e qualitativa, aplicada e descritiva, teve como base uma amostra das rotas percorridas por 27 bicicletas elétricas cargueiras dos Correios no Distrito Federal, que ficaram em uso por 1 ano, entre maio de 2021 e maio de 2022 na operação postal naquela localidade, avalia se o uso de bicicletas elétricas é mais produtivo nas rotas analisadas, simula o potencial de utilização nos Correios, além do ganho ambiental potencial dessa tecnologia no processo de última milha no serviço postal. A avaliação de viabilidade operacional e ambiental de investir na ciclogística, baseada em iniciativa de eletromobilidade com uso de bicicletas elétricas, como alternativa para melhorar o desempenho das entregas de correspondências e pequenas encomendas oriundas do *e-commerce*, buscou auxiliar o operador postal, e empresas de logística em geral, a direcionar suas ações estratégicas para um contexto de soluções que melhor integram a entrega de bens nos ambientes urbanos das grandes cidades. Com base na coleta de dados de rotas oriundos do sistema de georreferenciamento de percorridas dos Correios, e tratamento da base de dados com uma análise estatística, ancorada na linguagem Python, foi possível analisar indicadores de desempenho, sendo a quantidade de objetos por dia por cada carteiro e quantidade de objetos entregues por distância percorrida, os indicadores-chave adotados, possibilitando a simulação do uso expandido desse equipamento e o ganho ambiental das bicicletas elétricas na última milha dos Correios. O estudo comprovou a viabilidade operacional, com elevação em cerca de 40% na produtividade de entrega, e ambiental, com potencial de redução de 82 toneladas mensais de CO₂, além de uma simulação de expansão da tecnologia no serviço postal nacional, com indicativo de possibilidade de uso de cerca de 5.700 bicicletas elétricas nos Correios.

Palavras-chave: ciclogística, bicicleta elétrica, bicicleta cargueira, cidades inteligentes, *smart logistics*.

CYCLOLOGISTICS: EVALUATION OF THE USE OF ELECTRIC BIKES IN LAST MILE LOGISTICS IN POSTAL OPERATIONS

Frank Schneider Carvalho de Moura

September/2023

Supervisor: Maria José Pereira Dantas, *Dr.*

The context of smart cities, a trend of increasing relevance in directing the strategies of public administrators, citizens and companies, generates the need for investment in last-mile logistics solutions that are more environmentally friendly and integrated into the urban scenario, especially in large cities. The present study, conducted as action research, quantitative and qualitative, applied and descriptive, was based on a sample of the routes traveled by 27 electric cargo bicycles from Correios in the Federal District, which were in use for 1 year, between May 2021 and May 2022 in postal operation in that location, evaluates whether the use of electric bicycles is more productive on the routes analyzed, simulates the potential for use in the Post Office, in addition to the potential environmental gain of this technology in the last mile process in the postal service. The assessment of the operational and environmental feasibility of investing in cycle logistics, based on an electromobility initiative using electric bicycles, as an alternative to improving the performance of deliveries of correspondence and small parcels originating from e-commerce, sought to assist the postal operator, and logistics companies in general, to direct their strategic actions towards a context of solutions that better integrate the delivery of goods to urban environments in large cities. Based on the collection of route data from the Correios route georeferencing system, and treatment of the database with a structured statistical analysis anchored in the Python language, it was possible to analyze performance indicators, being the number of objects per day for each postman and number of objects delivered per distance covered were the key indicators adopted, enabling the simulation of the expanded use of this equipment and the environmental gain of electric bicycles in the last mile of the Post Office. The study proved operational viability, with a 40% increase in delivery productivity, and environmental viability, with a potential reduction of 82 tons of CO₂ per month, in addition to a simulation of the expansion of technology in the national postal service, with an indication of the possibility of use of around 5,700 electric bicycles at the Post Office

Keywords: cycle logistics, e-bike, cargo bike, smart cities, smart logistics.

SUMARIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 12 |
| 1.1 | HIPÓTESES | 14 |
| 1.2 | OBJETIVO GERAL | 15 |
| 1.3 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 15 |
| 1.4 | JUSTIFICATIVA | 16 |
| 1.5 | ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO | 17 |
| 2 | REVISÃO TEÓRICA | 18 |
| 2.1 | CIDADES INTELIGENTES | 19 |
| 2.2 | MICROMOBILIDADE URBANA | 22 |
| 2.3 | CICLOGÍSTICA | 22 |
| 2.4 | UM BREVE RESUMO DA HISTÓRIA DO CORREIO NO BRASIL | 25 |
| 2.4.1 | CICLOGÍSTICA NO SERVIÇO POSTAL | 28 |
| 3 | REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA | 33 |
| 4 | METODOLOGIA DE PESQUISA | 46 |
| 4.1 | INDICADORES | 51 |
| 4.2 | COLETA DE DADOS | 54 |
| 4.3 | TRATAMENTO DOS DADOS COLETADOS | 55 |
| 4.3.1 | PRÉ-PROCESSAMENTO | 55 |
| 4.3.1.1 | ACESSO AOS DADOS DOS ARQUIVOS | 56 |
| 4.3.1.2 | REMOÇÃO DE COLUNAS CONTENDO MUITOS VALORES NULOS | 56 |
| 4.3.1.3 | ALTERAÇÃO NO FORMATO DOS DADOS | 56 |
| 4.3.1.4 | DEFINIÇÃO DE CRITÉRIOS PARA OS DADOS | 57 |
| 4.3.1.5 | REMOÇÃO DE OUTLIERS | 58 |
| 4.4 | PREPARAÇÃO DOS DADOS | 59 |
| 4.4.1 | QUANTIDADE DE OBJETOS ENTREGUES POR DIA | 59 |
| 4.4.2 | QUANTIDADE DE OBJETOS ENTREGUES POR QUILÔMETRO | 61 |
| 4.5 | TESTE ESTATÍSTICO | 63 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 66 |
| 5.1 | PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS OPERAÇÕES POSTAIS NO BRASIL | 66 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 5.2 | O SISTEMA DE GEORREFERENCIAMENTO NOS CORREIOS (GEO CORREIOS)..... | 72 |
| 5.3 | ANÁLISE DE DESEMPENHO DAS BICICLETAS ELÉTRICAS NO SERVIÇO POSTAL ... | 80 |
| 5.3.1 | COM <i>OUTLIERS</i> REMOVIDO | 82 |
| 5.3.2 | COM <i>OUTLIERS</i> NÃO REMOVIDOS | 87 |
| 5.4 | IMPACTOS IDENTIFICADOS | 90 |
| 5.5 | SIMULAÇÃO DE EXPANSÃO DE BICICLETAS ELÉTRICAS NO SERVIÇO POSTAL..... | 92 |
| 5.6 | SIMULAÇÃO DE REDUÇÃO NA EMISSÃO DE CO ₂ | 95 |
| 6 | CONCLUSÃO..... | 102 |
| | REFERÊNCIAS | 104 |
| | APÊNDICE A – RESUMO DO ARTIGO PUBLICADO NO IJCIEOM 2022 | 114 |
| | APÊNDICE B – RESUMO DO ARTIGO PUBLICADO NO ENEGEP 2022 | 115 |
| | APÊNDICE C – RESUMO DO ARTIGO PUBLICADO NO SIMPEP 2022 | 116 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 1: Quantidade de encomendas entregues pelos Correios 2020-2023 | 16 |
| Figura 2 - Organização de conteúdo de contextualização da pesquisa | 18 |
| Figura 3 - Setores analisados no <i>ranking Connected Smart Cities</i> | 21 |
| Figura 4 - Potencial de uso de bicicletas cargueiras..... | 23 |
| Figura 5 - Modelos típicos de bicicletas cargueiras | 24 |
| Figura 6 - Gravura com a primeira bicicleta | 28 |
| Figura 7 - Registro em selo da primeira utilização de bicicletas na logística | 29 |
| Figura 8 - Bicicleta elétrica desenvolvida pelos Correios | 30 |
| Figura 9 - Bicicleta elétrica cargueira dos Correios | 31 |
| Figura 10 - Bicicleta elétrica <i>Long Jhon</i> nos Correios..... | 32 |
| Figura 11 - Exemplo de triciclo elétrico em estudo nos Correios | 32 |
| Figura 12 - Categorização proposta para os artigos selecionados..... | 38 |
| Figura 13 - Estruturação para condução da pesquisa-ação..... | 49 |
| Figura 14 - Carteiro operando o Sistema Móvel de Rastreamento de Objetos | 75 |
| Figura 15 - Gráfico de linha da contagem de entregas por dia no CDD Recanto das Emas. | 83 |
| Figura 16 - Histograma de comparação antes e depois do uso de bicicletas elétricas. .. | 84 |
| Figura 17 - Quantidade de entregas no período analisado | 85 |
| Figura 18 - Gráfico de linha do score por dia em relação a entregas por km andado, ... | 86 |
| Figura 19 - Contagem de rotas com e sem <i>outliers</i> | 88 |
| Figura 20 - Comparação de quantidade entregue por Km, com <i>outliers</i> | 89 |
| Figura 21 - Comparação de quantidade entregue por Km, sem <i>outliers</i> | 89 |
| Figura 22 - Quantidade de entregas por km | 90 |
| Figura 23 - Quantidade de motocicletas x distância percorrida | 101 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1: Dimensões das cidades inteligentes | 19 |
| Quadro 2 - <i>Ranking</i> das cidades mais conectadas no Brasil | 20 |
| Quadro 3 - Periodização do serviço postal no Brasil | 25 |
| Quadro 4 - Critérios de inclusão e exclusão de artigos | 35 |
| Quadro 5 - Principais características dos artigos selecionados | 37 |
| Quadro 6 - Métodos de pesquisa adotados no estudo | 48 |
| Quadro 7 - Indicadores da pesquisa | 51 |
| Quadro 8 - Quadro de emissão de poluentes CETESB | 54 |
| Quadro 9 - Infraestrutura operacional dos Correios | 67 |
| Quadro 10 - Tipos de locomoção nos Correios | 71 |
| Quadro 11 - Critérios básicos de definição do tipo de locomoção | 71 |
| Quadro 12 - Exemplo de dados do banco Geo Correios | 76 |
| Quadro 13 - Centros de Distribuição dos Correios com bicicletas elétricas | 81 |
| Quadro 14 - Resultados do teste Mann Whitney U para as métricas | 82 |
| Quadro 15 - Resultados do teste Mann Whitney U sem remoção de <i>outliers</i> | 87 |
| Quadro 16 - Resultados com <i>outliers</i> | 91 |
| Quadro 17 - Resultados sem <i>outliers</i> | 92 |
| Quadro 18 - Parâmetros de tipos de locomoção, com bicicleta elétrica | 94 |
| Quadro 19 - Alterações nos tipos de locomoção | 95 |
| Quadro 20 - Frota circulante atuando nas rotas de entrega | 96 |
| Quadro 21 - Quantidade de motocicletas nos Correios do Distrito Federal | 97 |
| Quadro 22 - Distribuição de motocicletas nos Correios por Região do Distrito Federal | 98 |
| Quadro 23 - Distancias diárias percorridos pelos carteiros | 99 |

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com o aumento de tráfego de veículos e com a poluição sonora e do ar nas vias urbanas de grandes cidades, em muito impulsionado pelas atividades de distribuição de encomendas oriundas do *e-commerce*, demandam constante e crescente necessidade de atuação nas externalidades da última milha, tanto de agentes públicos, quanto de empresas e da sociedade como um todo, pois o grande fluxo de veículos gerado pelo crescimento urbano, aliado à falta de adequado planejamento das cidades, resultam na redução da mobilidade urbana (COSTA; MORAIS; BERTOLDE, 2017).

O comércio eletrônico gera remessas menores e um maior número de viagens, ou seja, um ciclo vicioso de busca por maior velocidade de entrega, maior uso do espaço urbano e aumento nas emissões de gases e particulados. Por outro lado, a logística urbana promove negócios, emprego e vida urbana. Assim, alternativas sustentáveis, como a ciclogística e os veículos leves de carga, são uma tendência global, apesar dos desafios relacionados (FONTES; ANDRADE, 2022).

Em 2021 foram realizados mais de 335 milhões de pedidos no *e-commerce* no Brasil, com tendência de chegar a mais de 500 milhões até 2026, porém com uma distribuição mais pulverizada e capilarizada, aumentam-se os números de viagens e, conseqüentemente, as emissões de poluentes associadas ao transporte, além do maior consumo de embalagens, dos congestionamentos, de acidentes, dos ruídos no trânsito e da dificuldade em estacionar nas grandes cidades (MIGUEL, 2022).

O balanceamento da importância estratégica entre a competitividade e o desenvolvimento sustentável da logística de última milha, estimula a necessidade de pesquisas voltadas para o entendimento de novas formas de uso racional da infraestrutura das cidades, visando reduzir danos ambientais e melhorar a qualidade de vida das pessoas,

informando melhor os administradores e profissionais que atuam com mobilidade sobre a importância do tema (TENGATTINI *et al.*, 2018).

Enquanto a questão da estratégia operacional dos sistemas de distribuição tem sido amplamente analisada, pouco destaque tem sido dado à questão da sustentabilidade e as externalidades causadas pela distribuição na última milha (MIGUEL, 2022). O debate mundial sobre o futuro da mobilidade urbana está caminhando para incorporar modais que permitam viagens mais conscientes, geralmente mediados por equipamentos movidos sem combustão interna, o que os tornam mais sustentáveis (GUTH *et al.*, 2021).

Proporcionar maior eficiência no uso dos espaços urbanos, menos emissões de poluentes e maiores impulsos nas relações socioambientais, são aspectos fundamentais na mobilidade urbana contemporânea, que interferem inclusive nos custos econômicos do país, pois meios não motorizados de transporte são, em geral, opções mais baratas de transporte, tanto para usuários quanto para o poder público (GEHL, 2015).

Se, por um lado, há uma tendência global de aumento da pressão sobre a infraestrutura urbana, decorrente do *e-commerce* e do consequente aumento de viagens e de emissões, por outro, alternativas sustentáveis, como a cadeia de suprimento circular com veículos leves, buscam se tornar uma contramedida para o tema (FONTES; ANDRADE, 2022).

A ciclogística, que é uma estratégia de organização da distribuição de mercadorias baseada em adoção de veículos movidos por tração humana, cujo impulso propulsor é obtido pela pedalada, assistida ou não (TENGATTINI *et al.*, 2018), pode contribuir para a redução dos efeitos negativos das externalidades geradas pelo tráfego motorizado nas áreas centrais das cidades (BOZZUTO, 2022). Devido às suas características, a última milha é considerada a etapa mais ineficiente, mais cara e mais

poluente da cadeia de suprimentos, correspondendo de 10 a 75% dos custos totais da cadeia de abastecimento (FONTES; ANDRADE, 2022).

Nesse ambiente, a ciclologística poderia substituir eficientemente, a partir de estudos na União Europeia, de 23 a 33% das viagens para entrega de bens na última milha, podendo chegar até a 55% no futuro (BOZZUTO, 2022).

Neste cenário, para a solução do problema do alto custo econômico e ambiental, analisa-se a viabilidade, operacional e ambiental, do uso de bicicletas elétricas cargueiras para entrega de itens no ambiente urbano no serviço postal. Decorrente desse problema central, extrai-se a questão de pesquisa do estudo, que avalia se *“é viável, em aspectos operacionais e ambientais, o uso de bicicletas elétricas cargueiras para entrega de itens no ambiente urbano”*.

1.1 Hipóteses

A principal hipótese da pesquisa remete ao fato da vantajosidade, operacional e ambiental, do uso de bicicletas elétricas nos serviços postais, principalmente na distribuição de pequenos itens, em percorridas curtas de centros urbanos.

No aspecto operacional, decorrente do apoio da motorização elétrica do equipamento, a produtividade da bicicleta elétrica tende a ser superior à bicicleta convencional, principalmente pela expectativa de aumento da velocidade média e do conseguinte aumento na quantidade de objetos entregues por dia e na distância percorrida.

No aspecto ambiental, e dependente da comprovação da hipótese de vantajosidade operacional, o ganho do uso de um equipamento elétrico tende a ser relevante, quando adotado em substituição a equipamentos movidos a combustão.

Os dois aspectos são dependentes entre si, partindo do pressuposto que o ganho ambiental somente será obtido se o equipamento for operacionalmente viável. É esperado

supor que não haverá investimento em um equipamento elétrico se não houver, anteriormente, comprovação do ganho de uso na operação.

Essas características, se confirmadas, buscam referendar que o equipamento é viável para uso na logística de última milha, utilizando, para tanto, uma amostra de aplicação de 27 bicicletas elétricas, utilizadas nos distritos postais analisados, avaliando o quantitativo de entrega por distância percorrida ao longo 12 meses nos Correios do Distrito Federal, entre maio de 2021 e maio de 2022, como objeto principal do estudo.

A definição de uso das rotas percorridas por 27 equipamentos decorreu do planejamento orçamentário dos Correios para o projeto, e a implantação no Distrito Federal foi uma escolha pela proximidade da região com a sede da empresa, que fica em Brasília.

1.2 Objetivo geral

Avaliar se a utilização de bicicletas elétricas é ou não viável e o potencial de ganho operacional e ambiental da sua adoção na logística de última milha no serviço postal nacional.

1.3 Objetivos específicos

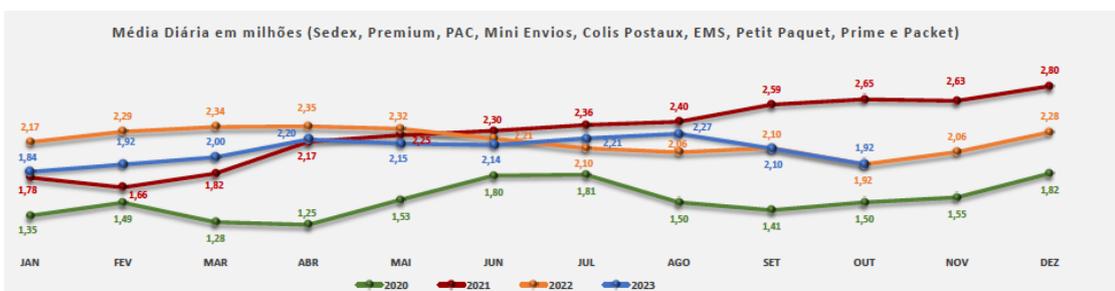
- Identificar as características principais da operação logística com bicicletas elétricas cargueiras nos Correios;
- Analisar a viabilidade operacional ao utilizar bicicletas elétricas na última milha, a partir da análise de desempenho do aporte de equipamentos eletrificados nas operações dos Correios no Distrito Federal;
- Simular o potencial de uso, em âmbito nacional, desse equipamento na logística de última milha dos Correios; e
- Simular o ganho ambiental, com redução potencial de emissão de CO₂ nas

operações de última milha no serviço postal, com adoção de bicicletas elétricas, tendo os Correios do Distrito Federal como área de estudo.

1.4 Justificativa

Os Correios prestam um serviço indispensável, principalmente, para a parcela da população que está mais desassistida pelo Estado, estando em todos os municípios brasileiros (MAZON; GOULARTI, 2020). O operador postal detém a liderança no volume de entregas de encomendas no Brasil, com cerca de 33% do *market share* no mercado brasileiro, além do monopólio na entrega de cartas (SUARES, 2021), o volume de cerca de 2 milhões de entregas de encomendas diárias, como exposto na Figura 1, reforçam o aspecto relevante das operações dos Correios no segmento de logística de última milha no mercado nacional.

Figura 1: Quantidade de encomendas entregues pelos Correios 2020-2023



Fonte: CORREIOS (2023).

O estudo, ao adotar os Correios do Distrito Federal como foco, busca analisar uma operação complexa e de grande porte, com grande interação no ambiente urbano de Brasília e demais regiões administrativas do Distrito Federal (DF), gerando uma base de dados que representa, em parte, o impacto do ecossistema de logística nas cidades e,

igualmente, gera projeções para a logística urbana como um todo, pois analisa parte da operação de um dos líderes de mercado na entrega de encomendas no país.

O tema caracteriza-se, portanto, como não-trivial e merecedor de investigação científica, com produção de conhecimento relevante e voltado para a solução de um problema prático de uma organização.

1.5 Organização do trabalho

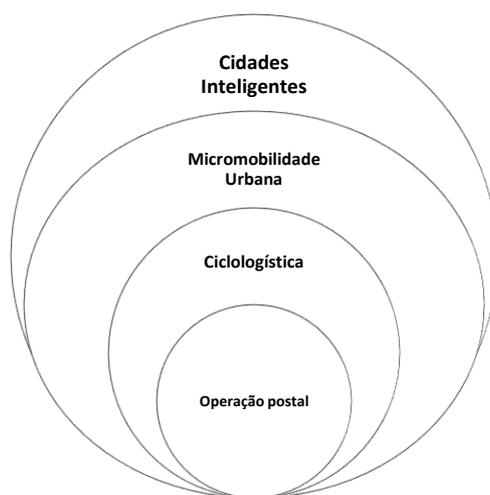
O estudo foi organizado buscando uma sequência racional de apresentação do conteúdo, com exposição do contexto, no qual o equipamento e a organização analisados são abordados, no capítulo 2; uma revisão sistemática da literatura relacionada ao âmbito da pesquisa, visando identificar as principais contribuições científicas recentes que abordam o tema, no capítulo 3; a exposição do método de pesquisa que foi adotado para a abordagem no capítulo 4 e a formulação de hipóteses e análise de dados e resultados da pesquisa nos capítulos 5 e 6.

2 REVISÃO TEÓRICA

Para inserir o tema no contexto de avaliação, são apresentados os principais conceitos sobre cidades inteligentes, micromobilidade e ciclogística, além de apresentar um breve resumo sobre a história do serviço postal e da ciclogística nos Correios do Brasil, com foco no uso de bicicletas elétricas para entrega de correspondências e pequenas encomendas, em ambientes urbanos de alta densidade populacional.

A Figura 2 apresenta o modelo básico de organização do conteúdo para contextualizar o estudo, partindo de um tema mais abrangente (cidades inteligentes) e os seus desdobramentos, perpassando pela importância da micromobilidade urbana não poluente, a bicicleta inserida nesse contexto, como potencial ator central na movimentação de pessoas e pequenas cargas em pequenas distâncias de centros urbanos de alta densidade populacional e, por fim, a avaliação da empresa que foi alvo de análise, os Correios, apresentando um sucinto histórico do serviço postal no Brasil.

Figura 2 - Organização de conteúdo de contextualização da pesquisa



Fonte: AUTOR.

2.1 Cidades inteligentes

O termo Cidade Inteligente (*Smart City*) significa desenvolvimento, inovação tecnológica, qualidade de vida, otimização de recursos e gestão eficiente em padrões sustentáveis, fomentando a integração tecnológica, por meio da infraestrutura urbana (MAZO *et al.*, 2021). Uma cidade inteligente é, portanto, aquela que utiliza soluções de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), tanto para melhorar as condições de vida dos cidadãos quanto para melhorar os sistemas de gestão pública (SANTANA, 2023).

Lombardi *et al.* (2012), propõe a avaliação das cidades inteligentes em seis dimensões, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1: Dimensões das cidades inteligentes

| Dimensão | Aspecto relacionado à vida urbana |
|--|--|
| <i>Smart economy</i> (economia inteligente) | Indústria |
| <i>Smart people</i> (pessoas inteligentes) | Educação |
| <i>Smart governance</i> (governança inteligente) | E-democracia |
| <i>Smart mobility</i> (mobilidade inteligente) | Logística e infraestrutura |
| <i>Smart environment</i> (ambiente inteligente) | Eficiência e sustentabilidade |
| <i>Smart living</i> (vida inteligente) | Segurança e qualidade |

Fonte: LOMBARDI *et al.* (2012)

O presente estudo enquadra-se no ambiente de *smart mobility*, considerando o aspecto de análise da ciclologística e seus desdobramentos na logística de urbana de última milha.

