UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

CURSO DE MESTRADO EM GEOTECNIA E TRANSPORTES

Alessandro Wagner Ferreira

APLICAÇÃO DO MÉTODO MULTICRITÉRIO AHP-PROCESSO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA NO APOIO À TOMADA DE DECISÃO NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS FRACIONADAS

Belo Horizonte

2024

Alessandro Wagner Ferreira

APLICAÇÃO DO MÉTODO MULTICRITÉRIO AHP-PROCESSO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA NO APOIO À TOMADA DE DECISÃO NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS FRACIONADAS

Versão Final

Dissertação apresentada ao curso de Geotecnia e Transportes da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geotecnia e Transportes.

Orientador: Prof. Ronderson Queiroz Hilário (Doutorado)
Coorientador: Prof. Nilson Tadeu Ramos Nunes (PhD)

Belo Horizonte
2024

Ferreira, Alessandro Wagner.
F383a Aplicação do método multicritério AHP-processo de análise hierárquica no apoio à tomada de decisão no transporte rodoviário de cargas fracionadas [recurso eletrônico] / Alessandro Wagner Ferreira. - 2024.
1 recurso online (73 f. : il., color.) : pdf.

Orientador: Ronderson Queiroz Hilário.
Coorientador: Nilson Tadeu Ramos Nunes.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Inclui bibliografia.

1. Transportes - Teses. 2. Transporte rodoviário de carga - Teses. 3. Processo decisório - Teses. 4. Logística - Teses. 5. Processo decisório por critério múltiplo - Teses. 6. Comércio eletrônico - Teses. I. Hilário, Ronderson Queiroz. II.. Nunes, Nilson Tadeu Ramos. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. IV. Título.

CDU: 656(043)

Ficha catalográfica elaborada pelo bibliotecário Reginaldo César Vital dos Santos CRB/6 2165
Biblioteca Prof. Mário Werneck, Escola de Engenharia da UFMG

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

ESCOLA DE ENGENHARIA

COLEGIADO DO CURSO DE MESTRADO EM GEOTECNIA E TRANSPORTES

FOLHA DE APROVAÇÃO

APLICAÇÃO DO MÉTODO MULTICRITÉRIO AHP-PROCESSO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA NO APOIO À TOMADA DE DECISÃO NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS FRACIONADAS

ALESSANDRO WAGNER FERREIRA

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOTECNIA E TRANSPORTES, como requisito para obtenção do grau de Mestre em GEOTECNIA E TRANSPORTES, área de concentração TRANSPORTES. Aprovada em 11 de dezembro de 2024, pela banca constituída pelos membros:

Prof. Ronderson Queiroz Hilário - Orientador (UFMG)
Prof. Nilson Tadeu Ramos Nunes (UFMG)
Prof. Elton Santos Franco (UFVJM)

Belo Horizonte, 11 de dezembro de 2024.

Documento assinado eletronicamente por **Ronderson Queiroz Hilario**, **Chefe de departamento**, em 13/12/2024, às 08:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Nilson Tadeu Ramos Nunes**, **Professor do Magistério Superior**, em 23/12/2024, às 11:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Elton Santos Franco**, **Usuário Externo**, em 04/04/2025, às 08:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3807446** e o código CRC **0D433948**.

Referência: Processo nº 23072.272479/2024-11 SEI nº 3807446

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus em primeiro lugar, pela minha existência e proteção, dando-me força para atingir os meus objetivos.

A minha família, minha mãe Maria Lúcia, minha esposa Rose e minha filha Ana Luíza por sempre acreditarem, apoiarem e compreenderem o esforço e a dedicação necessários.

Aos meus orientadores professores Nilson e Ronderson que me deram as diretrizes e o suporte para que pudesse realizar o trabalho.

A empresa Sete Lagos Transportes onde atuo como gestor de frota e manutenção, pelo apoio para o estudo de caso e flexibilidade nos horários para compor os créditos do mestrado.

Ao grupo Fiat pela oportunidade de atuar por 10 anos no contexto prático logístico a partir do ano 2000.

Ao UNIFEMM – Centro Universitário de Sete Lagoas, onde leciono a 15 anos, disciplinas de Gestão e Logística.

A UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais pela notável capacitação acadêmica permitindo a realização de um sonho.

RESUMO

A tendência mundial na logística e na cadeia de distribuição é a pressão pela redução dos custos, prazos de entrega, impactos ambientais e aumento da segurança das pessoas e das cargas, desencadeada pelo crescimento do *e-commerce.* O uso de transações comerciais de *e-commerce*, mediante a contratação de transportadores rodoviários de cargas fracionadas, tem crescido exponencialmente no Brasil, impulsionado pelo advento da internet, pela globalização dos mercados e pela nova realidade pós-pandemia COVID-19. Com isso, as organizações de transporte rodoviário de cargas fracionadas enfrentam enormes dificuldades para tratar os problemas logísticos complexos existentes de natureza subjetiva. Essa pesquisa busca responder a pergunta "Como avaliar opiniões, experiências e expectativas de resolução de um problema logístico, conforme o nível de importância, julgamentos dos especialistas para apoiar a tomada de decisão na gestão do transporte rodoviário de cargas fracionadas?". O objetivo geral da pesquisa foi aplicar o AHP, método multicritério mais utilizado nas publicações do período de 2014 a 2024, em problemas logísticos complexos, avaliando os critérios e as alternativas, gerando uma prioridade final para o planejamento de ações e servindo como apoio à tomada de decisão no transporte rodoviário de cargas fracionadas. Para a seleção das publicações da revisão bibliográfica foram utilizados os programas de pesquisa *Scopus*, Google Acadêmico, periódicos ANPET, CAPES, *Prisma* e o *software Rayyan*. Na escolha do AHP a ser aplicado no estudo de caso, destacaram-se as publicações de autores de países europeus e asiáticos (2014 a 2024) cujo a base dos métodos também eram a conversão de valores subjetivos em valores numéricos para uma classificação final e apoio à tomada de decisão na gestão de problemas logísticos. As principais publicações nacionais consideradas que aplicaram o AHP foram extraídas de edições da Revista Transportes e do Periódico CAPES, sendo oito artigos científicos e uma tese de doutorado. Como resultado da pesquisa das publicações na Europa e Ásia o AHP foi o mais utilizado ao longo dos anos, indicando sua popularidade e aplicabilidade contínua em pesquisas relacionadas à logística e tomada de decisão. A presença de métodos combinados, como AHP-GIS, AHP-TOPSIS, AHP-VIKOR e AHP-WASPAS, sugeriram uma tendência de integração de múltiplas técnicas para abordar problemas logísticos complexos de maneira mais holística e precisa. A aplicação do AHP no estudo de caso resultou na priorização das melhores alternativas pela transparência, justificativa das decisões, simulação de novos cenários, integração de opiniões de múltiplos especialistas, aplicabilidade em diversos contextos e facilidade de uso.

Palavras chave: transporte rodoviário de cargas, tomada de decisão, problemas logísticos métodos multicritérios, *e-commerce.*