No Brasil, em 2015, foi criado pela empresa de consultoria *Urban Systems* o *ranking Connected Smart Cities* (CSC), que é uma ferramenta útil para mensurar o

desempenho das cidades mais inteligentes, levando em consideração o planejamento destas para a construção de uma cidade voltada para o futuro (LOCATELLI *et al.*, 2019).

De forma geral, a classificação do *ranking* CSC considera que uma cidade inteligente é aquela que possui a melhor conectividade entre diversas áreas (GUGLIELMI *et al.*, 2021).

O CSC é um estudo que engloba em sua análise 11 eixos: Mobilidade, Urbanismo, Meio Ambiente, Energia, Tecnologia e Inovação, Economia, Educação, Saúde, Segurança, Empreendedorismo e Governança. É através desses eixos e de seus indicadores que é feito o *ranking* das cidades mais inteligentes do Brasil (AZEVEDO *et al.*, 2020). Na versão 2022 as 10 cidades mais conectadas do país foram as expostas no Quadro 2.

Quadro 2 - Ranking das cidades mais conectadas no Brasil

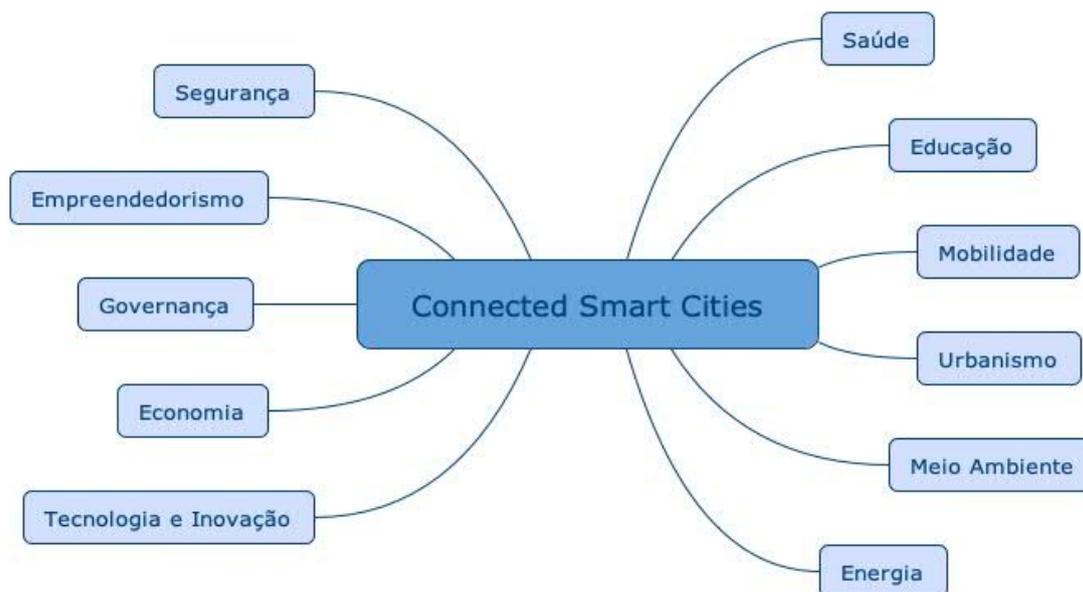
| Posição | Município |
|---------|-------------------------|
| 1 | Curitiba (PR) |
| 2 | Florianópolis (SC) |
| 3 | São Paulo (SP) |
| 4 | São Caetano do Sul (SP) |
| 5 | Campinas (SP) |
| 6 | Brasília (DF) |
| 7 | Vitória (ES) |
| 8 | Niterói (RJ) |
| 9 | Salvador (BA) |
| 10 | Rio de Janeiro (RJ) |

Fonte: URBAN SYSTEMS (2022).

Quanto aos critérios definidos para o *ranking*, o CSC busca retratar de forma mensurável a inteligência, conexão e sustentabilidade das cidades, possibilitando mapear aquelas com maior potencial de desenvolvimento (URBAN SYSTEMS, 2022). Os

setores, citados na Figura 2, incluem os dados de todos os municípios do país com mais de 50 mil habitantes e avaliam, objetivamente, as cidades para identificar a aderência da gestão e infraestrutura municipais aos resultados esperados de uma cidade inteligente, conforme os critérios definidos no método do *ranking* CSC.

Figura 3 - Setores analisados no *ranking* *Connected Smart Cities*



Fonte: AUTOR, adaptado de RIGON (2019).

Em uma avaliação abrangente, diversos aspectos da gestão e infraestrutura municipais são analisados, dentre os quais os temas relativos à mobilidade e micromobilidade urbana, frota de veículos, infraestrutura de ciclovias e veículos de baixa emissão de poluentes.

A malha de ciclovias das cidades, a proporção de automóveis por habitante, o percentual de veículos de baixa emissão de poluentes e a quantidade de mortes no trânsito compõe, em todo ou em parte, os setores de mobilidade, meio ambiente e saúde no *ranking*, os quais repercutem as iniciativas locais de modernização da gestão, da infraestrutura e dos serviços ofertados aos cidadãos, envolto portanto na dimensão de *smart mobility*, no qual estudo está, em avaliação macro, inserido.

2.2 Micromobilidade urbana

A micromobilidade está em evidência e é empregada com frequência nas áreas de planejamento urbano, transportes e tecnologia, inclusive em razão da sua integração com as boas práticas preconizadas pelas cidades inteligentes. Mais da metade das viagens feitas de carro anualmente nos Estados Unidos cobrem menos de 8 quilômetros, tornando essas viagens possíveis de serem realizadas por meios alternativo de curto alcance, como *scooters* elétricas e bicicletas, que são equipamentos típicos da micromobilidade (ZARIF; PANKRATZ; KELMAN, 2019).

O conceito de micromobilidade se refere, portanto, aos deslocamentos feitos mediante veículos leves conectados com as novas tecnologias e impulsionados por energia elétrica ou força humana. Esses veículos são usados muitas das vezes em combinação com outros modais de transporte, nos chamados deslocamentos de primeira e/ou última milha (GUTH *et al.* 2021).

2.3 Ciclogística

A temática de ciclogística, inserida no contexto de valorização de soluções mais ‘verdes’ e harmonicamente inseridas no ambiente urbano, é uma frente de pesquisa relevante, apesar de ainda pouco desenvolvida no fluxo acadêmico, e surge como uma alternativa promissora para uma logística urbana mais sustentável (FONTES; ANDRADE, 2022).

A ciclogística ajuda a resolver problema relevante, pois com uma operação mais sustentável, a logística de última milha pode oferecer uma contribuição substancial para a redução das emissões de gases que geram mudanças climáticas e tem o potencial de mitigar outros problemas, como a poluição sonora e o congestionamento nas cidades, o que afeta diretamente a qualidade de vida dos cidadãos (TEMPORELLI *et al.*, 2022).

Os casos de uso desse tipo de estratégia de logística são diversos, com várias opções de equipamentos possíveis para utilização, em diferentes aplicações. CAIRNS e SLOMAN (2019), apontam oportunidades diversas de uso da ciclogística, como entrega de encomendas, serviços postais, refeições, prestadores de serviço, movimentação de carga e um Centro de Distribuição (CD) para *mini-hubs* de entrega urbana, entrega ponto-a-ponto, entre outros, conforme exposto na Figura 4.

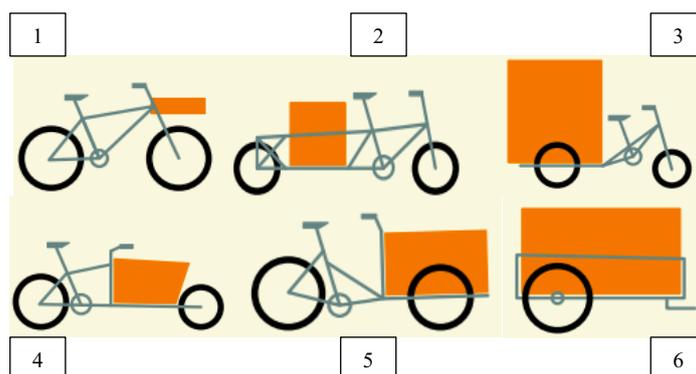
Figura 4 - Potencial de uso de bicicletas cargueiras.



Fonte: AUTOR, adaptado de CAIRNS; SLOMAN (2019).

Por sua vez, BECKFORD (2022) apresenta os modelos típicos de bicicletas cargueiras adotadas na logística, com opções de equipamentos voltados para operações desde carga levíssima (bicicleta para entrega de correspondências), até equipamentos de maior capacidade, como limite de carga de até 300Kg, conforme exposto na Figura 5.

Figura 5 - Modelos típicos de bicicletas cargueiras



Fonte: AUTOR, adaptado de BECKFORD (2022).

As principais características desses equipamentos são as seguintes:

- 1 – Bicicleta para entrega de correspondências (até 40kg de carga)
- 2 – Bicicleta com carga traseira (até 100kg)
- 3 – Triciclo com carga traseira (até 300kg)
- 4 – Bicicleta com carga frontal (até 125 kg)
- 5 – Triciclo com carga frontal (até 200Kg)
- 6 – *Trailer* (até 150Kg)

PAPA (2020) pontua que a ciclologística é amplamente reconhecida no debate global como uma solução inovadora para enfrentar as principais criticidades da logística urbana, sendo possível para contribuir para uma operação de última milha mais eficaz e amiga do meio ambiente, onde o uso de bicicletas para entrega de bens e serviços para fins pessoais e de terceiros, auxilia na redução de viagens e de congestionamentos, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida das pessoas. Os mesmos autores apontam outros ganhos do uso de bicicletas na logística, como a eficiência econômica, a flexibilidade e a habitualidade com o ambiente urbano.

Visando entender o contexto da empresa alvo do estudo, é apresentado no próximo item, um resumo da história do serviço postal brasileiro.

2.4 Um breve resumo da história do Correio no Brasil

Operado pela Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos – ECT, o serviço postal brasileiro acompanha, de certo ponto, a própria história do país, desde a sua ressignificação como território integrado, tendo a criação do Correio-Mor em 1663 como marco temporal inicial das operações postais no Brasil. Os serviços postais desempenham papel fundamental no projeto de desenvolvimento da nação, onde o desenvolvimento dos próprios Correios corresponde ao crescimento e à transformação sócio-político-econômico do Brasil (BARROS NETO, 2004).

VENCESLAU (2017), propõe a periodização do serviço postal no Brasil em 5 etapas, apresentadas no Quadro 3 e, resumidamente, explicadas nos parágrafos subsequentes.

Quadro 3 - Periodização do serviço postal no Brasil

| Período | | Marco | Função do Correio | Tempo |
|---------|-----------|---|--|-------------------------|
| Ordem | Vigência | | | |
| 1º | 1663-1842 | Correio-Mor | Conexão colônia à metrópole lusitana | Muito lento (meses) |
| | | | Comunicação | |
| 2º | 1843-1930 | Selo Postal | Conexão entre as principais cidades do país | Lento (semanas) |
| | | | Comunicação | |
| 3º | 1931-1968 | Departamento de Correios e Telégrafos - DCT | Integração entre as áreas mais afastadas à área core | Rápido (dias) |
| 4º | 1969-1981 | Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos - ECT | Integração nacional completa | Muito rápido (1 dia) |
| | | | Comunicação e transporte | |

Continua

| | | | | |
|----|---------------------|---|------------------------------------|---------------------|
| 5° | 1982-dias atuais | Serviço de Encomenda Expressa - SEDEX | Integração diferenciada | Expresso (horas) |
| | | | Comunicação transporte e logística | |
| | | | Grandes projetos estatais | |
| | | | <i>e-commerce</i> | |

Fonte: Venceslau (2017).

Apesar da carta ao rei de Portugal escrita por Pero Vaz de Caminha em 1500 ser considerada a primeira correspondência do Brasil e o marco inicial dos serviços postais no país foi com a criação do Correio-Mor da colônia em 25 de janeiro 1663 que, de fato, se estruturou o primeiro serviço postal regular no território, à época denominado Correio da Capitania do Rio de Janeiro, com a função básica e restrita de ligação, mesmo que incipiente e precária, da colônia no Rio de Janeiro com a metrópole em Lisboa.

Ao ser o segundo país a adotar o selo postal em suas correspondências em 1843, logo após a Inglaterra que criou e inseriu esse artefato no serviço postal em 1840, os correios brasileiros passaram por uma importante reorganização operacional, migrando da tarifação por peso para uma por distância e do pagamento do serviço pelo remetente ao invés do destinatário, simplificando e facilitando o acesso ao serviço, inclusive para outros países, e assinalando a transformação do objeto postal em mercadoria. Na mesma época, houve o advento e expansão do telégrafo, que propiciava comunicação ágil, apesar de curta, com algumas cidades mais destacadas do ponto de vista econômico e político.

Em 1931, já no período republicado, o governo Getúlio Vargas criou o Departamento de Correios e Telégrafos – DCT, visando modernizar o serviço postal nacional, agora baseado em máquinas de franquear (em substituição, em boa parte, ao selo) e no transporte por meio do Correio Aéreo Nacional (CAN) e de ferrovias, visando acelerar o projeto de integração geopolítica do território, conectando de forma mais ágil e abrangente diversas localidades do país.

Para modernizar e harmonizar a função social do serviço postal com a necessidade de operacionalização nos moldes empresariais foi criada em 1969 a Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos-ECT, uma estatal que passou a operar, em regime de monopólio, o recebimento, transporte e entrega de cartas no território nacional.

Com a transformação em empresa, os Correios passaram por uma intensa racionalização do trabalho, investindo em capacitação da mão-de-obra, padronização e melhoria das rotinas operacionais. Nesse período foi criada a Escola Superior de Administração Postal (1978) e uma forte expansão dos serviços, motivada pelo conteúdo normativo que instituiu a universalização dos serviços postais no Brasil, mobilizando a empresa a operar em todos os municípios do país. Nesse período, foi criado o Código de Endereçamento Postal (CEP), a Lei Postal (Lei 6.538 de 1978), as primeiras máquinas de triagem de correspondências, a Rede Postal Noturna (RPN) em substituição ao CAN e a migração da interiorização de carga de ferrovias para caminhões.

A partir da estruturação operacional intensificada desde a criação da ECT, principalmente com a criação e uso do CEP, da RPN, do transporte rodoviário, da introdução da máquina de triagem e da padronização e racionalização do trabalho, os Correios lançaram em 1982 o SEDEX (Serviço de Encomenda Expressa), com objetivo de interligar as principais capitais brasileiras em um prazo máximo de 14 horas, com melhor uso da informação por meio do rastreamento de envelopes e pacotes com código de barras, surgindo assim o Sistema de Rastreamento de Objetos (SRO) que permitia acompanhar cada etapa do fluxo dos objetos.

Atualmente, a empresa se vê diante de um cenário competitivo desafiador, com presença de concorrentes em variadas esferas: empresas locais, nacionais e multinacionais de logística, startups de tecnologia em distribuição, *marketplaces* com operação logística própria e plataformas de agregação de carga, com a busca da dualidade

de atuação social e sustentabilidade econômica necessária para se manter relevante no cenário atual e futuro.

2.4.1 Ciclogística no serviço postal

Imaginada pelo barão Karl von Drais, a bicicleta foi criada em 1817. Era feita de madeira, como exposto na Figura 6, e funcionava com o uso dos pés e tinha como objetivo oferecer um meio de transporte mais barato e fácil de manter que os cavalos (HANCOCK, 2017).

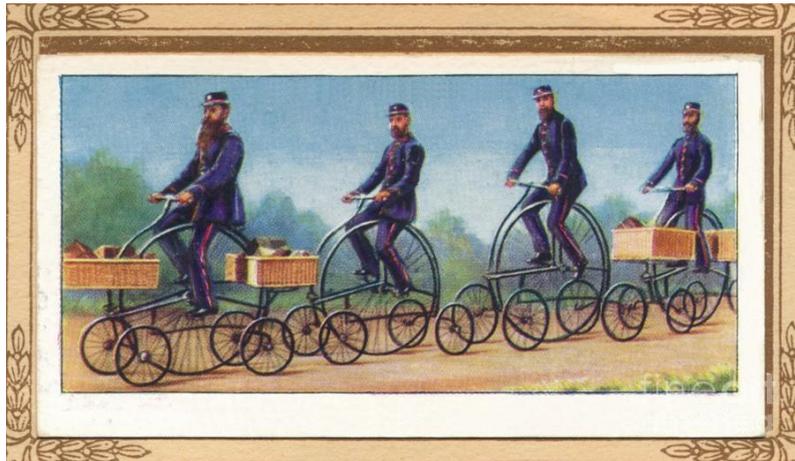
Figura 6 - Gravura com a primeira bicicleta



Fonte: HANCOCK (2017).

Data o ano de 1880 o primeiro reporte de uso da bicicleta na logística, com uso no sistema público de entregas postais no Reino Unido pelo Royal Mail, como ilustrado no selo postal da Figura 7. Apesar de ainda pesadas, pouco ergonômicas e com reduzida capacidade de carga, a utilização de bicicletas como equipamento de apoio para distribuição representou a migração para um modelo mais eficiente e menos custosa que a entrega com veículos à tração animal, predominantes na época (COX; RZEWNICKI, 2015).

Figura 7 - Registro em selo da primeira utilização de bicicletas na logística



Fonte: COX; RZEWNICKI (2015).

Atualmente, a ciclologística tem vasta aplicação na logística urbana no segmento postal no Brasil. Além dos cerca de 4.000 carteiros ciclistas que atuam em todo o país em bicicletas convencionais, os Correios têm investido em iniciativas para modernizar e ampliar a abrangência desse tipo de equipamento, também com uso de bicicletas elétricas.

Por meio de pesquisa documental nos relatórios do projeto de eletromobilidade dos Correios, observou-se que em 2021 a estatal desenvolveu um modelo elétrico para pequenos volumes, que foi testada no Distrito Federal (DF), com 27 bicicletas elétricas.

O modelo básico de bicicleta elétrica utilizada nos Correios, sendo a que mais se aproxima de um equipamento convencional, ilustrada na Figura 8, foi o alvo de análise no presente estudo, mantendo as características operacionais da bicicleta sem motorização, porém com ganho de desempenho decorrente do aumento da velocidade média por conta do motor elétrico auxiliar.

Os testes, realizados entre maio de 2021 e maio de 2022 em 27 regiões do Distrito Federal, geraram uma base de dados que viabilizou a análise de desempenho e viabilidade operacional, que é o objetivo da pesquisa-ação exposta neste estudo.

Figura 8 - Bicicleta elétrica desenvolvida pelos Correios



Fonte: CORREIOS (2022).

Além do modelo anteriormente citado, foi desenvolvido, e está em fase de testes, uma bicicleta elétrica cargueira com maior capacidade visando, além dos ganhos usuais da bicicleta elétrica padrão, ter uma capacidade de carga ampliada, por conta do baú de 130 litros, ante 70 litros do modelo anterior. O modelo, ilustrado na Figura 9, com quadro alargado para maior estabilidade e segurança recebeu o nome de *long tail* e foi desenvolvido de forma customizada para os Correios, diferentemente do modelo padrão que se assemelha aos modelos de uso pessoal disponíveis no mercado. Ao todo foram adquiridos 33 equipamentos que iniciaram um teste expandido em agosto de 2022 na

cidade de Praia Grande-SP. Em 2023, os Correios planejam inserir cerca de 2.000 bicicletas elétricas no parque de equipamentos da estatal.

Figura 9 - Bicicleta elétrica cargueira dos Correios



Fonte: CORREIOS (2022).

O modelo *long tail*, foi desenvolvido em parceria com o GIZ (Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável), e foi alvo de um estudo detalhado conduzido por GUTH; ANDRADE (2020) relatando as observações da fase de teste conceito com um protótipo em 2019.

No mesmo estudo foi analisado um modelo cargueiro de grande capacidade, denominado *long john*, apresentado na Figura 10, porém no teste essa versão acabou não se demonstrando adequada para o segmento postal, por conta do elevado tempo de parada desse tipo de bicicleta, como exposto no estudo de GUTH e ANDRADE (2020).

Figura 10 - Bicicleta elétrica *Long Jhon* nos Correios



Fonte: Correios (2022).

Além da frente de estudos de bicicletas elétricas, os Correios têm outras iniciativas voltadas para modernizar a ciclogística postal, com testes de equipamento leves elétricos, como triciclos (ilustrado na Figura 11) e *scooters*, porém em fase de piloto inicial, sem previsão no curto prazo de serem aportados em maior escala.

Figura 11 - Exemplo de triciclo elétrico em estudo nos Correios



Fonte: CORREIOS (2022).

3 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Para contextualizar a matéria e as principais pesquisas científicas recentes sobre ciclologística, o capítulo 3 se propõe a apresentar e aplicar um método de pesquisa e seleção de artigos relacionados ao tema em uma base de conteúdo científico, além de um resumo dos principais estudos classificados como mais aderentes ao propósito a ser detalhado, visando demonstrar quais análises melhor apresentam as características, os ganhos e os desafios da ciclologística, em variados cenários e condições de uso.

A seleção dos artigos foi realizada com base na técnica usual de extração de informações, onde foi realizada uma busca no banco de dados de Periódicos da CAPES (sistema CAFe), utilizando os seguintes termos de pesquisa na língua inglesa: “*cyclelogistics*” (ciclologística) e “*cargo bike*” (bicicleta cargueira).

A escolha desses dois termos em inglês, e de forma mais abrangentes na pesquisa inicial, teve como objetivo identificar o maior número de registros direcionados ao tema estudado, sendo possível a resposta de pesquisa com 2.458 artigos nessa etapa.

Visando obter material mais recente, foram mantidos apenas os artigos criados entre 2015 e 2022, reduzindo a base para 1.246 artigos. Em sequência, com base nos critérios de filtro da base do CAPES, foram mantidos os artigos de periódicos com indicação que foram revisados por pares, objetivando restringir o material com filtro de análise científica mais apurado, reduzindo a base para 661 artigos. Por fim, para viabilizar o acesso mais detalhado do conteúdo, foram mantidos na base apenas os artigos de acesso público (*open access*), mantendo 507 artigos com essa característica.

Considerando que a análise é voltada para aspectos operacionais e logísticos do uso de bicicletas, foram desconsiderados os artigos voltados para biomedicina, que em geral analisam aspectos de saúde e ergonomia no uso de bicicletas, abordagens as quais

não fazem parte do interesse pesquisado. Dessa forma, após aplicação desse filtro, foram mantidos 295 artigos na base.

Os artigos remanescentes foram então qualificados com base na plataforma sucupira da CAPES, que é a fonte principal de classificação de periódicos no Brasil. Foram mantidos apenas os artigos publicados em periódicos A1, A2 e B1 na área de avaliação de Engenharias III, que é a mais aderente ao objeto do estudo, o que reduziu o número de artigos selecionados para 82.

Em seguida foram lidos todos os títulos, com objetivo de excluir os artigos sem relação direta com o tema proposto. Essa separação fez-se necessária, pois um grupo de estudos nessa temática se dedica a analisar aspectos sem relação com o uso de bicicletas na logística propriamente. Tais estudos, geralmente, analisam aspectos de uso para o transporte individual com esses equipamentos, características construtivas de partes e peças de bicicletas, vantagens e desafios de estações compartilhadas de bicicletas e outros temas relevantes, porém não aderentes à ciclogística e ao propósito do estudo. Após esse filtro de exclusão, foram mantidos 37 artigos na base do estudo.