ABSTRACT

The global trend in logistics and the distribution chain is the pressure to reduce costs, delivery times, environmental impacts, and increase the safety of people and cargo, driven by the growth of e-commerce. The use of e-commerce transactions through the hiring of road freight carriers for less-than-truckload (LTL) cargo has grown exponentially in Brazil, fueled by the advent of the internet, market globalization, and the new post-COVID-19 pandemic reality. As a result, organizations involved in road transport of less-than-truckload (LTL) cargo face enormous difficulties in dealing with complex logistical problems of a subjective nature. This research seeks to answer the question: "How to evaluate opinions, experiences, and expectations regarding the resolution of a logistical problem, according to its level of importance, expert judgments, to support decision-making in the management of road transport of LTL cargo?" The main objective of the research was to apply the AHP (Analytic Hierarchy Process), the most widely used multicriteria method in publications from 2014 to 2024, to complex logistical problems, evaluating criteria and alternatives, generating a final priority for planning actions and supporting decision-making in the management of road transport of LTL cargo. For the selection of publications in the literature review, research programs such as Scopus, Google Scholar, ANPET journals, CAPES, Prisma 2020, and the Rayyan software were used. In choosing the AHP method to be applied in the case study, publications from authors in European and Asian countries (2014–2024) stood out, with methods based on the conversion of subjective values into numerical values for final classification and decision-making support in managing logistical problems. The main national publications considered that applied AHP were extracted from editions of the *Revista Transportes* and the *CAPES Journal*, comprising eight scientific articles and one doctoral thesis. As a result of the research on publications in Europe and Asia, AHP emerged as the most widely used method over the years, indicating its popularity and continued applicability in logistics and decision-making research. The presence of combined methods such as AHP-GIS, AHP-TOPSIS, AHP-VIKOR, and AHP-WASPAS suggested a trend towards integrating multiple techniques to address complex logistical problems in a more holistic and accurate way. The application of AHP in the case study resulted in the prioritization of the best alternatives, offering transparency, justification of decisions, simulation of new scenarios, integration of opinions from multiple experts, applicability in various contexts, and ease of use.

Keywords: road freight transport, decision-making, logistical problems, multicriteria methods, e-commerce.

LISTA DE FIGURAS E GRÁFICOS

Figura 1 – Rota A - Sete Lagoas/MG → Guarulhos/SP……33
Figura 2 - Rota B - Contagem/MG → Rio de Janeiro/RJ……34
Figura 3 - Rota C – São Paulo/SP → Rio de Janeiro/RJ……..34
Gráfico 1 – Publicações por Ano……43
Gráfico 2 – Assuntos Principais…….. 44
Gráfico 3 – Publicações por Continente…….45
Gráfico 4 – Publicações por País……46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Malha rodoviária brasileira…… 17
Tabela 2 - Frota total de veículos por região – Brasil – 2012/2022……..…….. 18
Tabela 3 – Escala Fundamental de Saaty……..…….. 21
Tabela 4 – Valores de RI para matrizes de diferentes tamanhos…… 22
Tabela 5 - Questionário para julgamento do decisor em relação aos critérios…… 35
Tabela 6 – Matriz de comparação dos critérios……...…… 36
Tabela 7 – Matriz comparativa (normalizada) dos critérios……...…….37
Tabela 8 – Cálculo do vetor de Eigen dos critérios……...……..37
Tabela 9 – Comparação dos subcritérios: combustível, pedágios e manutenção…… 38
Tabela 10 – Comparação dos subcritérios: distância e condições da via…… 38
Tabela 11 – Comparação dos subcritérios: risco de roubo e condições climáticas…….39
Tabela 12 – Comparação dos subcritérios: Emissão de CO_2 e consumo de combustível.. 39
Tabela 13 – Prioridades dos critérios……...40
Tabela 14 – Matriz de comparação do critério: Custo x Rota……41
Tabela 15 – Matriz de comparação do critério: Tempo de Entrega x Rota……41
Tabela 16 – Matriz de comparação do critério: Segurança x Rota..……42
Tabela 17 – Matriz de comparação do critério: Emissão de poluentes x Rota...…….42
Tabela 18 - Métodos Multicritérios por Ano de Publicação…….……...48
Tabela 19 – Matriz comparativa das prioridades finais dos critérios…….. 51
Tabela 20 – Pesos dos critérios com valores iguais…….51
Tabela 21 – Tempo de entrega com peso maior……..52
Tabela 22 – Matriz comparativa das Prioridades Finais……..53

LISTA DE SIGLAS

3PLs = Operadores logísticos

AHP = Processo de análise hierárquica

ARAS = Avaliação aditiva de proporção

BENCHMARKING = Processo de avaliação da empresa em relação à concorrência

BWM = Método melhor/pior

CEBOM = Modelo de otimização baseado em entropia cruzada

COBRA = Método multicritério baseado em distância

COURIER = Responsável pela entrega de encomendas

CRITIC = Importância dos critérios por meio da correlação intercritério

CROWDSOURCING = Terceirização entre empresas de entregas e cidadãos

CROWDSHIPPING = Sistema de entrega de produtos colaborativo

DELPHI = Previsão sistemática e interativa

DEMATEL = Laboratório de Avaliação e Teste de Tomada de Decisão

DHF = Operador de média ponderada melhorada.