A última etapa de seleção compreendeu a leitura do resumo dos artigos selecionados, visando confirmar se a abordagem e o tema central da pesquisa estão inseridos no escopo de análise e interesse da ciclogística. Como resultado, foram mantidos 14 artigos, que representaram a amostra final para avaliação detalhada de conteúdo.

O Quadro 4 apresenta um resumo dos critérios de inclusão e exclusão, e devidas justificativas, adotados para o presente estudo.

Quadro 4 - Critérios de inclusão e exclusão de artigos

| Tipo | Critério | Justificativa | Quantidade de artigos |
|-----------------|--|--|------------------------------|
| Inclusão | Artigos científicos relacionados a ciclogística e <i>cargo bike</i> | Tema central da pesquisa | 2.458 |
| | Material criado entre 2015 e 2022 | Estudos mais recentes sobre o tema | 1.246 |
| | Material revisado por pares | Acuracidade no rigor científico do conteúdo | 661 |
| | Material aberto para consulta (<i>open access</i>) | Facilidade de consulta ao conteúdo detalhado dos estudos | 507 |
| Exclusão | Artigos categorizados no segmento de biomedicina | Exclusão de artigos fora do escopo do estudo | 295 |
| | Artigos B2 ou classificação inferior na plataforma Sucupira (CAPES) | Acuracidade no rigor científico do conteúdo | 82 |
| | Artigos cujo título não remetia efetivamente ao tema do estudo (ciclogística) | Exclusão de artigos fora do escopo do estudo | 37 |
| | Artigos cujo resumo não apresentava abordagem relacionada ao tema do estudo (ciclogística) | Exclusão de artigos fora do escopo do estudo | 14 |

Fonte: AUTOR.

O grupo de artigos analisados demonstra a opção de utilização estruturada de bicicletas na logística e de interesse da sociedade, e da comunidade científica, sobre os aspectos de migração de equipamentos de distribuição na última milha para soluções mais amigáveis ao contexto urbano e ao meio ambiente em cidades inteligentes.

No aspecto de relevância no uso de bicicletas na logística, a maioria dos artigos relacionados ao tema trata das vantagens do uso e da quantificação dos ganhos da adoção

desse equipamento na logística urbana, em substituição aos modelos convencionais de entrega movidos à combustão interna. Aspectos de roteirização, de integração ao conceito de cidades inteligentes e de simulação computacional do uso de bicicletas também recebem abordagens destacadas.

No aspecto de origem geográfica, a maioria dos estudos selecionados foram conduzidos no continente europeu, em decorrência do comportamento social local, que valoriza o uso de equipamentos não poluentes e o apreço que cidadãos, empresas e governos aportam no uso de bicicletas, com investimentos de longa data em infraestrutura e mobilização para a micromobilidade não poluente. Dentre os 14 artigos selecionados após aplicação dos filtros de qualificação, 11 (78%) foram produzidos no continente europeu, com destaque para pesquisas na Alemanha e Polônia.

Em relação à classificação de periódicos CAPES, com base na definição do quadriênio 2013-2016, a classificação exposta na plataforma Sucupira para a área de avaliação de Engenharia III, que é a área onde se enquadra o ramo de estudo de engenharia de produção, a base apresenta 5 (36%) artigos definidos como A1 e A2, e 9 (64%) B1.

Quanto ao período, 13 dos 14 artigos selecionados (93%) foram publicados nos anos 2021 e 2022, o que reforça a característica de modernidade da matéria e de atratividade crescente do tema para pesquisas científicas em geral. O Quadro 5 apresenta os autores e características dos artigos selecionados.

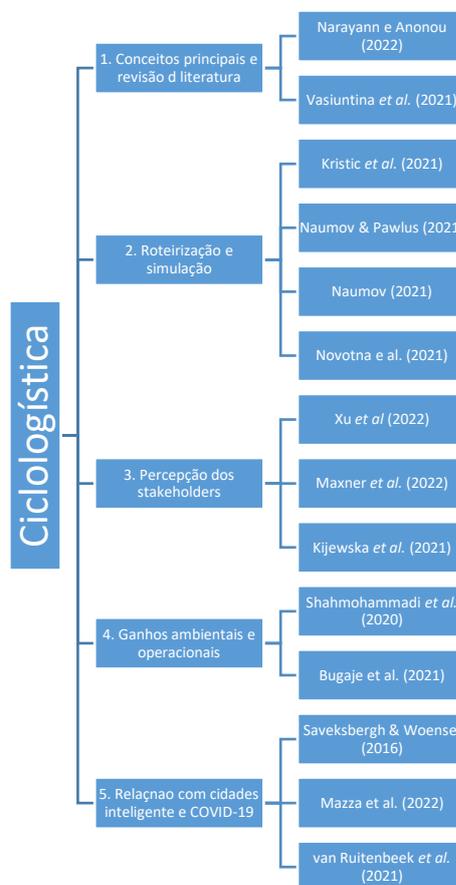
Quadro 5 - Principais características dos artigos selecionados

| Autoria | País de origem | Periódico | Ano | Qualis |
|------------------------------|-----------------------|---|------------|---------------|
| Bugaje <i>et al.</i> | Alemanha | <i>Energies (Basel)</i> | 2021 | B1 |
| Mazza; Tarchi; Juan | Itália | <i>Energies (Basel)</i> | 2022 | B1 |
| Xu <i>et al.</i> | China | <i>Sustainability (Basel, Switzerland)</i> | 2022 | B1 |
| Kijewska <i>et al.</i> | Polônia | <i>Energies (Basel)</i> | 2022 | B1 |
| Krstić <i>et al.</i> | Sérvia | <i>Mathematical problems in engineering</i> | 2021 | B1 |
| Maxner; Chiara; Goodchild | Estados Unidos | <i>Sustainability (Basel, Switzerland)</i> | 2022 | B1 |
| Narayanan; Antoniou | Alemanha | <i>Transport policy</i> | 2022 | A2 |
| Naumov | Polônia | <i>Energies (Basel)</i> | 2021 | B1 |
| Naumov; Pawluś | Polônia | <i>Energies (Basel)</i> | 2021 | B1 |
| Novotná <i>et al.</i> | República Tcheca | <i>PloS one</i> | 2022 | A1 |
| Savelsbergh; Van Woensel | Estados Unidos | <i>Transportation science</i> | 2016 | A1 |
| Shahmohammadi <i>et al.</i> | Reino Unido | <i>Environmental science & technology</i> | 2020 | A1 |
| Van Ruitenbeek; Slik; Bhulai | Holanda | <i>PloS one</i> | 2021 | A1 |
| Vasiutina; Szarata; Rybicki | Polônia | <i>Energies (Basel)</i> | 2021 | B1 |

Fonte: AUTOR.

Após a seleção e leitura integral dos artigos, os temas centrais foram agrupados, visando análise por categoria principal de contribuição. Foram adotadas 5 categorias, conforme exposto na Figura 12.

Figura 12 - Categorização proposta para os artigos selecionados



Fonte: AUTOR.

Os temas centrais dos artigos selecionados e a correlação dos estudos com a ciclogística são abordados em sequência, apresentados conforme as categorias definidas, por temática central analisada.

A busca por operações ‘*eco-friendly*’, a partir de uma percepção coletiva da necessidade de redução do impacto ambiental das operações de transporte, surge como principal temática nos grupos de pesquisa voltados para a importância da ciclogística.

De forma geral, os estudos apresentam em comum a ciclogística como uma estratégia assertiva e aplicável, em circunstâncias específicas, para auxiliar nas operações logísticas de última milha. O planejamento para a adoção desses equipamentos deve ser

bem estruturado, com um diagnóstico de casos de aplicação, desde o tipo de itens a serem transportados, as regiões mais adequadas para a circulação de bicicletas, até a especificação do equipamento em si, para escolha do melhor modelo para cada caso.

Um grupo de pesquisadores tem proposto análises voltadas para a ambientação, demonstração das vantagens de adoção e análise dos principais estudos sobre o tema. Tal abordagem reforça que a expansão de modelos não poluentes da logística ainda demanda uma série de convencimentos e uma forte expansão de conhecimento junto aos principais atores envolvidos nesse processo.

Por meio de uma ampla revisão da literatura especializada, NARAYANAN; ANTONIOU (2022), analisaram os fatores de impacto na adoção de bicicletas cargueiras na logística urbana, abordando os principais modelos existentes no mercado alemão e as estratégias de aplicação desse tipo de equipamento, com embasamento estruturado para empresas e planejadores urbanos que requerem uma visão geral sobre bicicletas cargueiras, principalmente as elétricas. Os artigos utilizados nessa pesquisa foram categorizados por enfoque de análise (operacional, organizacional, política pública e infraestrutura), casos de utilização (composição da frota, especificação do equipamento e finalidade de uso) e impactos observados (econômicos, ambientais, sociais, governamentais, operacionais e no trânsito).

Mais especificamente nos aspectos ambientais no uso de bicicletas cargueiras VASIUTINA; SZARATA; RYBICKI (2021), também se utilizaram de um método de revisão bibliográfica para identificar os mecanismos mais adotados para a mensuração dos ganhos ambientais no uso de bicicletas cargueiras na logística. Os artigos analisados pelos autores foram classificados em 4 áreas de interesse: análise de estratégias de negócios, no contexto de ganhos do uso de bicicletas cargueiras na logística; sistemas de modelagem de transporte, com abordagens diversas voltadas para a roteirização de

entregas com bicicletas; impactos do transporte, com a avaliação de ganhos ambientais da logística de última milha; e, por fim, uma abordagem mista, com análise integrada dos fatores anteriormente citados. Os autores também organizaram uma interessante classificação, por artigo analisado, das vantagens e desvantagens da ciclologística. Dentre os parâmetros positivos, são citados: a operação mais compacta, limpa, barata, segura, atrativa e eficiente. Os desafios mapeados são: capacidade de carga, velocidade, alcance do equipamento, infraestrutura urbana e riscos de acidentes ao operador.

Outra linha de pesquisa atualmente em destaque na ciclologística é aquela que inclui os artigos voltados para o teste de desempenho e o desenvolvimento de soluções de análise e otimização de rotas de entregas específicas com bicicletas cargueiras, além de desenvolvimentos de métodos, baseados em modelos matemáticos e softwares de roteirização, para a definição de modelos otimizados de hubs de concentração de carga e apoio à logística de última milha.

Combinando técnicas como Delphi, FARE (Factor Relationship) e VIKOR (Višekriterijumska Optimizacija i Kompromisno Rešenje), KRSTIĆ *et al.* (2021), estruturaram um método para mensurar a aplicabilidade de soluções operacionais para a última milha, tendo a região central de Belgrado como área de análise, onde, por sua vez, o modelo resultou na sugestão de aplicação de *mini-hubs* de consolidação e transferência de carga para veículos ecológicos e veículos autônomos (bicicletas, triciclos e veículos elétricos de pequeno porte), como o modelo teórico mais vantajoso para tais condições.

NAUMOV; PAWLUS (2021), aplicaram modelos matemáticos para definição de rotas com bicicletas cargueiras, visando identificar um cenário otimizado para localidades com restrição de circulação e grande densidade urbana, com uso de diferentes modelos de bicicletas cargueiras (*post bike, longtail, long john, trike e trailer*), observando os aspectos próprios de cada equipamento, como a capacidade de carga, número de

equipamentos disponíveis e a capacidade dos compartimentos de carga. Os autores testaram algoritmos de roteirização como: BinPack 3D, MTSP e CVRP, sendo o último tido como o que apresentou melhor solução para o problema de pesquisa apresentado. NAUMOV (2021), também desenvolveu um estudo de simulação para definição da melhor localização de *mini-hubs* de apoio à logística com bicicletas, que servem tanto para agregar carga e reabastecer os equipamentos, como ponto de recarga de baterias dos equipamentos elétricos. O estudo teve como base dados as entregas no centro histórico cidade de Cracóvia, na Polónia, e gerou como resultado ganhos na projeção de redução na distância percorrida nas entregas e no suprimento de carga.

Ainda no segmento de definição de localização de *micro-hubs*, NOVOTNÁ *et al.* (2022), conduziram um estudo usando uma análise baseada em múltiplos critérios de decisão, considerando variáveis como o menor desperdício possível de recursos (BWM), relevância de critérios estratégicos de decisão (CRITIC) e uma avaliação ponderada das variáveis críticas definidas para o *mini-hub* (WASPAS). Por meio de uma definição matemática, a partir de uma classificação preliminar de variáveis e seus respectivos graus de importância, o autor define um método assertivo de escolha dentre as opções apresentadas de localização de um *mini-hub* logístico voltado para a última milha.

Visando analisar qual a percepção dos diversos atores/*stakeholders* envolvidos no processo, alguns estudos se dedicaram a mensurar o impacto da logística com bicicletas para as principais partes interessadas nesse processo, o que gera um insumo de análise e decisão importante para tomadores de decisão.

XU *et al.* (2022), aplicaram um questionário estruturado com 204 embarcadores de carga na cidade de Nanjing na China, visando identificar o nível de satisfação desses atores quando do uso de bicicletas elétricas na distribuição de objetos na última milha. O resultado o estudo indicou um elevado nível de satisfação dos embarcadores quando a

carga é distribuída por bicicletas elétricas (0.66), em um patamar muito superior ao modelo tradicional de distribuição (0,36). O estudo também apresenta as principais demandas desse público, que envolve a necessidade de políticas públicas específicas de incentivo, regras de trânsito e infraestrutura adequadas para o uso desses equipamentos.

Visando analisar as perspectivas de agentes públicos e privados, no desafio da distribuição na última milha de forma sustentável nos Estados Unidos, MAXNER; CHIARA; GOODCHILD (2022), entrevistaram 10 agentes de planejamento público (departamentos de trânsito e secretarias de planejamento, sustentabilidade, economia e serviços municipais), além igual número gestores de empresas e associações privadas (operadores logísticos, fabricante de automóveis, distribuidores e sindicatos), visando identificar estratégias para redução dos impactos ambientais da logística no ambiente urbano.

O resultado do estudo evidenciou a dificuldade das cidades em ter uma liderança estratégica consistente, recursos, políticas e objetivos adequadamente definidos para atuar de forma eficaz no tema, enquanto as empresas focam principalmente em aspectos de desafios tecnológicos, custos e força de trabalho, ficando o desafio da integração urbana das operações em segunda prioridade.

Quanto à percepção de usuários sobre os problemas de distribuição na última milha, KIJEWKA *et al.* (2022), aplicaram um questionário estruturado em 828 cidadãos, sendo 524 na cidade de Belo Horizonte, no Brasil, e 304 em Szczecin, na Polônia. Apesar das características distintas, tanto em aspectos de população, economia, cultura, entre outros, os resultados apresentaram muitas similaridades nas observações, como o impacto dos congestionamentos (maior problema relatado em ambas as cidades) e os problemas no transporte público e poluição. No entanto, logicamente, há particularidades, como a maior relevância do risco de acidentes na cidade brasileira e o maior impacto do

transporte rodoviário na polonesa. Para ambos os casos, a logística com bicicletas aponta como uma das contramedidas para redução de congestionamento e poluição, sendo inclusive a solução mais citada pelos cidadãos de Szczecin.

Além dos aspectos de importância estratégica no planejamento de distribuição urbana, uma série de pesquisas estão voltadas para analisar e mensurar os ganhos, ambientais e operacionais, oriundos da utilização de bicicletas na entrega de itens. Neste grupo de estudos, além de apresentar ganhos quantificáveis do uso da ciclogística, os artigos também detalham barreiras específicas, como questões climáticas, de infraestrutura urbana e de relacionamento com outros atores que utilizam as vias urbanas. Tal cenário auxilia na definição de insights para o planejamento da frota de distribuição que, em geral, carece de um contexto plural, com uso de diversas soluções disponíveis, sendo a bicicleta cargueira um ator cada vez mais relevante, pelo apego ambiental e, também, por apresentar ganhos de produtividade em variadas circunstâncias de uso.

SHAHMOHAMMADI *et al.* (2020), realizaram um estudo de simulação do impacto na geração gases causadores do efeito estufa, comparando a logística convencional, que utiliza cadeias físicas de varejistas como intermediadores, com a distribuição de itens oriundos do e-commerce diretamente ao consumidor final. O resultado que teve o Reino Unido como amostra de estudo é, até certo ponto, surpreendente, ao indicar que a logística de compras *on line* emite mais poluentes que a logística tradicional, principalmente em decorrência da maior quantidade de viagens e da distância total percorrida. Complementarmente, o autor indica que a substituição de veículos a combustão por modelos elétricos na logística do e-commerce, dentre os quais bicicletas elétricas, pode reduzir em 25% a emissão de gases.

Através de uma análise baseada na região de Lake Victoria no Quênia, BUGAJE *et al.* (2021), analisaram a viabilidade de substituição de motocicletas à combustão por

bicicletas elétricas na zona rural do país, sendo os equipamentos elétricos recarregados a partir de energia fotovoltaica de baixo investimento, o que resultaria em um modelo altamente vantajoso, tanto nos aspectos ambientais quanto no custo operacional. O resultado do estudo demonstrou que o potencial de geração de energia elétrica na região com placas fotovoltaicas é superior ao consumo do equipamento, o que demonstra viabilidade da migração. O estudo, no entanto, não avaliou a variabilidade na geração de energia ao longo do ano e as variações climáticas possíveis. De qualquer forma, a solução apresenta uma alternativa importante para regiões com essas características.

Por fim, uma linha de pesquisa relevante e atual, costumeiramente abordado nos estudos de referência em ciclogística, é a relação desse tema, e da logística de última milha como um todo, com o moderno conceito de cidades inteligentes e suas diversas e variadas implicações, inclusive contextualizando o assunto com a pandemia da COVID-19 e os diversos impactos decorrentes na mobilidade, com as restrições de acesso e circulação de pessoas e mercadorias nesse período.

SAVELSBERGH; VAN WOENSEL (2016), apresentam os principais desafios e oportunidades contemporâneos para as cidades inteligentes e a logística de última milha, com as tendências relevantes que impactam o ambiente urbano, como o crescimento da população urbana, *do e-commerce*, da pressão por redução de prazos, da economia colaborativa e da preocupação social com a sustentabilidade e as mudanças climáticas, além dos avanços tecnológicos, como o *big data* e veículos autônomos, que geram oportunidades como operações logísticas em rede, sistemas de entrega e roteirização dinâmicos, pontos de autoatendimento na entrega, entrega colaborativa e logística *omnichannel*. A entrega com bicicletas aparece como um importante elemento na operação logística em rede nesse estudo, principalmente complementando as operações de última milha. MAZZA; TARCHI; JUAN (2022) apresentam similar estudo,

modernizando os achados do tema, e confirmando as tendências observadas 7 anos antes na pesquisa de SAVELSBERGH & VAN WOENSEL, contextualizando-os em um ambiente global afetado pela pandemia da COVID-19 e evidenciando novas opções tecnológicas no cenário, como a *blockchain*, internet das coisas e computação de borda. Quanto à ciclogística, os autores reforçam o uso de bicicletas como melhor alternativa para distribuição na última milha nos centros urbanos, no contexto das cidades inteligentes.

No moderno contexto de relação entre a pandemia da COVID-19 e suas implicações na mobilidade e na logística, VAN RUITENBEEK; SLIK; BHULAI (2021), elaboraram um estudo voltado para a correlação entre esses temas. Utilizando uma base de dados global de transporte marítimo, aéreo, de tráfego de veículos em 400 cidades de 57 países, do uso de bicicletas e de circulação de trens e comparando-os com os principais índices de mercados globais e as curvas de contágio da COVID-19 em todos os continentes, os autores definiram um método de correlação entre todas estas variáveis, demonstrando numericamente o impacto negativo da pandemia na mobilidade global, exceto o uso de bicicletas, por se tratar de uma das atividades com maior impulso de uso durante as restrições globais na pandemia.

De forma geral, as pesquisas recentes sobre o tema buscam reforçar a tendência de adoção de bicicletas na logística e analisar em quais cenários esse equipamento apresenta maior viabilidade de uso. A adoção de bicicletas cargueiras em regiões com menor percorrida, trânsito pesado de veículos, restrições de estacionamento ou circulação, encomendas com menor cubagem total e menor peso (características típicas de demandas oriundas do e-commerce), são tidas, em resumo, como os principais focos da ciclogística a partir dos estudos na área, por apresentarem maior ganho total de

produtividade desse equipamento, se comparado aos modelos tradicionais de distribuição com veículos a combustão interna.

Desenvolvimento de métodos de roteirização específicos, melhoria na infraestrutura urbana e estruturação da especificação técnica mais adequada para cada região e necessidade, são os pontos de atenção mais frequentemente citados e analisados pelos artigos estudados.

4 METODOLOGIA DE PESQUISA

A pesquisa é a atividade concreta no processo de constituição e desenvolvimento científico, possibilitando a produção, identificação e descoberta do conhecimento, respostas para perguntas específicas e soluções de problemas (MUSSI *et al.*, 2019).

Como citado no item 2, a referida pesquisa tem como norte a análise de desempenho da ciclogística, tendo os dados reais de operação dos Correios como fonte de análise. Trata-se, portanto, de uma pesquisa aplicada, pois seu objetivo busca gerar conhecimento para aplicação prática dirigido à solução de um problema específico, de interesse local. Esse tipo de pesquisa concentra-se em torno dos problemas presentes nas atividades das instituições, organizações, grupos ou atores sociais, e está empenhada na elaboração de diagnósticos, identificação de problemas e buscas de soluções, (FLEURY; WERLANG, 2018)

O estudo contempla ainda uma pesquisa bibliográfica sobre o tema que, conforme definido por GARCIA (2016) busca explicar ou apresentar um resultado para uma determinada situação, que será sua contribuição para a ciência ou área de atuação. Considerando a necessidade de explicar o fluxo operacional dos Correios, uma parte relevante do resultado do estudo consiste em uma pesquisa bibliográfica na documentação interna da empresa, para explicitar o fenômeno estudado.

O método de pesquisa adotado foi o de pesquisa-ação, considerando a particularidade da iniciativa de análise e otimização da ciclologística nos Correios, projeto o qual o autor colaborou diretamente.

A pesquisa-ação é a abordagem da pesquisa social aplicada, na qual o pesquisador colabora no desenvolvimento de um diagnóstico para a solução de um problema, por meio do qual as descobertas resultantes irão contribuir para a base de conhecimento em um domínio empírico em particular (MELLO *et al.*, 2012). Nesse contexto, a pesquisa se refere à produção do conhecimento e a ação à uma modificação intencional da realidade.

Enquanto funcionário e pesquisador interno autorizado da Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos, o autor gerenciou a área que coordena a gestão do processo de distribuição, incluindo o método de dimensionamento e estudos de inovação na última milha na empresa.

A inserção das 27 bicicletas elétricas na operação dos Correios no Distrito Federal teve ação direta do autor nas etapas de pesquisa, planejamento e patrocínio. A pesquisa na fase atual do projeto, pós utilização dos equipamentos, tem como objetivo analisar os impactos desse artefato na logística dos Correios, com possibilidade de simulação de expansão da solução de forma corporativa para todo o país. Apesar de manter as características principais da forma de execução das atividades, a bicicleta elétrica é, de certa forma, disruptiva para os Correios e alinhada às mais modernas práticas de distribuição, sendo adotada pelas melhores empresas do segmento e contemplada no ambiente de estudos das cidades inteligentes.

O problema a ser tratado no estudo está relacionado à análise de indicadores de desempenho da operação com bicicletas elétricas e a simulação de expansão da tecnologia na organização, além do aspecto ambiental da adoção de equipamento eletrificados no serviço postal. MELLO *et al.* (2012) apontam que é comum a aplicação de pesquisa-ação

em programas de pós-graduação de universidades brasileiras, quando o pesquisador é oriundo de uma empresa pública ou privada e procura estabelecer como problema de pesquisa uma dificuldade identificada no seu ambiente de trabalho e que mereça uma proposta de solução adequada, que precisa contribuir para a melhoria das práticas organizacionais e para a base de conhecimento científica.

Decorrente do método de pesquisa adotado, a abordagem principal do estudo refere-se a um tipo híbrido: qualitativo e quantitativo. MUSSI *et al.* (2019) pontuam que uma pesquisa com intenção investigativa quantitativa é pautada em explicações matemáticas e modelos estatísticos, enquanto a pesquisa qualitativa tem enfoque nas interpretações das realidades sociais e preocupa-se em analisar concretos em suas particularidades locais e temporais, embasando-se das expressões e atividades das pessoas em seus contextos de vida. Não obstante, o entremeio científico se faz, em muitos casos, alinhando dados quantitativos com explicações qualitativas.

O Quadro 6 apresenta um resumo dos métodos de pesquisa adotados, quanto ao enfoque utilizado.

Quadro 6 - Métodos de pesquisa adotados no estudo

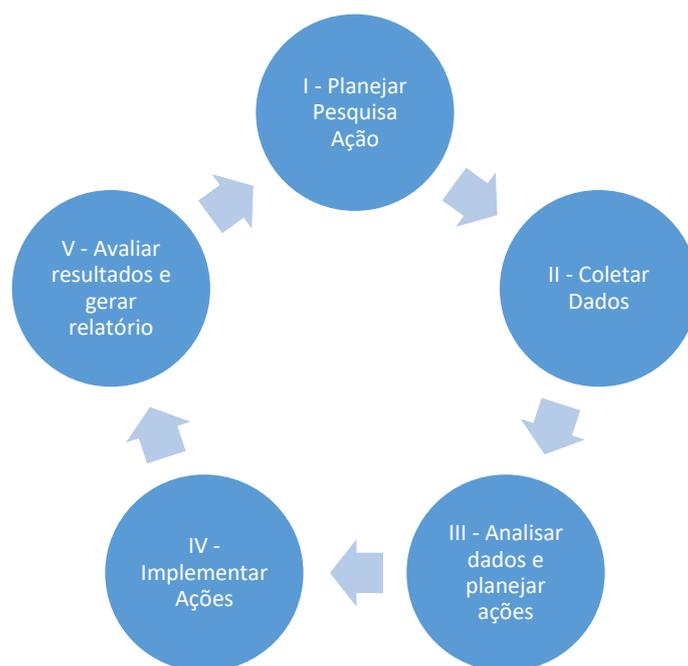
| Tipo | Classificação |
|--------------------------------------|--|
| Quanto à natureza | Pesquisa Aplicada |
| Quanto à forma de abordagem | Pesquisa Qualitativa e Quantitativa |
| Quanto ao ponto de vista do objetivo | Pesquisa Descritiva |
| Quanto aos procedimentos técnicos | Pesquisa-ação e Pesquisa Bibliográfica |

Fonte: Autor.

Em seguimento ao planejamento e desencadeamento lógico das etapas de uma pesquisa-ação definidos por MELO *et al.* (2012), o método de trabalho foi organizado em 5 etapas: planejamento, coleta de dados, análise dos dados e planejamento das ações,

implementação das ações, avaliação de resultados e geração de relatório, conforme exposto na Figura 13.

Figura 13 - Estruturação para condução da pesquisa-ação



Fonte: AUTOR, adaptado de WESTBROOK (1995).

Na etapa de planejamento, considerando que o enfoque do estudo foi a de abordagem dirigida por um problema prático do Correios, foi definida como atividade de iniciação da pesquisa a contextualização do tema, visando analisar a relevância e o ambiente no qual o problema está inserido. Em seguida, foi definida a estrutura conceitual e teórica da pesquisa, com análise da literatura e definição das questões e objetivos da pesquisa, além de selecionar a unidade de análise, no caso os Correios no Distrito Federal, e as técnicas e fontes de coletas de dados a serem adotadas.

Também na etapa de planejamento, foram elaborados 3 artigos científicos relacionados ao tema, que foram submetidos, aprovados e apresentados em congressos de engenharia de produção, sendo um internacional e dois nacionais. Além de possibilitar um aprofundamento na temática, inclusive com pesquisa estruturada na bibliografia mais recente e relevante sobre o tema, a elaboração dos artigos foi planejada de tal forma a serem integrados ao estudo, considerando que as análises foram voltadas para construção posterior de um projeto de pesquisa mais abrangente. Os resumos dos 3 artigos, apresentados no IJCIEOM (*International Joint Conference on Industrial Engineering and Operations Management*), no ENEGEP (Encontro Nacional de Engenharia de Produção) e no SIMPEP (Simpósio de Engenharia de Produção), são expostos nos apêndices A, B e C do presente estudo.

Na etapa de coleta de dados foi definida, com devida autorização formal dos Correios, a fonte dos dados (Geo Correios, que será detalhado no item 4.3), o período de consulta, a forma de tabulação do relatório e o formato do arquivo gerado pelo sistema.

Na etapa de análise dos dados, foram definidos os indicadores chaves do processo (KPI), ou seja, quais componentes do relatório do Geo Correios teriam maior interesse para a análise do fenômeno, expostos no item 4.1., e quais as métricas de análise, incluindo o pré-processamento, acesso aos dados, remoção de colunas com valores nulos e estabelecimento de critérios para remoção de dados (*outliers*).

As etapas de implementar ações e avaliar resultados foram elaboradas em conjunto, considerando que o problema a ser tratado diz respeito à análise objetiva de viabilidade do uso de bicicletas elétricas nos Correios, além de uma simulação, com base nos critérios internos de expansão do equipamento para outras localidades. Nesse cenário de pesquisa, as avaliações de resultado e de implementação foram realizadas em sinergia e integração. O relatório, enquanto entregável do estudo, refere-se ao próprio produto do

trabalho científico. Por meio de um teste estatístico de Mann-Whitney U., o estudo apresentou a análise dos resultados e a avaliação das hipóteses do trabalho, expondo os resultados e demais conclusões de análise.

4.1 Indicadores

Para atingir o objetivo da pesquisa, foram definidos Indicadores Chaves de Processo (KPI, do inglês *Key Processos Indicator*), tidos como os mais relevantes para avaliação do objetivo do estudo. Apesar da base de dados e método de pesquisa serem diferentes, o objeto do estudo desenvolvido por Kjønne; Phan (2017), apresentou similaridade do ponto de vista de área de estudo (ciclogística em ambos os casos) e estudo de caso (DHL e Correios), o que motivou a adoção dos KPIs adotado pelos autores como base para a avaliação dos Correios, logicamente, com as devidas adaptações.

Os principais indicadores de análise definidos foram os expostos no Quadro 7:

Quadro 7 - Indicadores da pesquisa

| Indicador |
|---|
| <i>O1</i> : Quantidade de entregas |
| <i>O2</i> : Quantidade de entregas por km |

Fonte: AUTOR, adaptado de KJØNNØ; PHAN (2017).

Onde:

- *O1* (Quantidade de entregas): número diário de objetos postais que foram entregues pelo carteiro ou tiveram alguma tentativa de entrega na atividade externa. Exclui, portanto, os objetos que tiveram algum evento de rastreamento, de entrega ou tentativa, internamente na unidade de distribuição

(sem visita ao endereço do destinatário);

- *O2* (quantidade entregas por km): similar ao indicador anterior, porém retrata a quantidade de objetos que foram entregues a cada quilometro percorrido pelos carteiros em suas rotas diárias.

Em comparação ao estudo conduzido por KJØNNØ; PHAN (2017), do ponto de vista de seleção de indicadores, foram retirados o de utilização da capacidade média dos equipamentos, por inexistência desse resultado na base de dados analisada, e de emissão de CO₂, pois no teste realizado pelos Correios, as bicicletas elétricas foram apontadas em substituição a outro equipamento não poluente (bicicleta convencional). Apesar dessa particularidade a análise ambiental, que é um dos focos de abordagem no estudo da DHL, foi realizada, porém de forma diferente, por meio de simulação a partir do ajuste de coeficientes na ferramenta de dimensionamento de recursos proprietária dos Correios, tendo como base os resultados dos KPIs de produtividade definidos.

Para viabilizar uma comparação correta (antes e depois) nos indicadores de desempenho, foi utilizada a base do sistema Geo-Correios (mais bem detalhado no capítulo de resultados), de tal forma a identificar os parâmetros esperados pelos Correios para uso de bicicletas convencionais e o resultado efetivo do teste de 27 bicicletas por 1 ano em operações no Distrito Federal. A comparação se deu, necessariamente, nas mesmas regiões de entrega.

Com esses indicadores e essa métrica de comparação, foi possível realizar uma análise estruturada do uso de bicicletas elétricas nos Correios, na vertente de viabilidade operacional do equipamento.

Medir a quantidade de objetos entregues por dia propicia uma análise básica da produtividade do sistema de distribuição. Ao comparar essa métrica antes e depois da

implementação das bicicletas elétricas, é possível determinar se há um aumento ou diminuição significativa no número de itens manipulados pelos funcionários dos Correios em um determinado período. Um aumento na quantidade de objetos entregues por dia indicaria uma possível melhoria na eficiência, já que mais itens estão sendo processados.

Além disso, avaliar a quantidade de itens entregues por quilômetro ajuda a compreender a eficácia do sistema de entrega em termos da distância percorrida. Esse indicador permite analisar quantos itens estão sendo transportados por unidade de distância percorrida. Ao examinar essa métrica, associada à distância total percorrida antes e depois da introdução das bicicletas elétricas, é possível identificar mudanças na capacidade de entrega em relação à área física coberta durante o processo de entrega, e se houve melhora ou piora no atendimento requisitos prometidos aos clientes.

No entanto, é importante considerar que outros fatores internos e externos também podem influenciar esse processo, motivo pelo qual o tratamento estatístico dos dados coletados é fundamental, para mitigar o impacto desses fenômenos no resultado do estudo.

No cálculo de emissão de gases das motocicletas, foram utilizados os parâmetros da CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, uma agência vinculada à Secretaria de Infraestrutura e meio Ambiente do Governo do Estado de São Paulo.

A CETESB emite, desde 2011, o Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo, com uma análise da frota circulante e as emissões de poluentes locais e de gases do efeito estufa no estado. Tais parâmetros são utilizados como uma referência para a modelagem de emissão de gases no transporte no Brasil (PEREZ-MARTINEZ, 2020).

O Quadro 8 apresenta um resumo com a emissão de poluentes, considerando um recorte relacionado à frota (anos e modelos) das motocicletas utilizadas pelos Correios no Distrito Federal.

Quadro 8 - Quadro de emissão de poluentes CETESB

| Ano | Potência | Combustível | CO | HC | NMHC | CH4 | NOX | MP | CO ₂ | N ₂ O | Autonomia |
|------|----------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------------|------------------|-----------|
| | | | (g/Km) | (g/Km) | (g/Km) |
| 2013 | ≤ 150 cc | Gasolina | 0,492 | 0,160 | 0,120 | 0,040 | 0,063 | 0,0035 | 56 | 0,002 | 40,9 |
| 2019 | ≤ 150 cc | Gasolina | 0,566 | 0,111 | 0,083 | 0,028 | 0,023 | 0,0035 | 39 | 0,002 | 55,9 |
| 2020 | ≤ 150 cc | Gasolina | 0,537 | 0,115 | 0,087 | 0,029 | 0,023 | 0,0035 | 43 | 0,002 | 50,9 |

Fonte: CETESB (2022).

A CETESB (2022) também define uma equação de cálculo para estimativa de emissões atmosféricas.

$$E = Iu \times Fe \times Fr$$

Onde:

- E = Emissão total, ou massa de poluente emitida no período considerando (g/ano);
- Iu = Intensidade de uso ou quilometragem média anual percorrida pelo veículo (km/ano)
- Fr = Frota circulante (g/km)
- Fe = Fator de emissão (g/km)

4.2 Coleta de dados

A base de dados principal da pesquisa foi a ferramenta de georreferenciamento dos Correios, denominada `Geo Correios`, que será detalhado no item 5.1.2.

Para testar a hipótese do estudo, foram coletados os dados referentes às entregas de itens/objetos na base Geo Correios, tanto no período anterior ao uso das bicicletas elétricas, quanto no período posterior. Esses dados foram obtidos em formato de tabelas de dados, sendo que a base original continha 10 tabelas, das quais foram identificados na

primeira análise que três destas estavam corrompidas, sem possibilidade de recuperação, e, portanto, não foram utilizadas na análise. Foram copiladas para análise os dados de 7 tabelas.

4.3 Tratamento dos dados coletados

Nos próximos tópicos, serão descritas as etapas de pré-processamento e análise realizado nos dados coletados, incluindo a remoção de colunas com valores nulos, a conversão de formatos de dados, a definição de critérios para dados inconsistentes e a remoção de *outliers*.

Essas etapas são fundamentais para preparar os dados de forma adequada, antes de prosseguir com as análises estatísticas e a comparação dos resultados entre os períodos pré e pós uso das bicicletas elétricas.

4.3.1 Pré-Processamento

O pré-processamento dos dados é uma etapa importante da preparação de análise de dados sendo, muitas vezes, necessário para garantir a validade e a confiabilidade dos resultados gerados. Como a maioria das bases de dados apresentam diversos problemas (como valores faltando, valores inconsistentes, falta de precisão, ruídos e erros de medição) que reduzem a sua qualidade, há necessidade de aplicar técnicas de pré-processamento para melhoria da qualidade destes dados (BARROS *et al*, 2011).

Desse modo, foi realizada uma análise exploratória dos dados, seguindo as seguintes etapas, de forma sequencial:

- Acesso aos dados dos arquivos;
- Remoção de colunas contendo muitos valores nulos;

- Alteração do formato dos dados de *'string'* para *'float'* em algumas colunas;
- Definição de critérios para os dados e remoção de dados que não os seguem; e
- Remoção de linhas que possuem *outliers* em algumas colunas.

Cada etapa do pré-processamento adotado é mais bem detalhada, incluindo a transcrição das linhas de código adotadas para o estudo.

4.3.1.1 Acesso aos dados dos arquivos

Foi utilizada a biblioteca Pandas da linguagem de programação PYTHON, para ter acesso aos arquivos que estão em formato `.csv`, conforme a seguinte linha de comando:

```
df = pd.read_csv('file_name', delimiter=';')
```

4.3.1.2 Remoção de colunas contendo muitos valores nulos

Para avaliar as colunas que possuem muitos valores nulos, foi utilizado o seguinte comando:

```
df.isna().sum()
```

Essa linha de código retorna a quantidade de valores nulos por colunas, indicando quais colunas retirar da base. Como resultando, optou-se por excluir da base as colunas cuja porcentagem de dados vazios ultrapassou 95%.

Para aderência da base em análise ao tratar as informações, optou-se pela retirada das colunas com itens nulos no tratamento, uma vez que estes não teriam influência nos resultados das amostras.

4.3.1.3 Alteração no formato dos dados

Os dados nas colunas de distância informados estavam em formato `'string'`, o que inviabiliza a realização de cálculos e mensurações.

```
['distância entre _a unidade_e_o_ponto','distancia_do_ponto_anterior']
```

Dessa forma, foi utilizado o seguinte comando para alterar o formato da coluna para *float*, o que possibilita a realização de cálculos e avaliação de conteúdo:

```
def makeNumeric(col):  
  
    data_column = col.str.replace(',', '.')  
    data_column = pd.to_numeric(data_column)  
    return data_column  
  
for col in ['distancia_entre_a_unidade_e_o_ponto','distancia_do_ponto_anterior']:  
    df[col] = makeNumeric(df[col])
```

4.3.1.4 Definição de critérios para os dados

Por se tratarem de dados sobre de entregas de itens, há condições que devem ser estabelecidas para remover dados que sejam considerados como incorretos na base, que são os casos em que a distância da entrega e a unidade seja 0 (zero). Assim, foi estabelecido como critérios de erro que a distância do ponto de entrega e a unidade operacional deve ser maior que 0, conforme exposto no seguinte comando:

```
conditions = ((df['latitude'] == 0) | (df['longitude'] == 0) |  
              (df['distancia_entre_a_unidade_e_o_ponto'] <= 150) |  
              (df['distancia_do_ponto_anterior'] == 0) |  
              (df['distancia_entre_a_unidade_e_o_ponto'] > 100000) |  
              (df['distancia_do_ponto_anterior'] > 100000))  
  
df_filtered = df.drop(df[conditions].index)
```

4.3.1.5 Remoção de *outliers*

Apesar de a análise ser viável sem a remoção de *outliers*, como será explicitado no capítulo de resultados.

Foi utilizada uma abordagem analisando o *z-score* de cada dado respectivo a estatística da coluna a qual ele se encontra. Se o valor absoluto do *z-score* do dado está acima de 3, a linha foi considerada como um *outlier*, como exposto na fórmula:

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

Onde:

x: varável analisada;

μ : média dos valores

σ : variância dos valores

No PYTHON, os comandos utilizados foram os seguintes:

```
def detect_outliers_zscore(df, column_names, threshold=3):
    outliers = pd.DataFrame()

    for column_name in column_names:
        # Calculate z-scores for the column
        z_scores = (df[column_name] - df[column_name].mean()) / df[column_name].std()

        # Find outliers for current column
        column_outliers = df[(z_scores > threshold) | (z_scores < -threshold)]

        # Append outliers to the main DataFrame
        outliers = pd.concat([outliers, column_outliers])

    return outliers

# Usage example:
columns_to_check = ['latitude', 'longitude',
'distancia_entre_a_unidade_e_o_ponto', 'distancia_do_ponto_anterior']

outliers = detect_outliers_zscore(df_filtered, columns_to_check)

df_filtered = df_filtered.drop(outliers.index)
df_filtered.head()
```

4.4 Preparação dos dados

Conforme citado no item 4.3., os KPIs do projeto foram extraídos da base Geo Correios, e submetidos a um pré-processamento, citado no item 4.4. Após essas etapas, os dados das tabelas foram analisados, de forma a extrair os indicadores definidos, com base nos critérios definidos, conforme exposto nos próximos tópicos.

4.4.1 Quantidade de objetos entregues por dia.

Para obter a quantidade de entregas por dia, foram realizadas as seguintes etapas:

- Definição da função para separar data e hora: Foi criada a função `separate_date_time(df)` que recebe o DataFrame `df` como entrada. Dentro da função, a coluna `'data'` foi dividida em duas colunas separadas, `'dia'` e `'hora'`, utilizando o método `str.split()` do Pandas. O parâmetro `expand=True` garante que as duas colunas sejam retornadas como resultado. Além disso, foi verificado se a coluna `'dia'` é do tipo *string* usando o método `pd.api.types.is_string_dtype()`. Caso seja uma string, a coluna `'dia'` foi convertida para o formato de data utilizando o método `pd.to_datetime()` e passando o formato correto ("`%d/%m/%Y`"). Por fim, a função retorna o DataFrame com as colunas `'dia'` e `'hora'` separadas.

```
import pandas as pd

def separar_data_hora(df):
    # Dividir a coluna 'data' em 'dia' e 'hora'
    df[['dia', 'hora']] = df['data'].str.split(' ', 1, expand=True)

    # Converter a coluna 'dia' para o formato de data, se necessário
    if pd.api.types.is_string_dtype(df['dia']):
        df['dia'] = pd.to_datetime(df['dia'], format='%d/%m/%Y')

    return df
```

- Chamada da função para separar 'data' em 'dia' e 'hora': A função `separar_data_hora(df_filtered)` foi chamada passando o DataFrame original `df_filtered` como entrada. Isso divide a coluna 'data' em duas colunas separadas, 'dia' e 'hora', utilizando a função definida anteriormente. Em seguida, a coluna 'data' foi removida do DataFrame utilizando o método `drop()` com o parâmetro `axis=1` para especificar que queremos remover uma coluna.

```
df_a = separar_data_hora(df_filtered)
df_a.drop('data', axis=1, inplace=True)
```

- Cálculo da quantidade de entregas por dia: A quantidade de entregas por dia foi calculada utilizando a coluna 'dia' do DataFrame `df_a`. Foi aplicado o método `value_counts()` para contar a frequência de cada valor da coluna 'dia'. Em seguida, o método `sort_index()` foi aplicado para ordenar os resultados com base nos valores da coluna 'dia'.

```
count = df_a['dia'].value_counts().sort_index()
```

Essas etapas nos permitiram separar as informações de data e hora em colunas distintas, remover a coluna original 'data' e calcular a quantidade de análises dos distritos, para viabilizar a quantidade de entregas realizadas por dia. Essa métrica é fundamental para avaliar a eficiência do sistema de entrega ao longo do tempo e será utilizada para análises e comparações futuras.

4.4.2 Quantidade de objetos entregues por quilômetro.

Para analisar a relação entre as entregas realizadas e a distância percorrida, foram realizadas as seguintes etapas:

- Agrupamento dos dados: O DataFrame `df_a` foi agrupado com base nas colunas 'dia' e 'matricula' usando a função `groupby()`. Em seguida, foram aplicadas duas operações de agregação: a soma da coluna 'distancia_do_ponto_anterior' e a contagem dos valores da coluna 'matricula'. Isso foi feito utilizando o método `agg()` e passando um dicionário com as colunas e as operações de agregação desejadas.

```
grouped_df = df_a.groupby(['dia', 'matricula']).agg({'distancia_do_ponto_anterior':  
'sum', 'matricula': 'count'})
```

- Renomeação das colunas: Para maior clareza e legibilidade, as colunas do DataFrame resultante foram renomeadas. A coluna 'distancia_do_ponto_anterior' foi renomeada para 'sum_distancia_do_ponto_anterior' e a coluna 'matricula' foi renomeada para 'count_entries'. Isso foi feito utilizando o método `rename()` e passando um dicionário que mapeia os novos nomes das colunas.

```
grouped_df = grouped_df.rename(columns={'distancia_do_ponto_anterior':  
'sum_distancia_do_ponto_anterior', 'matricula': 'count_entries'})
```

- Redefinição do índice: O índice do DataFrame foi redefinido para que as colunas 'dia' e 'matricula' se tornassem colunas regulares, em vez de fazerem parte do

índice. Isso foi feito utilizando o método `reset_index()`.

```
grouped_df = grouped_df.reset_index()
```

- Cálculo da métrica de entrega por distância percorrida: Foi criada uma nova coluna chamada 'entrega_por_distância_percorrida' no DataFrame `grouped_df`, que representa a razão entre o número de entregas (`count_entries`) e a soma das distâncias percorridas (`sum_distancia_do_ponto_anterior`) para cada combinação de 'dia' e 'matricula'. Isso foi feito dividindo as colunas correspondentes usando a notação de indexação do DataFrame.

```
grouped_df['entrega_por_distância_percorrida'] = grouped_df['count_entries'] / grouped_df['sum_distancia_do_ponto_anterior']
```

- Cálculo do escore de entrega por distância percorrida por dia: Por fim, foi calculado o escore de entrega por distância percorrida para cada dia. Isso foi feito agrupando o DataFrame `grouped_df` pela coluna 'dia' e, em seguida, somando os valores da coluna 'entrega_por_distância_percorrida'. O resultado desse cálculo foi armazenado na variável `score_entrega_por_distancia_por_dia`.

```
score_entrega_por_distancia_por_dia = grouped_df.groupby('dia').sum()['entrega_por_distância_percorrida']
```

Esse conjunto de operações permite analisar a relação entre as entregas realizadas e a distância percorrida. É apresentado na sequência pelo item 4.6 o teste estatístico com

todas as avaliações estatísticas pelo método Mann-Whitney U, que no contexto possui a primeira evidência estatística que a hipótese está correta.