DOI – Teoria da difusão da inovação

DTOE – Estrutura dos tomadores de decisão tecnológica, organizacional e ambiental

FARE = Relação fatorial

FTL – Lotação completa

FullEX – Opiniões de especialistas e sua influência na decisão final

GIS = Sistema de informação geográfica

LMD = Entrega sustentável de última milha

LML = Soluções de logística de última milha

LR – Logística reversa

LTL – Carga inferior a um caminhão

MAMCA = Análise multicritério e multiator

MCDA = Análise de decisão de múltiplos critérios

MCDM - Tomada de decisão multicritério.

MD = Depósito móvel

PRISMA = Principais itens para relatar revisões sistemáticas e meta-análise

SD – Dinâmica de sistemas

SAD – Sistema de apoio à decisão

SDNMARCOS = Medição dupla normalizada

SFAHP = Processo hierárquico analítico esférico

SIG – Sistema de informação geográfica

SNV – Sistema Nacional de Viação

SWOT – Forças, oportunidades, fraquezas e ameaças

TODIM = Tomada de decisão interativa multicritério

TOPSIS – Técnica para ordem de preferência por similaridade com solução ideal

VCL – Veículo comercial ligeiro

VIKOR = Otimização Multicritério e Solução de Compromisso

WASPAS = Avaliação de produto de soma agregada ponderada

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO……. 14
1.1 Contextualização…….. 14
1.2 Justificativa…….. 15
1.3 Objetivos…….. 16
1.4 Estrutura da pesquisa……... 16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA…… 17
2.1 Transporte rodoviário de cargas…….. 17
2.2 Relacionamento do *e-commerce* com o serviço de cargas fracionadas……... 18
2.3 Tendências do *e-commerce* no Brasil…….. 19
2.4 Modelo de otimização de serviços de cargas fracionadas……... 20
2.5 Métodos Multicritérios para apoio à tomada de decisão……. 20
2.5.1 AHP – Processo de Análise Hierárquica…….. 20
2.5.2 TOPSIS - Técnica Ordem de Preferência por Similaridade com Solução Ideal….. 23
2.5.3 DEMATEL - Laboratório de Avaliação e Teste de Tomada de Decisão……. 25
2.5.4 VIKOR - Otimização Multicritério e Solução de Compromisso……. 26
2.5.5 WASPAS - Avaliação por Soma e Produto Ponderados…….. 26
2.5.6 PROMETHEE II - Método Organização de Classificação de Preferências para Avaliações Enriquecidas II…… 27
2.5.7 DELPHI - Previsão sistemática e interativa……. 28
2.5.8 UTA - Utilidades Aditivas…….. 28
2.5.9 SUGENO – WEBER…… 29
2.5.10 TODIM - Tomada de Decisão Interativa e Multicritério……... 30
2.5.11 ARAS - Avaliação de Razão Aditiva……. 30
3 METODOLOGIA……. 32
3.1 Pré identificação…….. 33
3.2 Métodos de decisão e questionários……. 35
3.3 Execução da pesquisa…….. 36
3.3.1 Cálculo das prioridades dos subcritérios…….. 38
3.4 Verificação dos dados…….. 40
3.5 Análise de dados……...40
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES……43
4.1 Seleção do AHP……....43
4.2 Aplicação do AHP…… 50