4.5 Teste estatístico

Concluída a organização dos dados exposta no item 4.5, o estudo seguiu na avaliação se houve uma diferença significativa na quantidade de entregas antes e depois da implementação das bicicletas elétricas. Para tanto, foi utilizado o teste estatístico de Mann-Whitney U.

O teste de Mann-Whitney é utilizado para demonstrar que existem diferenças entre grupos independentes com variáveis quantitativas que tem distribuição normal (RIVAS *et al.*, 2013).

As etapas do teste estatístico adotadas no estudo foram as seguintes:

- Importação das bibliotecas necessárias: Para realizar o teste de Mann-Whitney U, foram importadas as bibliotecas pandas e scipy.stats. A biblioteca pandas é usada para manipulação de dados e a scipy.stats contém a função mannwhitneyu para executar o teste.

```
import pandas as pd
from scipy.stats import mannwhitneyu
```

A fórmula matemática adotada foi a seguinte:

$$U = \sum R_j - \frac{n_1(n_1 + 1)}{2}$$

Onde:

U : estatística de teste de Mann-Whitney U

R_j : soma das classificações para as observações do grupo J

n_l : números de observações do grupo

- Preparação dos dados: Supondo que você tenha uma série de dados chamada 'count_values' que contém a contagem de entregas por dia, os valores foram divididos em dois grupos com base na data. O grupo 'before_may' contém as contagens de entregas para as datas anteriores a 1º de maio de 2021, enquanto o grupo 'after_may' contém as contagens de entregas com os dados das colunas que refletem as entregas antes do uso de bicicletas elétricas anteriores a maio/21, e posteriores a este marco, onde foi medida a produtividade posterior ao uso destas.

```
count_values = df_a['dia'].value_counts()
before_may = count_values[count_values.index < pd.to_datetime('2021-05-01')]
after_may = count_values[count_values.index >= pd.to_datetime('2021-05-01')]
```

- Execução do teste de Mann-Whitney U: Utilizando a função mannwhitneyu(), foram inseridos os dois grupos de contagens de entregas, 'before_may' e 'after_may', e especificamos o parâmetro alternative='less' para testar se a distribuição de entregas após maio é estatisticamente menor do que antes de maio. O teste retorna duas informações: a estatística do teste e o valor de p, que representa a probabilidade de obter um resultado tão extremo quanto o observado, assumindo que as duas amostras vêm da mesma população.

```
statistic, p_value = mannwhitneyu(before_may, after_may, alternative='less')
```

- Impressão do resultado do teste: O resultado do teste é impresso na tela. A estatística do teste (statistic) fornece uma medida do quanto as duas amostras diferem entre si. O valor de p (p-value) indica a significância estatística do teste, ou seja, a probabilidade de obter um resultado tão extremo quanto o observado, assumindo que as duas amostras vêm da mesma população. Valores de p baixos indicam uma diferença estatisticamente significativa.

```
print(f"Statistic: {statistic}")  
print(f"P-value: {p_value}")
```

O teste de Mann-Whitney U é apropriado neste contexto, pois permite comparar as contagens de entregas antes e depois da implementação das bicicletas elétricas, considerando que os dados podem não seguir uma distribuição normal. Ao realizar esse teste, é possível determinar se há uma diferença estatisticamente significativa na quantidade de entregas entre os dois períodos, e verificar se a implementação das bicicletas elétricas teve um impacto positivo nas operações postais.

Entregas por dia é uma métrica que definida no estudo para avaliar a efetividade do uso de bicicletas elétricas. Os valores encontrados indicam se a probabilidade da hipótese está errada. Se o valor é baixo é porque ela está provavelmente certa - o que de fato ocorreu. Não houve sequência pelo teste de normalidade, em razão da amostra ter sido validada.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de resultados do estudo foi organizado em uma sequência lógica, visando analisar o fenômeno desde a explicação do contexto (como os Correios utilizam a bicicleta na logística e quais os sistemas de geraram as bases de controle utilizadas), passando pela avaliação de desempenho, a fim de verificar se houve ganho no aspecto operacional, viabilizando assim uma simulação do potencial nacional de uso das bicicletas elétricas nos Correios e, por fim, uma simulação da redução de emissão de CO₂ nas operações postais no Distrito Federal em decorrência do uso do equipamento eletrificado em substituição à equipamentos com motorização à combustão.

A etapa de ambientação foi obtida por meio de uma pesquisa bibliográfica interna, visando explicar e contextualizar o uso de bicicletas nos Correios e o sistemas de controle adotados, assim como a base de dados que foi utilizada no estudo.

A etapa de análise de resultado, simulação de expansão de uso de redução de emissão de CO₂, foram obtidas por meio de análise quali-quantitativas, aplicando método estatístico de organização e análise de dados, e simulação de performance da ciclogística nos Correios.

5.1 Principais características das operações postais no Brasil

A Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos (ECT) é o órgão responsável pela universalização da prestação dos serviços postais básicos no território nacional, com objetivo de conectar todos os municípios do país, tanto por meio de Agências de Correios (AC), responsáveis pela captação de objetos postais, quanto por meio de Centros de Distribuição Domiciliária (CDD), responsáveis pela distribuição dos mesmos objetos.

Para cumprir essa missão, a ECT dispõe de uma larga infraestrutura operacional, instalada em todas as regiões do país. Os principais números da estatal são superlativos e demonstram a complexidade e grandiosidade de um modelo operacional que interliga todos os municípios do país. O Quadro 9 apresenta um resumo dos principais números da infraestrutura operacional dos Correios.

Quadro 9 - Infraestrutura operacional dos Correios

| Macroprocesso | Infraestrutura disponível | Efetivo próprio alocado |
|----------------------|---|---|
| Atendimento | 12.122 unidades operacionais | 24 mil atendentes comerciais |
| Tratamento | 45 unidades operacionais | 12 mil operadores de triagem e transbordo |
| Transporte | 11 linhas aéreas e 25 mil veículos próprios | |
| Logística Integrada | 59 centros de logística integrada | |
| Distribuição | 1052 unidades de distribuição | 54 mil carteiros |

Fonte: CORREIOS (2022).

Com base em pesquisa documental nos manuais técnicos dos Correios, percebe-se que processo de distribuição domiciliária é o responsável pelas atividades de última milha no fluxo operacional do serviço postal. Trata-se, portanto, de atividade com uso intensivo de mão de obra (são cerca de 54 mil carteiros) e com necessidades diversas de estruturação de execução e de equipamentos, para que seja efetivo e eficiente, diante dos desafios da universalização da distribuição em um país tão extenso, diverso e desnivelado nos aspectos de infraestrutura, como é o Brasil.

O processo de distribuição nos Correios é estruturado a partir do dimensionamento de carga de trabalho para cada região específica de entrega. Toda a metodologia é parametrizada em uma ferramenta proprietária dos Correios, denominada de Sistema de

Distritamento (SD), e sua versão adaptada para encomendas (Sistema de Distritamento de Encomendas – SDE).

Resumidamente, o SD/SDE dimensiona os recursos de distribuição em cada área, considerando a projeção de carga a ser distribuída, frente ao tempo padrão esperado para execução das atividades.

A carga a ser distribuída é obtida de duas formas:

- Os objetos com registro de rastreamento por código de barras, QR Code ou RFID, são incorporados automaticamente no SD/SDE, por meio de integração de bases de dados. São exemplos desse tipo de objeto: SEDEX, PAC, Carta Registrada e Malote.
- Os objetos sem registro são contados manualmente a cada período determinado (6 meses a 1 ano), inseridos em formulários, cadastrados no SD/SDE e comparados com a base histórica desse tipo de carga em cada localidade. São exemplos desse tipo de objetos: cartas simples, faturas e revistas.

O tempo padrão esperado para cada atividade advém de estudos de cronoanálise, que são elaborados e atualizados sempre que ocorre alteração em uma atividade ou mudança na forma de prestação do serviço.

Aliados a esses dois critérios básicos, o SD/SDE utiliza ainda outros parâmetros para dimensionar os recursos de distribuição, como a extensão de cada logradouro atendido, o nível de tráfego de veículos em cada trecho, a atividade do terreno, a forma como o carteiro percorre o trecho (em ‘U’; atendendo um lado da rua por vez ou em ‘Z’; atendendo os dois lados da rua alternadamente) e a cubagem/volumetria projetada para cada tipo de objeto esperado para aquela região.

A partir desses dados, a ferramenta calcula o tempo necessário para que o carteiro atenda cada rua, somando tanto o tempo necessário para as atividades externas

(percorrida, espera do cliente, entrega propriamente dita etc.) quanto o tempo necessário de preparação de carga (triagem dos objetos, lançamento de dados em sistemas de rastreamento, organização dos equipamentos de entrega etc.) no Centro de Distribuição Domiciliária (CDD), utilizando o Código de Endereçamento Postal (CEP) de cada logradouro como chave principal de organização dos dados. Ao todo, somando atividades internas de preparação e externas de entrega, são cerca de 150 atividades mapeadas, com seus respectivos tempos padrão parametrizadas.

Assim, agrupando um conjunto de CEP conurbados e baseado no tempo esperado de execução, o sistema propõe uma região que corresponda à carga de trabalho de uma pessoa com 480 minutos de jornada diária esperada, incluindo ainda o tempo que carteiro utiliza para sair da unidade e chegar ao primeiro ponto de entrega e do último ponto de entrega para o retorno na unidade (denominado de percurso improdutivo). Tal região nos Correios é denominada como distrito postal.

Com bases nesses parâmetros o SD/SDE dimensiona qual a forma de percorrida mais adequada para cada região, sendo adotadas para a entrega de cartas e pequenas encomendas as seguintes opções de distritos postais:

- Distritos pedestres (P): executados sem equipamento de apoio à movimentação, onde o carteiro utiliza uma bolsa lateral e o transporte público para acessar a região de entrega. São parametrizados para regiões de alta densidade de carga (maior que 28,5 objetos/km) e baixo percurso total (menor que 8km de caminhada total), independente da atividade do terreno na região. Esse tipo de percorrida tem reduzido significativamente nos Correios nos últimos anos, principalmente em decorrência da redução na quantidade de correspondências no fluxo postal, em razão da substituição desse tipo de produto por soluções tecnológicas.
- Distritos de bicicleta (B): em geral são adotadas para regiões predominantemente

planas, com percurso improdutivo médio (maior que 8km e menor que 30km) e densidade média de carga (maior que 11,4 e menor que 28,5 objetos/km). Aqui cabe uma observação pois, de certa forma, os operadores postais são os patronos da ciclogística no Brasil e no mundo, pois a adoção desse tipo de equipamento na logística de última milha foi adotado pela primeira vez no mundo no Royal Mail e no Brasil pelos Correios, como citado no item 2.1.4. A bicicleta é parceira fundamental para a execução das atividades postais e continua representativa e, ainda, com novas perspectivas e possibilidade de uso com a popularização dos modelos elétricos.

- Distritos motorizados (M): adotadas para regiões com média e baixa densidade de carga (menor que 11,4 objetos/km), com percurso improdutivo alto (maior que 30Km), em regiões com alta atividade ou regiões com uso impeditivo para bicicletas, como trechos ‘*off road*’ e com trajetos em rodovias, por exemplo. Seguindo uma tendência observada em praticamente toda a logística urbana brasileira, o uso de motocicletas nos Correios apresenta forte apelo, sendo o modal mais utilizado pelos carteiros, considerando as possibilidades de agilidade na circulação, principalmente nas vias congestionadas das grandes metrópoles, cenário especialmente complicado no Brasil, que possui 5 entre as 60 cidades mais congestionadas do mundo (TOMTOM, 2020). A facilidade de aquisição e manutenção em praticamente qualquer município também estimularam o uso intensivo desse tipo de equipamento.
- Distritos de veículo (V): essas percorridas são, em geral, utilizadas para entrega de encomendas de maior volume e possuem método próprio de dimensionamento, baseado em ferramenta especializada (Sistema de Distritamento de Encomendas - SDE), que guarda similaridade com o SD, porém faz uso de ferramentas de

roteirização georreferenciadas e TMS (*Transport Management System*). Esses distritos, que totalizam cerca de 10 mil regiões, não foram alvo de análise do presente estudo.

O Quadro 10 apresenta a quantidade de distritos postais nos Correios, por tipo de percorrida, em todo o país, sendo excluídos os cerca de 10.000 distritos de veículos.

Quadro 10 - Tipos de locomoção nos Correios

| Tipo de locomoção | Quantidade |
|-------------------|------------|
| Pedestres | 7.820 |
| Bicicleta | 3.573 |
| Motocicleta | 10.722 |
| Total | 22.115 |

Fonte: Correios (2022).

O Quadro 11 apresenta um resumo dos critérios básicos de definição do tipo de locomoção para cada região.

Quadro 11 - Critérios básicos de definição do tipo de locomoção

| Tipo de locomoção | Percurso improdutivo (km) | Percorrida total (km) | Aclividade do terreno | Densidade de carga (obj/km) |
|-------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|
| Pedestre | Curto < 5 | Curta < 8 | Indiferente | Alta >28 |
| Bicicleta | Médio >5 e <8 | Média >12 e < 15 | Plano | Média >11 e < 28 |
| Motocicleta | Alto >8 | Alta > 15 | Indiferente | Baixa <11 |

Fonte: CORREIOS (2022).

De forma geral percebe-se, pelos critérios definidos que, atualmente, há restrição ao uso de bicicletas do ponto de vista de parametrização de dimensionamento, que direciona o uso de bicicletas para condições específicas (regiões planas, com percurso improdutivo e densidade de carga médios). Esse é tido como o principal fator, do ponto de vista de planejamento, para a redução no uso de bicicletas nos últimos anos, de 8.000 para menos 4.000 distritos ciclistas, e a expansão no uso de motocicletas nas operações de última milha dos Correios.

Esse cenário diverge do observado na tendência global, que apresenta estímulo para crescimento da ciclogística nas operações de última milha, conforme exposto no capítulo de revisão da literatura.

5.2 O sistema de georreferenciamento nos Correios (Geo Correios)

Basicamente, esse software é um repositório de mapas, vetores e coordenadas geográficas de diversos aplicativos em uso nos Correios, como a coordenada geográfica que representa o endereço das unidades operacionais e Agências, e das percorridas dos carteiros. O próprio manual do GEO Correios aponta algumas possibilidades projetadas de uso e uma breve explicação dos objetivos do sistema.

“A adoção de tecnologia de geoprocessamento é decisão estratégica e já adotada em outras Administrações Postais, dada a natureza geoespacial das atividades de correios e as inúmeras possibilidades para a redução dos custos operacionais e alavancagem de novos negócios, contidos nessa nova área de conhecimento, se incorporada pela empresa.

O Projeto de Geotecnologias, não trata só do desenvolvimento de sistemas aplicativos específicos utilizando tecnologia GIS, mas sim de dotar os Correios de uma arquitetura e posterior infraestrutura tecnológica capaz de alavancar diversos projetos da empresa.

Sua materialização, além de resgatar um déficit tecnológico importante, nos acena com um futuro promissor, no qual os Correios disporão de um conjunto de ferramentas fundamentais para apoio ao processo de planejamento operacional, tático e estratégico. Esta é umas das grandes motivações/interesse das áreas sistêmicas envolvidas no projeto e que serão certamente estendidas às demais áreas da empresa.” (CORREIOS, 2020)

O Geo Correios utiliza bases públicas de mapas, como o *open streetmaps*, e os diversos ajustes realizados pelas equipes operacionais em todo país para incrementar, atualizar e qualificar as informações de logradouros e demais informações cujo georreferenciamento possa agregar valor, como a inclusão de informações de tipo de atividade econômica em cada trecho, para melhorar a base de conhecimento da mala direta postal, por exemplo.

Especificamente para a pesquisa de ciclogística a funcionalidade utilizada foi a base de dados de percorridas dos carteiros, a qual merece uma concisa explanação do método de captação dos dados e da evolução da tecnologia de rastreamento de objetos nos Correios, que internamente recebe o nome de SRO (Sistema de Rastreamento de Objetos).

Até 2012 a empresa adotava métodos mais simples de rastreamento dos objetos, basicamente obtidos por meio de coletores *'offline'* de dados de códigos de barras dos objetos, que então eram transmitidos pela rede dados para um servidor central, para disponibilizar a informação para clientes e sistemas internos de mensuração de desempenho. As listas de objetos, que nos Correios recebe o nome de LOEC (Lista de Objetos Entregues ao Carteiro) era um formulário impresso, onde o carteiro, após a leitura do código de barras dos objetos e impressão da lista, inseria antes de sair para a distribuição, de forma manuscrita, os nomes dos logradouros e depois coletava na LOEC impressa a assinatura do recebedor no ato da entrega. Esse modelo gerava um tempo de preparação e de entrega elevados, a necessidade de estoque para guarda de documentação impressa em todas as unidades operacionais e, ainda, a obrigatoriedade que o carteiro ordenasse os objetos na sequência de entrega, previamente à leitura todos os objetos, pois a impressão da LOEC seguia necessariamente a mesma sequência de entrada de dados no SRO.

Em 2012 foi desenvolvido e implantado nacionalmente uma funcionalidade no SRO denominada de “LOEC Automática”, onde o sistema de rastreamento incorporava previamente em sua base de dados o cadastro de logradouros, o CEP de destino informado no ato da postagem e a sequência fixa de percorridas usualmente adotado por cada carteiro. Esse modelo, apesar de prever uma rota estática e ainda gerar uma lista impressa, possibilitou alguma automatização do ponto de vista de sequenciamento de percorrida, dispensado a necessidade de leitura na mesma sequência ordenada de previsão de entregas e, também, a necessidade de preenchimento manual do nome de cada logradouro na LOEC. O ganho de produtividade com o novo método de trabalho nas atividades de preparação foi de cerca de 25% por carteiro, o que representou um avanço significativo na otimização das atividades internas nas unidades de distribuição.

A partir de 2016 foi desenvolvido o “SRO móvel”, onde a empresa adquiriu 55 mil aparelhos celulares voltados para, originalmente, substituir as LOEC impressas por uma lista digital inserida em um aplicativo para smartphone. Além de eliminar o papel (e todos os custos e complicadores decorrentes do seu fornecimento, manuseio e armazenagem), o SRO móvel, e o smartphone com cada carteiro, acabaram gerando algumas outras possibilidades de evoluções relevantes para o processo de distribuição postal, com o uso de outros aplicativos mobile para uso corporativo (RH, comunicação corporativa entre outros); facilidade de comunicação entre o carteiro e a equipe de apoio (ajuste de rota e demanda, pedido de ajuda entre outros); possibilidade de uso de uma roteirização dinâmica, inclusive com informação de trânsito em tempo real, utilizando a base de dados dos Correios e um algoritmo de elaboração de rotas de um *software* especializado (TMS); entrega colaborativa; o registro fotográfico do comprovante de cada entrega, como ilustrado na Figura 14; e o que mais interessa ao tema de pesquisa: o registro das coordenadas de localização de percorrida de todos os carteiros.

Figura 14 - Carteiro operando o Sistema Móvel de Rastreamento de Objetos



Fonte: Correios (2022).

Por ter GPS embarcado, todos os *smartphones* dos Correios são configurados para transmitir, a cada 15 segundos aproximadamente, a coordenada de posicionamento de todos os carteiros e, também, a coordenada a cada vez que um objeto com registro é entregue, ou tem uma tentativa de entrega mesmo que frustrada, como destinatário desconhecido no endereço, por exemplo.

O objetivo da transmissão da coordenada de percorrida e entrega não tem caráter evasivo, para monitorar individualmente cada movimentação dos empregados, mas sim um caráter de inteligência de dados, pois abre-se uma série de novas oportunidades e perspectivas de geração de valor com base em ciência de dados, inclusive na confirmação da coordenada geográfica de uma entrega ou tentativa, em caso de uma eventual reclamação de algum cliente, além da possibilidade de qualificação massiva na base de informações de logradouros em todos o país.

Essa base de dados de percorridas e entregas, que armazena as coordenadas geográficas de todos os carteiros a cada 15 segundos, é que foi a base principal de análise do estudo. A extração e utilização dos dados para análise e divulgação de resultados, devidamente autorizada pela empresa em rito formal interno, gera uma quantidade de dados elevada, com cerca de 45 mil registros por dia apenas no Distrito Federal, que podem desdobrar diversas análises relevantes, inclusive para gerar os indicadores operacionais de pesquisa citados no item 4.1.2.

Para os usuários finais da ferramenta, o Geo Correios possibilita gestão visual facilitada, com base em mapas e pontos georreferenciados de percorrida, viabilizando que carteiros e gestores atuem na melhoria das atividades diárias de distribuição.

Os Quadros 12 (a)–(b) apresentam um exemplo de dados que foram extraídos do Geo Correios para subsidiar o estudo. Em apenas um dia e em um único distrito foram geradas 659 coordenadas, entre dados de percorrida e de entrega. Aqui são apresentados apenas 6 registros para fins de exemplo e explicação posterior de cada campo do quadro.

Quadro 12 (a) - Exemplo de dados do banco Geo Correios.

| sigla_se | mcu_unidade | nome_unidade | Data | distrito_postal | matrícula | tipo_ponto | tipo_movimento | local_do_ponto |
|----------|-------------|------------------|---------------------|-----------------|-----------|------------|----------------|-----------------------|
| BSB | 4252 | CDD BRASILIA SIA | 09/05/2022 16:26 | 605 | 81366108 | NULL | P | Ponto Fora da Unidade |
| BSB | 4252 | CDD BRASILIA SIA | 09/05/2022 16:26 | 605 | 81366108 | NULL | P | Ponto Fora da Unidade |
| BSB | 4252 | CDD BRASILIA SIA | 09/05/2022 16:26 | 605 | 81366108 | NLO | E | Ponto Fora da Unidade |
| BSB | 4252 | CDD BRASILIA SIA | 09/05/2022 16:26 | 605 | 81366108 | NULL | P | Ponto Fora da Unidade |
| BSB | 4252 | CDD BRASILIA SIA | 09/05/2022 16:27 | 605 | 81366108 | NULL | P | Ponto Fora da Unidade |
| BSB | 4252 | CDD BRASILIA SIA | 09/05/2022 16:27 | 605 | 81366108 | NULL | P | Ponto Fora da Unidade |
| BSB | 4252 | CDD BRASILIA SIA | 09/05/2022 16:27 | 605 | 81366108 | NULL | P | Ponto Fora da Unidade |
| BSB | 4252 | CDD BRASILIA SIA | 09/05/2022 16:28 | 605 | 81366108 | NLO | E | Ponto Fora da Unidade |
| BSB | 4252 | CDD BRASILIA SIA | 09/05/2022 16:28 | 605 | 81366108 | NLO | E | Ponto Fora da Unidade |

Fonte: Correios (2022).

Quadro 13 (b) - Exemplo de dados do banco Geo Correios.

| latitude | longitude | distancia_entre_ a_unidade _e_o_ponto | distancia_do_ ponto_anterior | tempo_entre_ pontos | cep |
|-------------------------|-----------------------------|---|---------------------------------|------------------------|----------|
| -1.576.620.645 | -4.793.876.816.666.660 | 4407,70 | 80,53 | 8 | |
| -15.766.185.383.333.300 | -4.793.872.223.333.330 | 4411,34 | 5,66 | 4 | |
| -15.766.185.383.333.300 | -4.793.872.223.333.330 | 4411,34 | 0 | 1 | 70632100 |
| -15.766.212.800.000.000 | -479.387.602 | 4407,21 | 5,28 | 9 | |
| -15.766.193.116.666.600 | -479.388.581 | 4406,68 | 11,13 | 54 | |
| -15.766.125.066.666.600 | -4.793.884.045 | 4414,79 | 8,11 | 3 | |
| -15.766.166.649.999.900 | - 47.938.811.599.999.900 | 4410,94 | 5,78 | 8 | |
| -15.766.166.649.999.900 | - 47.938.811.599.999.900 | 4410,94 | 0 | 3 | 70632100 |
| -15.766.166.649.999.900 | - 47.938.811.599.999.900 | 4410,94 | 0 | 0 | 70632100 |

Fonte: Correios (2022).

Quadro 14 (c) - Exemplo de dados do banco Geo Correios.

| número | objeto | motivo | status | descricao_motivo |
|--------|---------------|--------|--------|---------------------------------------|
| | | NULL | 0 | NULL |
| | | NULL | 0 | NULL |
| 450 | BT708010949BR | BDE | 6 | Destinatário desconhecido no endereço |
| | | NULL | 0 | NULL |
| | | NULL | 0 | NULL |
| | | NULL | 0 | NULL |
| | | NULL | 0 | NULL |
| 370 | QJ186179037BR | BDE | 1 | Entregue |
| 370 | QJ184879495BR | BDE | 1 | Entregue |

Fonte: Correios (2022).

Onde:

- Sigla_SE: Informa qual a Superintendência Estadual a que se refere a base de dados. No caso em tela, Brasília (BSB);
- MCU_unidade: Código interno dos Correios que classifica as unidades operacionais e administrativas, por centro de custos;
- Nome_unidade: descrição da unidade operacional a que se refere os dados. No caso, trata-se do Centro de Distribuição Domiciliária do Setor de Indústria e Abastecimento de Brasília.
- Data: dia e hora em que foi gerado o evento no banco de dados.
- Distrito_postal: Código interno nos sistemas dos Correios, que identifica determinada região de entrega
- Matrícula: código de identificação do empregado que atuou na distribuição no distrito
- Tipo de ponto e tipo de movimento: segregação entre `null` quando for uma coordenada de percorrida e `nlo` quando for coordenada de entrega ou tentativa de entrega. Igualmente, “p” para percorrida e “e” para entrega
- Local do ponto: segregado entre “ponto fora da unidade”, quando a coordenada foi obtida a mais de 100m do endereço da unidade operacional, e `ponto dentro da unidade` quando a distancia for inferior a 100m. Basicamente, diferencia os eventos que decorrem da atividade de distribuição externa dos carteiros, das entregas que são feitas na própria unidade, quando o destinatário se locomove para receber o objeto

- Latitude e longitude: coordenadas geográficas, capturadas pelo GPS do smartphone, que representam a localização exata do carteiro naquele momento;
- Distancia_entre_a_unidade_e_o_ponto: apresenta, com base nas coordenadas geográficas, a distância que o evento foi gerado até a unidade operacional de origem do empregado;
- Distancia_do_ponto_anterior: apresenta, com base nas coordenadas geográficas, a distância do ponto atual com o evento anterior. É, ao lado do tempo de entre pontos, o dado mais relevante para o estudo, pois apresenta os componentes para cálculo da velocidade média do distrito, a cada ponto.
- Tempo_entre_pontos: demonstra a diferença de tempo para o evento anterior. A parametrização básica é de envio das informações a cada 15 segundos, porém esse tempo pode variar a depender da velocidade da rede e da frequência de entregas. De qualquer forma, a base gera uma quantidade necessária para um mapeamento eficaz da percorrida
- CEP: Código de Endereçamento Postal do logradouro. É informado apenas quando ocorre um evento de entrega ou tentativa, ficando sem dado quando se tratar de evento de percorrida
- Numero_endereco: Numero da casa/ponto. A exemplo do CEP, é preenchido apenas em eventos de entrega
- Objeto: código alfanumérico com 13 caracteres que qualifica os objetos postais. É preenchido apenas em eventos de entrega
- Motivo: Quando for coordenada de percorrida é preenchido com `null`, pois não se aplica nesse tipo de atividade. Quando for coordenada de entrega é classificada

em BDE (Baixa de Distribuição Externa), indicando que o objeto foi entregue em atividade externa, ou BDI (Baixa de Distribuição Interna), indicando que o objeto foi entregue na unidade, onde o destinatário se locomoveu para receber sua encomenda.

- Status: “0” para coordenada de percorrida e “1” para coordenada de entrega ou tentativa;
- Descrição do motivo: Texto do evento, seja de “entregue” ou um dos motivos de não entrega, como “mudou-se” ou “não existe o número indicado”.

5.3 Análise de desempenho das bicicletas elétricas no serviço postal

O estudo se propõe a analisar as características de uso de bicicletas elétricas na operação logística dos Correios, tendo como base de estudo o uso de dados das rotas percorridas por 27 bicicletas cargueiras elétricas no Distrito Federal ao longo de um ano, e avaliação das coordenadas das percorridas e entregas armazenadas na base de georreferenciamento dos Correios.

Para realizar um teste prático e em escala adequada desse equipamento, os Correios promoveram a locação por um valor total do contrato de R\$ 323.963,40, via licitação pública, de 27 bicicletas elétricas no período de 01 de maio de 2021 a 1 de maio de 2022, nas regiões do Distrito Federal expostas no Quadro 13.

Quadro 15 - Centros de Distribuição dos Correios com bicicletas elétricas.

| Unidade | Endereço | Quantidade | Código dos distritos |
|-----------------------------|---|------------|--|
| CDD Núcleo Bandeirante | Quadra 2, Conjunto C Setor de Indústria Bernardo Saião 7173-970 | 3 | 601,602,603 |
| CDD Recanto das Emas | Quadra 205, Lote 1, Loja 2 72610-970 | 6 | 610,611,612, 614,615,616 |
| CDD Samambaia | QS 112, Bloco 6, Lote 01 Samambaia Sul 72302-970 | 10 | 601,602,603,604 607,614,616, 621,622,623 |
| CDD Santa Maria | CL 115, Lote E, Av. Alagados 72545-971 | 2 | 605,606,608 609,610,611 |
| CDD São Sebastião | Av. São Sebastião, 2.781 Vila São José 72150-970 | 4 | 602,605,608,611 |
| CDD Taguatinga (Zona Leste) | EQNL 1/3, Bloco A Taguatinga Norte 72150-970 | 2 | 605,611 |
| Total | | | 27 |

Fonte: Correios, 2022

A avaliação, portanto, se baseou em identificar as características operacionais desses equipamentos em uso ao longo do período de teste nos distritos onde houve aporte de bicicletas elétricas, tendo as coordenadas geográficas de percorridas como fonte primária de análise de desempenho. A avaliação dos resultados foi segmentada em dois tipos: com e sem remoção dos *outliers*, ampliando as possibilidades de análise dos resultantes do estudo, considerando que, pela avaliação da base com mais de 2 milhões de dados, obteve-se resultados com campos nulos, o que facilitou a adequação do estudo.

5.3.1 Com outliers removido

O Quadro 14, seguinte, apresenta os resultados do teste feito em cada tabela de dados referentes às localizações.

Quadro 16 - Resultados do teste *Mann Whitney U* para as métricas

| Data Set | Valor P | |
|------------------------|------------------|----------------------|
| | Entregas por dia | Distância Percorrida |
| CDD Núcleo Bandeirante | 0 | 0 |
| CDD Recanto das Emas | 0,339 | 0 |
| CDD Samambaia (601) | 0,373 | 0 |
| CDD Samambaia (614) | 0,421 | 0,0015 |
| CDD Santa Maria | 0 | 0 |
| CDD São Sebastião | 0,993 | 0,339 |
| CDD Taguatinga Leste | 0,999 | 0 |

Fonte: Autor.

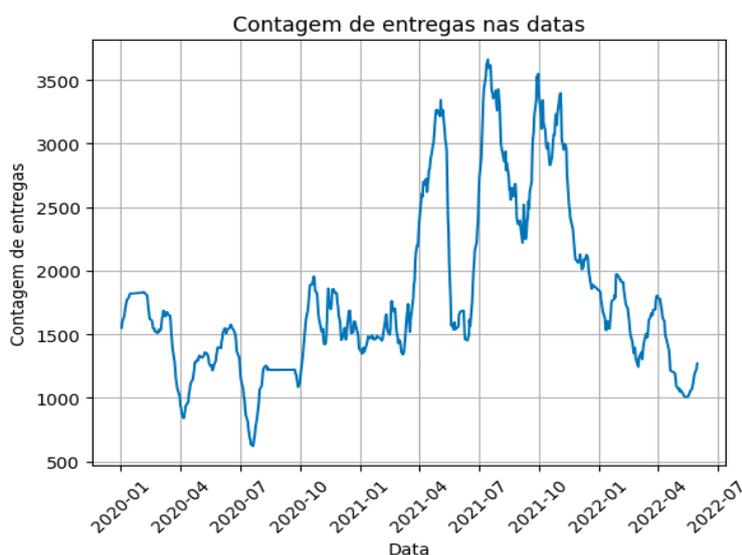
A tabela apresenta os valores P resultantes de um teste estatístico realizado para comparar as métricas "Entregas por dia" e "Distância percorrida" entre diferentes conjuntos de dados representados pelos nomes dos CDD's.

Os valores P, com significância $P\ value = 0,05$, indicam a probabilidade de obter resultados tão extremos quanto os observados, assumindo que não há diferença real entre os grupos. Valores P menores sugerem diferenças estatisticamente significativas, enquanto valores P maiores indicam que não há diferenças significativas.

Os resultados mostram que algumas comparações têm diferenças estatisticamente significativas, enquanto outras não. Portanto, há variações estatisticamente significativas nas métricas analisadas nos diferentes conjuntos de dados dos CDD's.

Para fins de visualização e análise, são apresentados os gráficos referentes ao *dataset* CDD_RECANTO_DAS_EMAS. Na imagem da Figura 15, é possível observar a evolução das entregas por dia ao longo do tempo, com o eixo x representando as datas e o eixo y indicando a quantidade de entregas, suavizado com filtro Savitzky Golay.

Figura 15 - Gráfico de linha da contagem de entregas por dia no CDD Recanto das Emas.



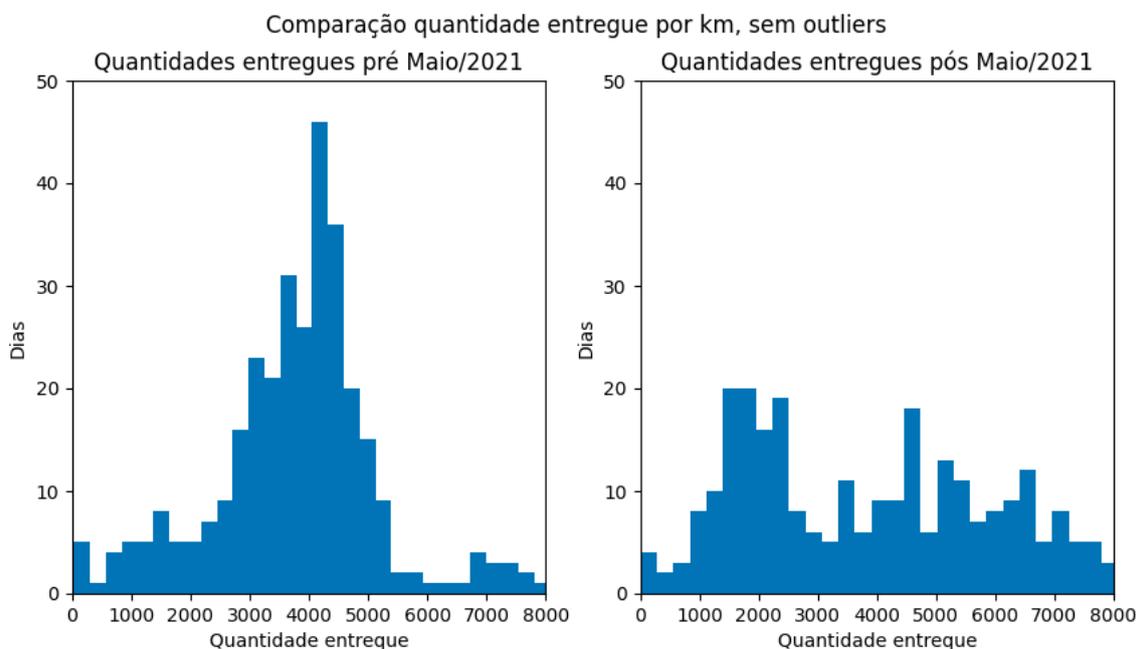
Fonte: AUTOR.

Com base na análise do gráfico, é possível identificar uma tendência de aumento nas entregas por dia, após a implementação das bicicletas elétricas em maio de 2021. Essa tendência sugere que o uso dessas bicicletas contribuiu para uma maior eficiência no processo de entrega de correspondências.

No entanto, é importante notar que, após um período de crescimento, observa-se uma queda na quantidade de entregas por dia no começo de 2022. Essa queda pode ser

atribuída a diversos fatores, como variações sazonais, flutuações no volume de correspondências ou outros elementos externos que afetam o processo de entrega.

Figura 16 - Histograma de comparação antes e depois do uso de bicicletas elétricas.



Fonte: AUTOR.

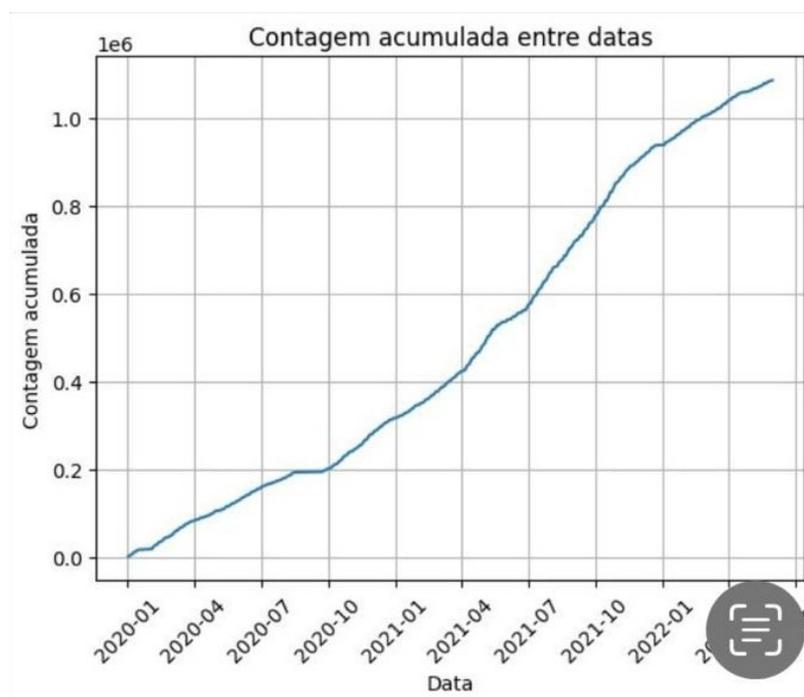
Ao analisar a quantidade de entregas feita por dia, podemos observar um impacto significativo do uso de bicicletas. Os histogramas apresentados na Figura 16 fornecem uma representação visual dessa relação.

Comparando os dois histogramas, é possível notar uma diferença estatística. O histograma da direita, que representa o período após a implementação das bicicletas, possui uma distribuição mais achatada em comparação ao primeiro histograma. Isso indica que, com o uso das bicicletas há uma tendência de realização de mais entregas, possivelmente com a mesma distância percorrida, pois o histograma utiliza quantidade de entregas com uso e sem uso de bicicletas elétricas, pela média percorrida em Km, que é uma variável crucial na análise.

Essa evidência sugere que as bicicletas elétricas têm um impacto significativo na quantidade de objetos entregues por dia. Essa eficiência pode ser atribuída a diversos fatores, como a agilidade e mobilidade proporcionadas pelas bicicletas, permitindo um acesso mais rápido e eficaz às áreas de entrega.

Portanto, é possível concluir que o uso de bicicletas elétricas influencia positivamente a quantidade de objetos entregues em relação à distância percorrida. Essa constatação destaca a eficácia desses meios de transporte sustentáveis e ressalta sua contribuição para a otimização do processo de entrega de correspondências, conforme exposto na Figura 17 a seguir, que apresenta a evolução da quantidade de entregas ao longo do período analisado.

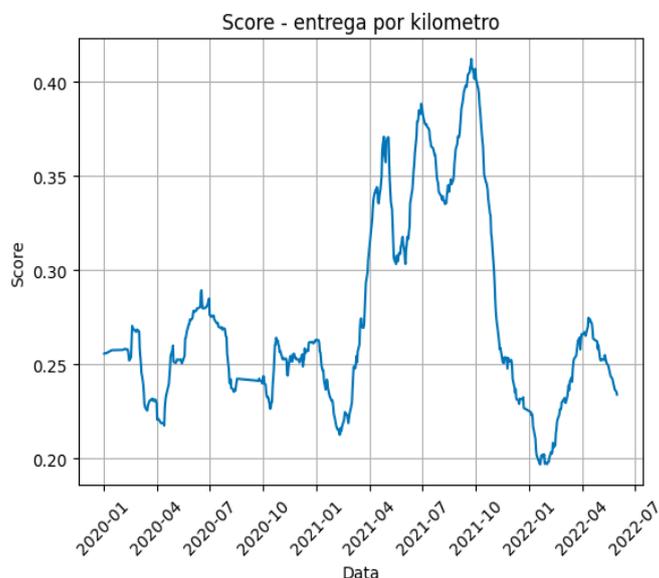
Figura 17 - Quantidade de entregas no período analisado



Fonte: Autor.

A Figura 18 apresenta o resultado ao analisar a função que calcula o *score* por dia em relação a quantidade de entregas por quilômetro rodado. O referido gráfico foi suavizado com filtro Savitzky Golay. Segundo Trindade *et al.* (2019), a técnica de filtragem Savitzky-Golay, é aplicada para mitigar a influência de ruídos que provocam dados sem confiabilidade e aumentar o grau de confiabilidade nas análises de séries temporais.

Figura 18 - Gráfico de linha do score por dia em relação a entregas por km andado,



Fonte: AUTOR.

A Figura 18 apresenta uma tendência que corrobora com o que foi observado no histograma, indicando um aumento significativo no *score* após a implementação das bicicletas elétricas. Embora haja uma queda após o período de pico, influenciado pela sazonalidade da operação, semelhante ao primeiro gráfico de linhas, é importante notar que o valor P continua significativamente baixo (0,05).

Isso sugere que o uso das bicicletas elétricas teve um impacto positivo na eficiência das entregas, mesmo considerando a queda posterior. A presença de um valor

P baixo indica uma diferença estatisticamente significativa na quantidade de objetos entregues por quilômetro rodado entre os períodos pré e pós-uso das bicicletas elétricas.

Observando o score calculado pela quantidade de entregas por distância percorrida, por mais que não há uma diferença visual significativa, o valor P possui diferença, indicando que a distribuição de dados é significativamente diferente.

Esses resultados fortalecem nossa hipótese de que o emprego das bicicletas elétricas contribuiu para melhorar a produtividade do serviço de entrega, evidenciando a viabilidade do investimento realizado nesse tipo de equipamento.

5.3.2 Com outliers não removidos

O Quadro 15 mostra os resultados do teste feito em cada tabela de dados referentes às localizações, mas sem os *outliers* removidos.

Quadro 17 - Resultados do teste Mann Whitney U sem remoção de *outliers*.

| Dataset | Valor P | |
|---------------------------|------------------|----------------------|
| | Entregas por dia | Distancia percorrida |
| CDD_NUCLEO_BANDEIRANTE | 0 | 0 |
| CDD_RECANTO_DAS_EMAS | 0,608 | 0,239 |
| CDD_SAMAMBAIA_0004247_601 | 0,499 | 0,986 |
| CDD_SAMAMBAIA_0004247_614 | 0,455 | 0,258 |
| CDD_SANTA_MARIA | 0 | 0 |
| CDD_SAO_SEBASTIAO | 0,992 | 0,99 |
| CDD_TAGUATINGA_LESTE | 0,999 | 0 |

Fonte: AUTOR.

Ao comparar os valores P dos dados com *outliers* removidos com os valores P dos dados com *outliers* não removidos, é possível observar algumas diferenças. A remoção dos *outliers* pode ter influenciado os resultados dos testes estatísticos, alterando os valores P.

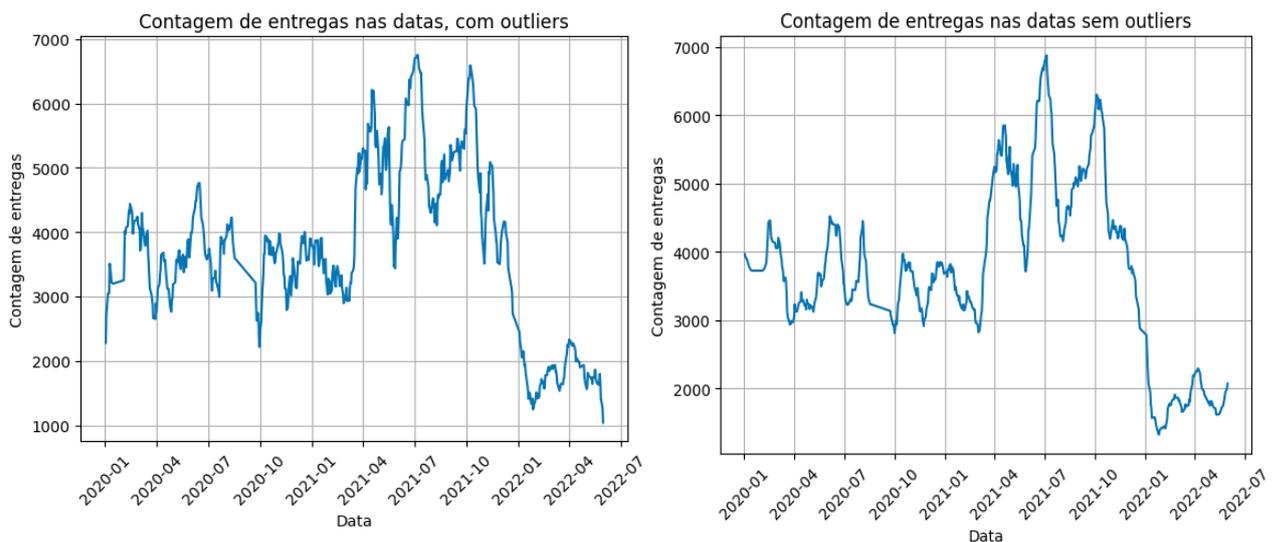
Para os dados "Entregas por dia", os valores P permaneceram semelhantes após a remoção dos *outliers*, indicando que a presença ou remoção dos *outliers* não teve um impacto significativo na significância estatística dos resultados.

No entanto, para os dados "Distância percorrida", observamos algumas diferenças nos valores P após a remoção dos *outliers*. Em particular, o valor P para o CDD_SAMAMBAIA_00004247_614 diminuiu de 0,258 para 0,0015, tornando-se estatisticamente significativo. Isso sugere que a remoção dos *outliers* pode ter influenciado a relação entre a quantidade de entregas e a distância percorrida nesse CDD específico.

Nesta base específica, como já descrito, a análise poderia ter ocorrido com os *outliers*, porém após a preparação dos dados observou-se que a base apresentava campos nulos, e que isso não impactaria na devida análise em questão.

Essa comparação ressalta a importância de considerar a presença de *outliers* e avaliar seu impacto nos resultados da análise. A remoção de *outliers* pode melhorar a qualidade e a confiabilidade das conclusões estatísticas, permitindo uma análise mais precisa e robusta dos dados.

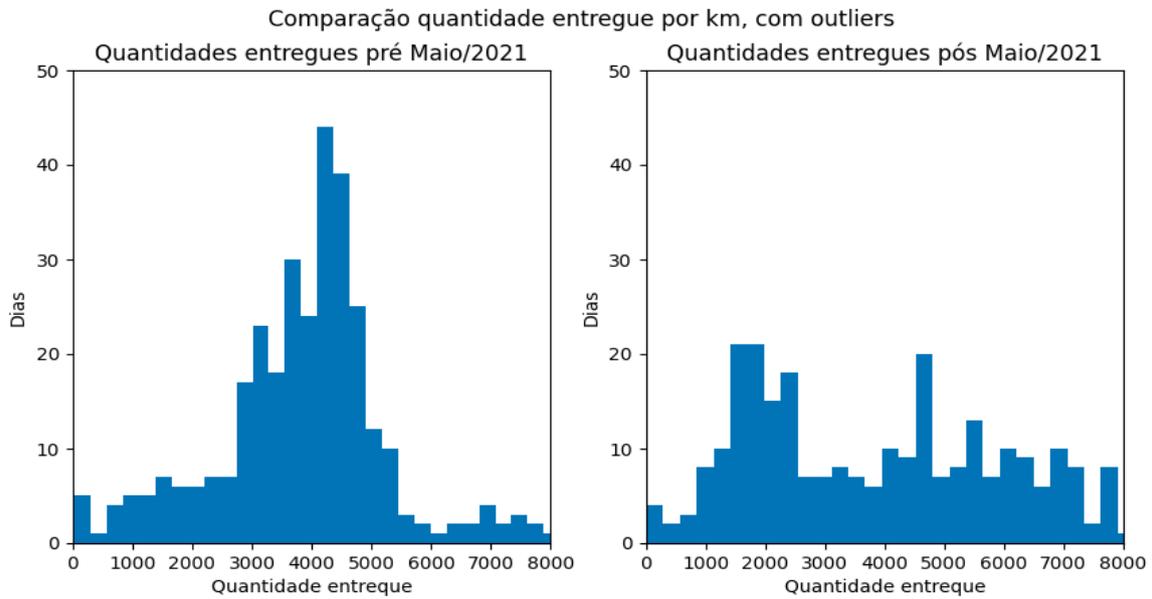
Figura 19 - Contagem de rotas com e sem *outliers*



Fonte: AUTOR

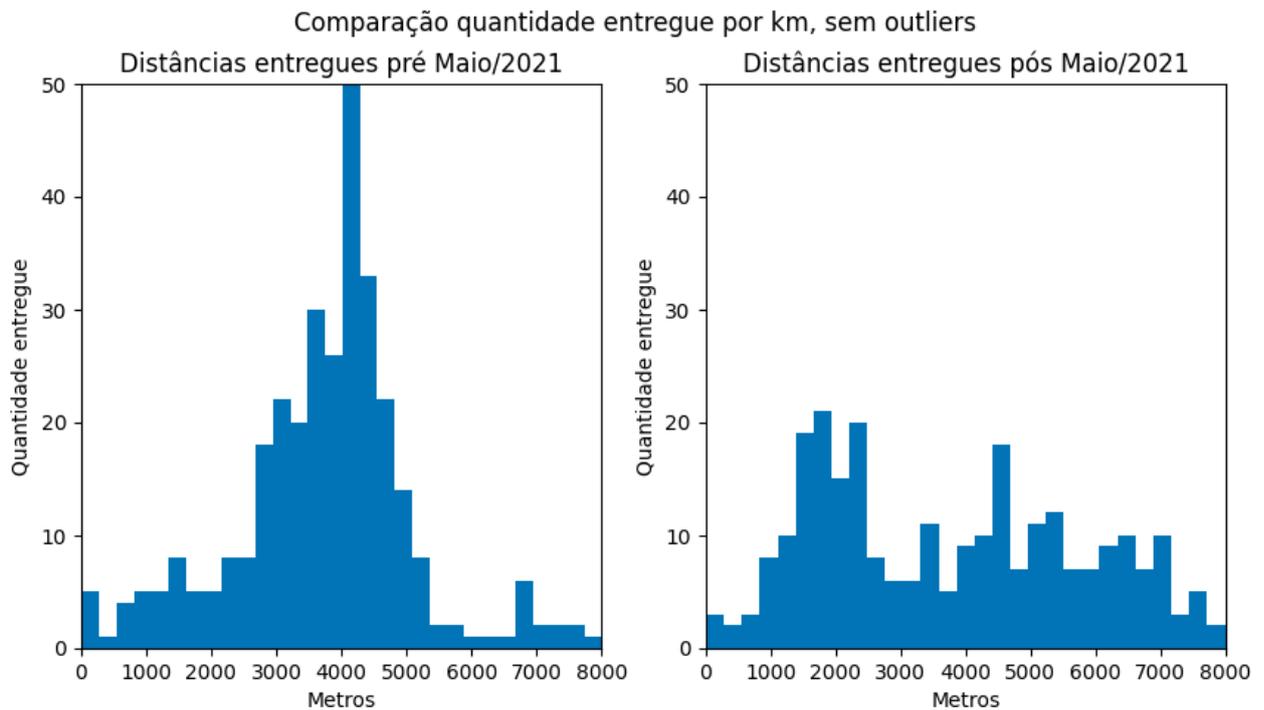
Para este gráfico em particular, não há muita diferença entre as duas análises. Isso indica que a presença ou remoção dos *outliers* não teve um impacto significativo nos resultados observados nesse contexto específico.

Figura 20 - Comparação de quantidade entregue por Km, com *outliers*



Fonte: AUTOR.

Figura 21 - Comparação de quantidade entregue por Km, sem *outliers*



Fonte: AUTOR.

Os histogramas da Figura 21 são uma comparação entre as combinações que foram exploradas até agora, com e sem *outliers*, pré e pós maio. Como esperado, não há uma diferença significativa, uma vez que o gráfico de linhas continuou parecido mesmo com a remoção de *outliers*.

Figura 22 - Quantidade de entregas por km



Fonte: Autor

Conforme exposto na Figura 22, observando o *score* calculado pela quantidade de entregas por distância percorrida, por mais que não ocorra uma diferença visual significativa, o valor P (0,05) possui diferença, indicando que a distribuição de dados é significativamente diferente.

5.4 Impactos identificados

Após análise de resultado de cada unidade operacional, a hipótese de viabilidade operacional do equipamento fica evidenciada. O apoio da motorização elétrica auxiliar propiciou aumento total de 6,4% no total de itens entregues e 39,5% na quantidade de entregas por dia de operação, aumentando da capacidade de distribuição

de objetos por hora, no conjunto dos 27 distritos analisados, conforme exposto no Quadro 16 que apresenta os dados analisado com os *outliers*.

As considerações das variáveis em estudo posterior poderão contemplar outras influências, como a sazonalidade de demanda e demais aspectos que alteram o volume de carga ao longo do ano.

Quadro 18 - Resultados com *outliers*

| CDD | Distritos | Com bicicletas convencionais | | | | Com bicicletas elétricas | | | |
|--------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| | | Qtde de dias | Qtde de objetos entregues | Objetos entregues por dia (média) | Objetos entregues (mediana) | Qtde de dias | Qtde de objetos entregues | Objetos entregues por dia (média) | Objetos entregues (mediana) |
| NUCLEO BANDEIRANTE | 601, 602, 603 | 320 | 1161388 | 3629,34 | 2945 | 254 | 1420337 | 5591,877953 | 3078,5 |
| RECANTO DAS EMAS | 610, 611, 612, 614, 615, 616 | 318 | 1549313 | 4872,05 | 4983 | 242 | 1262983 | 5218,938017 | 4946 |
| SAMAMBAIA | 601, 602, 603, 604, 607 | 333 | 1369231 | 4111,80 | 3975 | 251 | 1140048 | 4542,023904 | 3346 |
| SAMAMBAIA | 614, 616, 621, 622, 616 | 335 | 1091177 | 3257,24 | 3528 | 249 | 804123 | 3229,409639 | 2475 |
| SANTA MARIA | 610, 611 | 294 | 681825 | 2319,13 | 2241 | 234 | 629384 | 2689,675214 | 2590 |
| SAO SEBASTIAO | 602, 605, 608, 611 | 307 | 1173413 | 3822,19 | 2632 | 269 | 710350 | 2640,70632 | 1452 |
| TAGUATINGA LESTE | 605, 611 | 305 | 480027 | 1573,86 | 1474 | 188 | 222797 | 1185,090426 | 977,5 |

Fonte: AUTOR

Como já observado no capítulo 4, não foram observadas alterações significativas nos resultados da pesquisa quando há aplicação do método definido de exclusão de *outliers*. O Quadro 17 expõe o resultado da tabulação de dados, com demonstração de crescimento de 6,4% no total de carga entregue e 40% na carga distribuída por dia, após a inserção das bicicletas elétricas nos distritos analisados.

Quadro 19 - Resultados sem outliers

| CDD | Distritos | Com bicicletas convencionais | | | | Com bicicletas elétricas | | | |
|--------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| | | Qtde de dias | Qtde de objetos entregues | Objetos entregues por dia (média) | Objetos entregues (mediana) | Qtde de dias | Qtde de objetos entregues | Objetos entregues por dia (média) | Objetos entregues (mediana) |
| NUCLEO BANDEIRANTE | 601, 602, 603 | 318 | 1161288 | 3651,8491 | 2952 | 254 | 1420337 | 5591,878 | 3078,5 |
| RECANTO DAS EMAS | 610, 611, 612, 614, 615, 616 | 317 | 1549306 | 4887,4006 | 4984 | 242 | 1262983 | 5218,938 | 4946 |
| SAMAMBAIA | 601, 602, 603, 604, 607 | 333 | 1369231 | 4111,8048 | 3975 | 251 | 1140048 | 4542,0239 | 3346 |
| SAMAMBAIA | 614, 616, 621, 622, 616 | 334 | 1091176 | 3266,994 | 3532 | 249 | 804123 | 3229,4096 | 2475 |
| SANTA MARIA | 610, 611 | 293 | 681820 | 2327,0307 | 2244 | 234 | 629384 | 2689,6752 | 2590 |
| SAO SEBASTIAO | 602, 605, 608, 611 | 306 | 1173377 | 3834,5654 | 2641 | 261 | 709926 | 2720,023 | 1541 |
| TAGUATINGA LESTE | 605, 611 | 304 | 479978 | 1578,875 | 1477 | 184 | 222638 | 1209,9891 | 990,5 |

Fonte: AUTOR

5.5 Simulação de expansão de bicicletas elétricas no serviço postal

Diante dos parâmetros observados nas análises de desempenhos nos testes, expostas nos itens anteriores do estudo, e possível identificar os coeficientes esperados de produtividade operacional das bicicletas elétricas no serviço de entrega na última milha dos Correios.

Como citado no item 5.1.1., os parâmetros de definição do tipo de locomoção são baseados nos aspectos de produtividade, e restrição de uso, de cada um dos equipamentos utilizados pelos Correios nas operações de última milha. No caso da entrega de correspondências e pequenas encomendas, os tipos de locação atuais são: pedestres, bicicleta convencional e motocicleta. Com os resultantes de produtividade da bicicleta elétrica, é possível simular o método de alocação de *e-bikes* no fluxo postal.

Durante os testes, restaram comprovadas as hipóteses de viabilidade do equipamento, onde o apoio da motorização elétrica auxiliar propiciou aumento do alcance de uso e maior capacidade de transporte de carga, resultando em um aumento significativo do potencial de utilização desse equipamento no serviço postal brasileiro, com melhoria na velocidade média e quantidade de objetos entregues por rota.

Os principais itens impactados com a nova dinâmica de previsão de utilização de cada equipamento, com base na expectativa de velocidade média e findada a restrição de uso apenas em regiões planas, são os seguintes:

- Densidade: a bicicleta elétrica dotada de baú de 70 litros, tem capacidade de transporte de carga bastante superior à bicicleta convencional e à percorrida pedestre, ficando muito próximo do baú de uma motocicleta. Essa característica direciona o melhor uso de bicicletas para todas as regiões com densidade média de carga, restando a percorrida pedestre para regiões de alta e motocicletas para regiões de baixa densidade.
- Distância percorrida: com apoio da motorização elétrica auxiliar, o alcance da bicicleta aumenta significativamente, tanto em distância máxima atendida quanto na possibilidade de atendimento de regiões com acividade no terreno. Neste cenário, as bicicletas assumem as entregas nas regiões de média distância, independentemente da característica de inclinação do terreno, restando as regiões

de curta distância para os distritos pedestres e os de longa distância para as motocicletas.

De forma objetiva, o Quadro 18 apresenta a nova configuração esperada de utilização de cada tipo de locomoção, incluindo a bicicleta elétrica e suas características menos restritiva, que foram inseridas diretamente nos parâmetros de cálculo dos sistemas de distritamento dos Correios, o SD.

Quadro 20 - Parâmetros de tipos de locomoção, com bicicleta elétrica

| Tipo de locomoção | Percurso improdutivo (km) | Percorrida total (km) | Atividade do terreno | Densidade de carga (obj/km) |
|--------------------------|----------------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| Pedestre | Muito Curto < 5 | Curta < 8 | Indiferente | Alta >28 |
| Bicicleta | Curto <5 | Média >8 e < 12 | Plano | Média >11 e < 28 |
| Bicicletas Elétricas | Médio e Alto > 5 | Médio e Alto >12 e <30 | Indiferente | Média >11 e < 28 |
| Motocicleta | Muito Alto >12 | Muito Alta > 30 | Indiferente | Baixa <11 |

Fonte: CORREIOS, 2022

Com base nos novos critérios foi simulado o potencial de substituição dos equipamentos, considerando a inserção da bicicleta elétrica no rol de possibilidades de uso nos Correios.

O Quadro 19 informa o resultado dos cálculos, aplicado na base de logradouros do SD.

Quadro 21 - Alterações nos tipos de locomoção

| Tipo de locomoção (De / Para) | Bicicleta | Bicicleta Elétrica | Motocicleta | Pedestre | Total |
|--|------------------|-------------------------------|--------------------|-----------------|--------------|
| Bicicleta | 1.945 | 1.069 | 396 | 163 | 3.573 |
| Motocicleta | 2.998 | 1.983 | 5.607 | 134 | 10.722 |
| Pedestre | 2.646 | 2.679 | 419 | 2.080 | 7.824 |
| Total | 7.589 | 5.731 | 6.422 | 2.377 | 22.119 |

Fonte: Autor

Com as facilidades expostas do uso de bicicletas elétricas, o equipamento tem potencial nominal de uso em mais de 5.700 distritos em todo o país, principalmente em substituição à distritos pedestres (quase 2.700), mas também em substituição às motocicletas (quase 2.000) e às bicicletas convencionais (cerca de 1.000)

5.6 Simulação de redução na emissão de CO₂

No Distrito Federal, os Correios dispõem de 23 CDDs onde atuam 495 carteiros, incluindo o efetivo em atividade externa e os carteiros reservas, distribuídos ao longo do território, atuando em modais dimensionados para cada região de entrega.

O Quadro 20 apresenta a previsão de carteiros pedestres e a frota circulante de motocicletas e bicicletas, em uso nas atividades diárias de distribuição de correspondências e pequenas encomendas nos Correios do Distrito Federal.

Quadro 22 - Frota circulante atuando nas rotas de entrega

| REGIÃO (CDD) | QUANTIDADE DE ROTAS DE ENTREGA | | | |
|------------------------------------|--------------------------------|-----------|------------|------------|
| | MOTOCICLETA | BICICLETA | PEDESTRES | TOTAL |
| Águas Claras | 19 | 5 | 0 | 24 |
| Asa Norte | 5 | 0 | 13 | 18 |
| Asa Sul | 10 | 0 | 10 | 20 |
| Setor de Industria e Abastecimento | 14 | 4 | 5 | 23 |
| Ceilândia | 2 | 0 | 31 | 33 |
| Ceilândia sul | 3 | 0 | 24 | 27 |
| Gama | 2 | 13 | 0 | 15 |
| Guara | 7 | 0 | 16 | 23 |
| Lago Norte | 3 | 18 | 4 | 25 |
| Lago Sul | 10 | 0 | 0 | 10 |
| Núcleo Bandeirante | 9 | 1 | 5 | 15 |
| Planaltina | 8 | 0 | 22 | 30 |
| Recanto das Emas | 1 | 4 | 20 | 25 |
| Samambaia | 4 | 12 | 19 | 35 |
| Santa Maria | 3 | 11 | 0 | 14 |
| São Sebastião | 4 | 0 | 17 | 21 |
| Sobradinho | 12 | 0 | 2 | 14 |
| Taguatinga Leste | 2 | 14 | 0 | 16 |
| Taguatinga Centro | 3 | 3 | 6 | 12 |
| Taguatinga Norte | 9 | 0 | 0 | 9 |
| TOTAL | 167 | 85 | 194 | 409 |

Fonte: Correios (2022).

Para o presente artigo foi utilizada a base do relatório do Distrito Federal no SD, consultada em 24/01/2022, com as informações de demanda mais recentes de cada trecho

do Centro de Distribuição que atua em cada localidade. Como anteriormente citado, não fez parte do escopo a distribuição de encomendas de maior volume, que são distribuídas por cerca de 450 veículos adicionais, diariamente.

O mesmo sistema apresenta a frota dimensionada de motocicletas dos Correios no Distrito Federal, conforme exposto no Quadro 21.

Quadro 23 - Quantidade de motocicletas nos Correios do Distrito Federal

| Modelo | Fabricante | Quantidade por ano de Fabricação | | | |
|--------------|------------|----------------------------------|------|------|-------|
| | | 2013 | 2019 | 2020 | Total |
| CG 125 Cargo | Honda | 32 | - | - | 73 |
| CG 160 Cargo | Honda | - | 37 | 72 | 109 |
| NXR 160 Bros | Honda | - | 41 | - | 41 |
| Total | | 32 | 78 | 72 | 182 |

Fonte: CORREIOS (2022)

A quantidade de motocicletas (182) é um pouco maior que a quantidade da frota circulante (167) em razão da frota reserva e dos veículos retidos para manutenção: preventiva ou corretiva. A previsão de motocicletas efetivamente em distribuição domiciliária é a informada na tabela 1, totalizando 167 veículos.

A distribuição de frota por unidade de distribuição é exposta no Quadro 22.

Quadro 24 - Distribuição de motocicletas nos Correios por Região do Distrito Federal

| Região | CG 125 CARGO | CG 160 CARGO | NXR160 BROS | Total Geral |
|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| ÁGUAS CLARAS | 4 | 7 | 4 | 15 |
| ASA NORTE | 3 | 4 | 3 | 10 |
| ASA SUL | 3 | 9 | 3 | 15 |
| SIA | 1 | 14 | | 15 |
| CEILÂNDIA | 2 | 3 | 1 | 6 |
| CEILÂNDIA SUL | 2 | 4 | 1 | 7 |
| GAMA | | 2 | 1 | 3 |
| GUARA | 1 | 6 | | 7 |
| LAGO NORTE | 1 | 4 | 3 | 8 |
| LAGO SUL | | 11 | 2 | 13 |
| NUCLEO BANDEIRANTE | 3 | 6 | 3 | 12 |
| PLANALTINA | | 4 | 4 | 8 |
| RECANTO DAS EMAS | | 1 | 2 | 3 |
| SAMAMBAIA | 3 | 8 | 1 | 12 |
| SANTA MARIA | 2 | 2 | 1 | 5 |
| SAO SEBASTIAO | | 1 | 2 | 3 |
| SOBRADINHO | | 9 | 4 | 13 |
| TAG LESTE | 3 | 1 | 1 | 5 |
| TAGUATINGA CENTRO | 3 | 7 | 2 | 12 |
| TAGUATINGA NORTE | 1 | 6 | 3 | 10 |
| Total Geral | 32 | 109 | 41 | 182 |

Fonte: Correios, 2022

O estudo buscou a simulação agrupada de emissão de Dióxido de Carbono em todo o território do Distrito Federal nas operações dos Correios, sem particularizar nenhuma região, utilizando os parâmetros definidos pelo CETESB, conforme exposto no capítulo de metodologia.

O Quadro 24 apresenta o extrato das percorridas dimensionadas para a entrega postal de correspondências e pequenas encomendas em Brasília, que são realizadas por carteiros ciclistas, pedestres e motoqueiros. Ao todo, a população atendida é da ordem de 2.78 milhões de pessoas, distribuídas em 41.372 trechos

A capacidade instalada diária prevista para a distribuição em Brasília é de cerca de 450 mil cartas e 70 mil encomendas de pequeno porte (além das encomendas volumosas, que são distribuídas por veículos).

O Quadro 23 apresenta um resumo das percorridas diárias pelos carteiros na distribuição de menagens e pequenas encomendas no Distrito Federal, por região de entrega.

Quadro 25 - Distancias diárias percorridos pelos carteiros

| REGIÃO (CDD) | DISTÂNCIA DIÁRIA PERCORRIDA (KM) | | |
|--------------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|
| | MOTOCICLETA | BICICLETA | TOTAL |
| Águas Claras | | 360,9 | 360,9 |
| Asa Norte | | 235,3 | 235,3 |
| Asa Sul | | 180,4 | 180,4 |
| SIA | 98,2 | 278,3 | 376,4 |
| Ceilândia | 462,7 | 321,8 | 784,5 |
| Ceilândia sul | 161,7 | 115,9 | 277,6 |
| Gama | 330 | 106,1 | 436,1 |
| Guara | 130,7 | 167,8 | 298,6 |
| Lago Norte | 317,4 | 287,5 | 604,9 |
| Lago Sul | | 495,5 | 495,5 |
| Núcleo Bandeirante | 14,6 | 434 | 535,1 |
| Planaltina | 283,9 | 269,3 | 553,3 |
| Recanto das Emas | 102,9 | 74,3 | 435,6 |
| Samambaia | 299,2 | 245,3 | 564,7 |
| Santa Maria | 221,8 | 135,5 | 357,3 |
| São Sebastião | 43,7 | 158,7 | 391,1 |
| Sobradinho | 27,5 | 660,7 | 688,2 |
| Taguatinga Leste | 260,9 | 66,8 | 327,8 |
| Taguatinga Centro | 99 | 48,3 | 228,8 |
| Taguatinga Norte | | 377,5 | 377,5 |
| TOTAL | 2.854,20 | 5.019,96 | 7.874,17 |

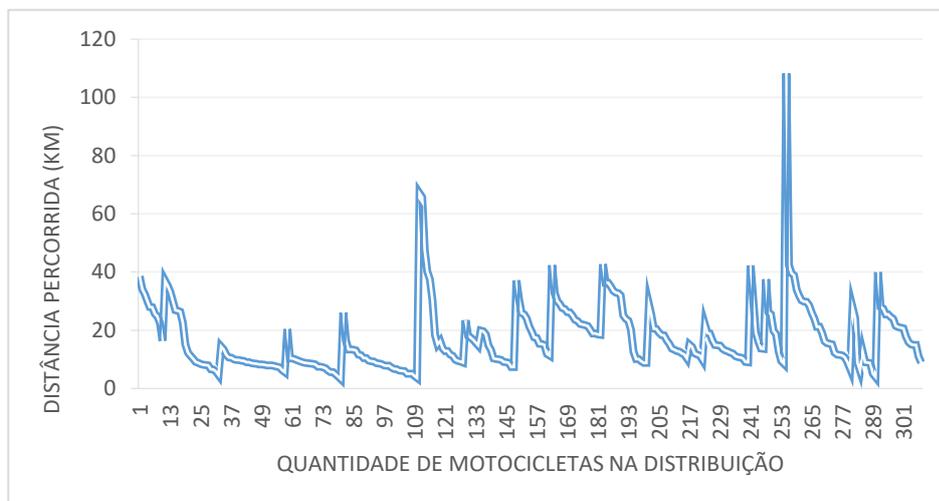
Fonte: Correios (2022).

A localização dos Centros de Distribuição preconiza os agrupamentos urbanos mais condensados e, não necessariamente, a divisão oficial das Regiões Administrativa do Distrito Federal. Por esse motivo, algumas regiões como Ceilândia, Taguatinga e o Plano Piloto possuem mais de um CDD, por possuírem carga de trabalho superior à capacidade prevista de uma unidade operacional de distribuição, enquanto outras regiões como o Riacho Fundo e Cruzeiro são atendidas pelo Centro de Distribuição localizado em uma região próxima. De qualquer forma, toda a população urbana do DF tem atendimento por distribuição domiciliária regular dos Correios, por meio dessas unidades e com essas distâncias percorridas diariamente.

Apesar de algumas percorridas mais longas, em geral as entregas realizadas por motocicletas nos Correios são concentradas em trajetos curtos, onde quase 60% das percorridas tem distância total inferior a 15Km no Distrito Federal, conforme demonstrado na Figura 21.

Essa particularidade é uma característica nas operações de distribuição de correspondências e pequenas encomendas em carga fracionada, que possuem maior densidade de carga, ou seja, uma quantidade maior de pontos de entrega por quilômetro, se comparado às operações de distribuição de carga agrupada, por exemplo.

Figura 23 - Quantidade de motocicletas x distância percorrida



Fonte: CORREIOS (2022)

Aplicando a fórmula de cálculo de emissão de CO₂, nos parâmetros propostos de alocação de bicicletas elétricas em substituição às motocicletas nos Correios do Distrito Federal (DF), é possível simular o impacto ambiental da migração do tipo de transporte nas operações de última milha na localidade no serviço postal

Esse cenário prevê que cerca de 80% das percorridas de motos nos Correios do DF teriam migração de modal, com 2.967 km diários (65.274 Km mensais) sendo efetuados por bicicletas em substituição às motocicletas. O resultado da simulação foi o de redução de 82,7 Toneladas mensais de CO₂ na atmosfera.

6 CONCLUSÃO

Os resultados do estudo apresentam sinalização de confirmação da hipótese da pesquisa, com indicativo de melhoria de 40% na produtividade da entrega de objetos pelos Correios, considerando a amostra das rotas percorridas de um ano de operação de 27 bicicletas elétricas no Distrito Federal, comparando com o padrão de objetos entregues com as bicicletas convencionais.

O estudo apresentado é uma fonte importante para a tomada de decisão, principalmente para o planejamento da plataforma de equipamentos de apoio à locomoção na última milha.

A expansão propriamente dita do uso de bicicletas elétricas perpassa, no entanto, por uma análise de outros fatores, como a existência de fornecedores de equipamentos, partes e peças e manutenção para as mais variadas localidades, a infraestrutura urbana para uso desse equipamento e a infraestrutura de recarga em cada unidade operacional.

O teste que gerou os parâmetros de uso (percurso improdutivo, percorrida total, aclividade do terreno e densidade de carga) foi parametrizado a partir de 27 equipamentos elétricos em uso em Brasília-DF desde o início de 2022. Recomenda-se a ampliação dos estudos para outras praças e com outros modelos de bicicletas elétricas, visando a expansão planejada e assistida, em ondas de instalação.

A perspectiva de uso de cerca de 5.700 bicicleta elétricas nas operações postais, obtidas após a análise dos indicadores de produtividade dos testes com as rotas percorridas de 27 equipamentos, tem potencial disruptivo na forma de organização da logística de última milha nos Correios e, ainda, considerando o volume expressivo de equipamentos, tem potencial de estimular a adoção de *e-bikes* por outros *players* no ecossistema de logística de última milha, mudando comportamento social e ajudando na expansão de equipamentos mais verdes e ambientalmente amigáveis para todo o país,

tamanha é a vitrine de exposição das atividades postais de distribuição domiciliária dos Correios no Brasil.

No aspecto ambiental, a expectativa de redução na emissão de gases quando bicicletas elétricas são adotadas em substituição à motocicletas à combustão é relevante, o que realça o grau de importância da temática ambiental no planejamento dos Correios e das empresas de logística em geral.

A análise ambiental analisou apenas um dos aspectos envolvidos no processo decisório de sustentabilidade, que é a questão da emissão de Dióxido de Carbono, e apenas na frota dos Correios em circulação no Distrito Federal. Careceria, portanto, de expandir a avaliação para outros aspectos, como o financeiro envolvendo a necessidade de investimento, o fluxo operacional, com os impactos na produtividade da distribuição ao migrar de modal, e a viabilidade de execução considerando a infraestrutura urbana disponível em cada região específica de interesse, além da expansão para outras empresas e outras localidades.

De qualquer forma, é tida como imprescindível no cenário atual de cidades inteligentes e sociedade engajada, a preocupação e a efetiva ação de mitigação dos impactos ambientais na sua operação, adotando equipamentos produtivos e operacionalmente viáveis. Conhecer o impacto da emissão de gases que impactam no efetivo estufa é um dos passos iniciais mais importantes para efetivamente traçar uma estratégia de busca de soluções logísticas mais inseridas nesse contexto.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, A L. B.; DE OLIVEIRA, J. P. L. Smart city e mobilidade: análise do estudo do plano de mobilidade da smart city cidade de Votuporanga– um estudo de caso. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 10, p. 80393-80409, 2020.

BARROS, E. F.; ROMÃO, W.; CONSTANTINO, A. A.; DE SOUZA, C. L. Pré-processamento para mineração de dados sobre beneficiários de planos de saúde suplementar. **Journal of Health Informatics**, v. 3, n. 1, 2011.

BECKFORD, J. **Sharing the load: the potencial of e-cargo bikes**. London: Green Aliance, 2022.

BUGAJE, A.; EHRENWIRTH, M.; TRINKL, C.; ZÖRNER, W. Electric Two-Wheeler Vehicle Integration into Rural Off-Grid Photovoltaic System in Kenya. **Energies**, v. 14, n. 23, p. 7956, 29 nov. 2021.

CAIRNS, S.; SLOMAN, L. Potential for e-cargo bikes to reduce congestion and pollution from vans in cities, **Transport for quality of life**, London, Paper 3, p. 3-6, 2019.

CETESB. Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo 2021, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2022.

CORREIOS, Empresa Brasileira de. **Manual do usuário do sistema GEO Correios**. Brasília, 2020.

CORREIOS, Empresa Brasileira de. **Manual do usuário do Sistema de Distritamento** – SD. Brasília, 2022.

COSTA, P. B.; MORAIS, G. C. N.; BERTOLDE, A. I. Urban Mobility Indexes: A Brief Review of the Literature. **Transportation Research Procedia**, vol 25, p. 3645–3655, 2017.

COX, P.; RZEWNICKI, R. Cycling cultures. In.: **University of Chester Press**, Chester, p 14-42, 2015.

DECASTRO, J.; ANDRADE, V. **Guia para implantação e aperfeiçoamento de sistemas de compartilhamento público de micromobilidade no Brasil**. Brasília: GIZ, 2021. Disponível em: <https://www.mobilize.org.br/mwg-internal/de5fs23hu73ds/progress?id=kW2uZgRgoq4Cqj101-52QKGv44b61fRTeTAh-eGhMF0>. Acesso em 03 de abril de 2023.

BOZZUTO, P. **La ciclo-logistica come risorsa per la sostenibilità futura delle aree urbane: potenzialità e limiti**. *Mobilità & città: Verso una postcar city*. No 14. 2022.

DE BARROS NETO, João Pinheiro. **Administração pública no Brasil: uma breve história dos Correios**. Annablume Editora, 2004.

FLEURY, M. T. L.; WERLANG, S. **Pesquisa aplicada: reflexões sobre conceitos e abordagens metodológicas**. In: **ANUÁRIO DE PESQUISA 2016 – 2017**. GV Pesquisas, 2017.

FONTES, F.; ANDRADE, V. Bicycle Logistics as a Sustainability Strategy: Lessons from Brazil and Germany. **Sustainability (Switzerland)**, vol. 14, nº 19, 1 out. 2022.

GARCIA, Elias. Pesquisa bibliográfica versus revisão bibliográfica-uma discussão necessária. **Línguas & Letras**, v. 17, n. 35, 2016

GEHL, J. **Cidade para pessoas**. 3º ed. São Paulo: Perspectiva, 2015.

GUGLIELMI, R. I. S.; SANTOS, S. R. dos; RODRIGUES, M. A. F.; ROSSETI, W.; FEITOSA, W. R. “Acessibilidade e mobilidade urbana nas principais cidades inteligentes brasileiras”. **Revista Acadêmica - Ensino de Ciências e Tecnologias IFSP**, 2021.

GUTH, D.; ANDRADE, D. **Teste de modelos de bicicletas elétricas cargueiras para uso dos Correios- Praia Grande (SP)**. Disponível em: <https://www.labmob.org/bicicletas-eletricas-correios>, Acessado em: 30 jan 2023.

GUTH, D.; MARINO, F.; DECASTRO, J.; ANDRADE, V. **Guia para implantação e aperfeiçoamento de sistemas de compartilhamento público de micromobilidade no Brasil**. Disponível em: www.giz.de/brasil. Acessado em 20 fev 2022

HANCOCK, J. R. **Há 200 anos foi criada a primeira bicicleta: estes foram os primeiros modelos.**

https://brasil.elpais.com/brasil/2017/04/19/deportes/1492597692_626497.html.

Acessado em 19 abr 2017.

KANITZ, M.; ANDRADE, V.; PAULO, P.; BASTOS, M. Micromobilidade Brasil: Sistemas Compartilhados. **Technical Report**, 2020.

KIJEWSKA, K.; BRAGA FRANÇA, J. G. C.; DE OLIVEIRA, L. K.; IWAN, S. “Evaluation of Urban Mobility Problems and Freight Solutions from Residents” Perspectives: A Comparison of Belo Horizonte (Brazil) and Szczecin (Poland). **Energies**, vol. 15, nº 3, 1 fev. 2022.

KJØNNØ, A. M.; PHAN, D. T. H. **The potentials of last mile logistics by the use of cargo bikes in the city center of Oslo: a case study of DHL Express.** 2017. Master Thesis (business, logistics, operations and supply chain management) in BI Norwegian Business School, Oslo, 2017.

KRSTIĆ, M.; TADIĆ, S.; KOVAČ, M.; ROSO, V.; ZEČEVIĆ, S. A Novel Hybrid MCDM Model for the Evaluation of Sustainable Last Mile Solutions. **Mathematical Problems in Engineering**, vol. 2021, 2021.

LOCATELLI, S. A. D.; VICENTIN, I. C. O planejamento estratégico municipal para uma cidade inteligente sob a ótica do Curitiba 2035 e o *ranking connected smart cities*. **R. bras. Planej. Desenv.** Curitiba, v. 8, n. 3, p. 497-522, set./dez. 2019.

LOMBARDI, P.; GIORDANO, S.; FAROUH, H.; YOUSEF, W. Modelling the smart city performance. **Innovation: The European Journal of Social Sciences**. 25 ed. 2012.

MASTEGUIM, R. de F; CUNHA, C. B. da; PONCE-CUETO, E. M. “Modelagem e análise dos impactos econômicos na utilização de pontos de coleta na distribuição urbana de e-commerce: o caso de São Paulo”. 2018, Anais. Rio de Janeiro: **ANPET**, 2018.

MAXNER, Thomas; CHIARA, Giacomo Dalla; GOODCHILD, Anne. Identifying the Challenges to Sustainable Urban Last-Mile Deliveries: Perspectives from Public and Private Stakeholders. **Sustainability (Switzerland)**, vol. 14, nº 8, 1 abr. 2022.

MAZO, A. M.; OLIVEIRA, R. K. de; BIANCOLINO, C. A.; TOMAZZONI, E. L.. Análise bibliográfica e sistemática da literatura acadêmica sobre “cidades inteligentes”, “turismo” e “competitividade”. **Turismo - Visão e Ação**, vol. 23, nº 1, p. 148–168, 25 fev. 2021.

MAZON, Gabriel Crozetta; GOULARTI FILHO, Alcides. Serviço Social Postal: Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos como um direito fundamental à inclusão. **Desenvolvimento Socioeconômico em Debate**, v. 6, n. 3, p. 95-114, 2020.

MAZZA, D.; TARCHI, D.; JUAN, A. A. Advanced Technologies in Smart Cities. **Energies**, vol. 15, nº 13, p. 4764, 29 jun. 2022.

MELLO, C. H. P.; TURRIONI, J. B.; XAVIER, A. F.; CAMPOS, D. F. Action research in production engineering: A structure proposal for its conduction. **Producao**, vol. 22, nº 1, p. 1–13, 2012.

MIGUEL, P. L. S. A sustentabilidade na entrega de última milha: Desafios ambientais e sociais na logística urbana. **Revista Mundo Logística**, p. 54–57, jun. 2022.

MOURA, Rodrigo Vielmo. **A importância da micromobilidade durante e após a pandemia.** <https://www.archdaily.com.br/br/944554/a-importancia-da-micromobilidade-durante-e-apos-a-pandemia>. Disponível em : <https://www.archdaily.com.br/br/944554/a-importancia-da-micromobilidade-durante-e-apos-a-pandemia> .Acessado em: 21 jun 2023.

MUSSI, R. F.; MUSSI, L. M. P. T.; ASSUNÇÃO; E. T. C., NUNES, C. P. Pesquisa Quantitativa e/ou Qualitativa: distanciamentos, aproximações e possibilidades. **Revista Sustinere**, v. 7, n. 2, p. 414-430, 2019.

NARAYANAN, S.; ANTONIOU, C. Electric cargo cycles - A comprehensive review. **Transport Policy**, vol. 116, p. 278–303, 1 fev. 2022.

NAUMOV, V. Substantiation of loading hub location for electric cargo bikes servicing city areas with restricted traffic. **Energies**, vol. 14, nº 4, 2 fev. 2021.

NAUMOV, V.; PAWLUSÍ, M. Identifying the optimal packing and routing to improve last-mile delivery using cargo bicycles. **Energies**, vol. 14, nº 14, 2 jul. 2021.

NOVOTNÁ, M.; ŠVADLENKA, L.; JOVČÍČ, S.; SIMIĆ, V. Micro-hub location selection for sustainable last-mile delivery. **PLOS ONE**, vol. 17, n° 7, p. e0270926, 5 jul. 2022.

PAPA, R. The city challenges and external agents, methods, tools and best practices. **TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment**, v. 13, n. 3, p. 289-290, 31 dez 2020.

PASTI, A.; CRACCO, L. Tecnopolíticas urbanas, informação e competitividade territorial: notas sobre um ranking de smart cities. **Boletim Campineiro de Geografia**, [S. l.], v. 12, n. 1, p. 107–123, 2022.

PEREZ-MARTINEZ, P. J.; MIRANDA, R. M. D.; ANDRADE, M. D. F.; KUMAR, P. Air quality and fossil fuel driven transportation in the Metropolitan Area of São Paulo. **Transportation Research Interdisciplinary Perspectives**, v. 5, p. 100137, 2020.

QUARESMA, M.; FONSECA, B. N. da; BURLAMAQUI, M.; **Jornadas Futuras para a Mobilidade Urbana em Cidades Inteligentes. In: Congresso Internacional de Ergonomia e Usabilidade de Interfaces e Interação Humano-Computador**, n° 18, 2022, São Paulo: Blucher, 2022 p. 952-965.

RIGON, William. **O Ranking Connected Smart Cities**. Disponível em: <https://blog.urbansystems.com.br/ranking-csc-2019/>. Acesso em: 03 abr 2023.

RIVAS-RUIZ, Rodolfo; MORENO-PALACIOS, Jorge; TALAVERA, Juan O. Investigación clínica XVI. Diferencias de medianas con la U de Mann-Whitney. **Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social**, v. 51, n. 4, p. 414-419, 2013.

SANTANA, E.S. **Cidades inteligentes: uma metodologia para classificação do nível de maturidade baseada na ISO 37122**. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/360470972>. Acessado em: 03 mai 2023.

SAVELSBERGH, M.; VAN WOENSEL, T. City Logistics: Challenges and Opportunities. **Transportation Science**, 50 ed, pp. 579-590, 2016.

SHAHMOHAMMADI, S.; STEINMANN, Z. J.N.; TAMBJERG, L.; VAN LOON, P.; KING, J. M.H.; HUIJBREGTS, M. A.J. Comparative Greenhouse Gas Footprinting of Online versus Traditional Shopping for Fast-Moving Consumer Goods: A Stochastic Approach. **Environmental Science and Technology**, vol. 54, nº 6, p. 3499–3509, 17 mar 2020.

SUARES, E. C. **Uma análise sobre a empresa brasileira de correios e telégrafos setor, concorrentes e privatização**. Monografia (bacharelado em ciências econômicas) – Universidade Federal Fluminense. Campos dos Goytacazes, 2021.

TEMPORELLI, A.; BRAMBILLA, P. C.; BRIVIO, E.; GIRARDI, P. Last Mile Logistics Life Cycle Assessment: A Comparative Analysis from Diesel Van to E-Cargo Bike. **Energies**, vol. 15, nº 20, out. 2022.

TENGATTINI, S.; DALLARA, A.; LUPPINO, G.; BARDI, A. Sinossi delle condizioni per lo sviluppo della ciclogistica urbana. **Rivista di economia e politica dei trasporti**, vol. 1, n° 2282–6599, 2018.

TOMTOM. **Indice Tomtom de tráfico. 2020.** Disponível em: https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/. Acessado em 12 dez 2022.

TRINDADE, F. S.; ALVES, M. de C.; NOETZOLD, R.; DANTAS, M. E. Aplicabilidade do filtro Savitzky-Golay em séries temporais EVI durante o ciclo fenológico da Soja. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, v. 19, 2019.

URBAN SYSTEMS. **Ranking Connected Smart Cities 2022.** Relatório do Ranking Connected Smart Cities - Edição 2022. São Paulo: Urban Systems, 2022.

VAN RUITENBEEK, R. E.; SLIK, J. S. BHULAI, S. On the relation between COVID-19, mobility, and the stock market. **PLoS ONE**, vol. 16, n° 12, dez. 2021.

VASIUTINA, H.; SZARATA, A.; RYBICKI, S. Evaluating the environmental impact of using cargo bikes in cities: A comprehensive review of existing approaches. **Energies**, vol. 14, n° 20, 2 out 2021.

VENCESLAU, Igor. **Correios, logística e uso do território: o serviço de encomenda expressa no Brasil.** 2017. Dissertação (Mestrado em Geografia Humana) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

WESTBROOK, R. Action research: a new paradigm for research in production and operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, vol. 15, p. 6–20, 1995.

XU, J.; LI, X.; PAN, Y.; DU, M. Satisfaction of Logistics Dispatchers Who Use Electric Tricycles\ linebreak for the Last Mile of Delivery: Perspective from Policy Intervention. **Sustainability**, vol. 14, n° 13, p. 7638, 23 jun 2022.

ZARIF, R.; PANKRATZ, D.; KELMAN, B. **Small is beautiful Making micromobility work for citizens, cities, and service providers**. Part of a Deloitte series on the Future of Mobility 2. In.: Deloitte Insights, 2019.

Apêndice A – Resumo do artigo publicado no IJCIEOM 2022

Título: Evaluation of the impact of the use of bicycles, in place of the motorcycles, on the reduction of carbon dioxide (CO₂) emissions, on last mile operations in Brazilian postal service

Palavras-Chave: Last Mile, Cyclologistics, Sustainability, e-Bike, Cargo Bike, Smart Cities.

Resumo: The concern about the increase in vehicle traffic in large cities, largely driven by the activities of distribution of objects from e-commerce, has generated a constant and growing concern in public administrations and society, due to the problems of circulation of vehicles powered by fossil fuels in urban roads, increasing atmospheric emissions and worsening people's quality of life. Through a comparative analysis, simulating the migration of motorcycles to bicycles in the operations of delivery of messages and small orders in the Brazilian Post Office Company (Correios) of the Federal District, the present study aims to estimate the potential reduction of emission of gases resulting from logistics activities due to the change of modal, from motorcycles to bicycles, using a pollutant conversion formula and a sample of the circulating fleet of the Correios to define the emission of toxic gases emitted by this operation. The results demonstrate the logistics segment as a relevant pollutant emission agent and the importance of converting the fleet to more sustainable solutions.

Apêndice B – Resumo do artigo publicado no ENEGEP 2022

Título: Potencial de utilização de bicicletas elétricas na distribuição domiciliária de objetos postais nos correios do brasil

Palavras-chave: Ciclogística, Bicicleta elétrica, Correios

Resumo: o estudo se propõe a analisar o potencial de utilização de bicicletas elétricas no serviço postal brasileiro, em substituição à motocicletas à combustão, bicicletas convencionais e percorridas pedestres, mantendo a produtividade esperada para as atividades dos carteiros de cada região atendida. A avaliação do potencial de utilização de bicicletas elétricas nos Correios foi calculada com base nos parâmetros internos de produtividade esperada pela ferramenta corporativa de dimensionamento de recursos para a distribuição domiciliária, de tal forma a simular quais regiões esse equipamento tem, teoricamente, condições de operar com a mesma produtividade se comparado aos modais atuais utilizados na empresa. Os principais parâmetros considerados foram: velocidade média, distância percorrida da unidade operacional até a região de entrega e densidade de entrega (objetos/km), de tal forma a propor um novo *mix* de equipamentos de locomoção nos Correios, incluindo a bicicleta elétrica como alternativa mais sustentável e produtiva para regiões de atuação específicas. O estudo demonstrou um potencial de incremento de 5.731 bicicletas elétricas nas operações de distribuição domiciliária dos Correios, em substituição à 2.679 percorridas pedestres, 1.983 motocicletas à combustão e, ainda, 1.069 que hoje utilizam bicicletas convencionais, sem motorização de apoio.

Apêndice C – Resumo do artigo publicado no SIMPEP 2022

Título: Ciclogística: uma revisão da literatura

Palavras-chave: Ciclogística, Bicicletas Cargueiras, Última Milha e Distribuição.

Resumo: O uso de bicicletas nas operações de última milha proporciona um impacto positivo nos processos de entrega, com redução de poluição ambiental e sonora, melhor utilização dos espaços públicos, entre outros. Seguindo essa tendência, uma série de estudos científicos se dedicam a analisar aspectos da importância do planejamento na estratégia para adoção da ciclogística, das vantagens e desafios de adoção de bicicletas cargueiras na distribuição de itens, de modelos otimizados de roteirização e de simulações computacionais diversas, voltados para o uso de bicicletas para entrega de itens. Visando ambientar a contextualização dessa matéria, por meio de um método definido de pesquisa e seleção bibliográfica, o estudo apresenta um resumo das principais contribuições científicas recentes para a adoção e aprimoramento da ciclogística nas empresas.