4.2.1 Cálculo das prioridades finais dos critérios……..…… 50
4.2.2 Análise de sensibilidade…… 51
4.2.2.1 Cenário 1 – pesos iguais…… 51
4.2.2.2 Cenário 2 – tempo de entrega mais importante…….. 52
4.2.3 Cálculo das prioridades finais dos subcritérios..... 52
4.3 Problemas logísticos…… 54
4.3.1 Entrega final ao cliente…….. 54
4.3.2 Centros de distribuição…….. 58
4.3.3 Plataformas digitais……... 60
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES……... 67
REFERÊNCIAS…….. 70

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A tendência mundial na logística e na cadeia de distribuição é a pressão pela redução dos custos, prazos de entrega, impactos ambientais e aumento da segurança das pessoas e das cargas, desencadeada pelo crescimento do *e-commerce.* Para reduzir os custos e o prazo de entrega, é necessário escolher a melhor localização dos centros de distribuição, usar a tecnologia da informação, via sistemas integrados, principalmente através das plataformas digitais e utilizar os meios de transporte mais econômicos e sustentáveis.

Com o incremento do *e-commerce* no país, as empresas de transporte de carga no Brasil passaram a trabalhar com muita intensidade no transporte de cargas fracionadas, embora a maioria não possua a estrutura necessária para um desempenho mais adequado. Entende-se como cargas fracionadas as cargas de vários clientes que são conduzidas em um mesmo veículo, para uma determinada rota.

O transporte de cargas fracionadas requer o cumprimento de certos requisitos fundamentais para uma operação de sucesso, isto é, se faz necessário um planejamento efetivo de cada etapa do processo, de forma a garantir a segurança das cargas, mantendo a satisfação dos clientes, mas operando com economicidade para manter a posição no mercado.

O planejamento inicia na captação das cargas fracionadas, as quais devem seguir um padrão de embalagem que possibilite maior eficiência na consolidação das mesmas no veículo. A consolidação das cargas, por sua vez, precisa obedecer uma sequência de embarque, respeitando a ordem de visita dos clientes de uma determinada rota. Esta etapa precisa também cuidar da homogenização das cargas para evitar a mistura de produtos não compatíveis, de forma a evitar contaminação ou desperdício.

De forma geral as cargas devem ter dispositivos que permitam a monitoração desde o embarque até a entrega aos clientes. Por outro lado, é adequado a georreferência das rotas para facilitar a monitoração, bem como, correções operacionais.

Em função da cultura conservadora no movimento de cargas, há necessidade de reestruturação para melhor desempenho de cada etapa do processo de transporte de cargas fracionadas, que começa na organização da captação dos produtos das várias origens a serem transportados, na consolidação das cargas para otimização dos carregamentos e, sobretudo,

na roteirização inteligente com monitoração efetiva das entregas aos clientes (FELDMANN, 2019). Estes aspectos demonstram a complexidade de um sistema de transporte de cargas fracionadas, onde as etapas do processo do embarque ao cliente precisam ser bem executados, para que se obtenha sucesso na produção do serviço.

Com a tendência de incrementação no processo de *e-commerce* é natural que as empresas de transporte de cargas rodoviárias sejam pressionadas a melhorar a qualidade do serviço, através do uso de estruturas mais eficientes. Cabe mencionar que a teoria da produção de serviços e produtos nos ensina que, a cada desenho de projeto teremos necessariamente gerada uma função de custos operacionais. Entretanto, a função de produção, com sua relativa função de custos, podem ser alteradas de forma a produzir maior eficiência no processo produtivo.

A empresa que será aplicado o AHP é de médio porte, contendo 5 unidades nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná e Santa Catarina, e atua no setor de transporte rodoviário de cargas fracionadas. A transferência de cargas entre as unidades é feita em veículos maiores, pois envolvem a movimentação de mercadorias de diferentes remetentes em um mesmo veículo (consolidação), otimizando a utilização do espaço, transferindo um montante maior de cargas em um mesmo veículo, reduzindo assim custos de frete.

Ao chegar na unidade destino, é feito o processo de desconsolidação da carga, que compreende na divisão da carga por remetentes e a transferência para veículos menores de distribuição até a entrega final ao cliente na cidade/região de destino.

1.2 Justificativa

As empresas de transporte rodoviário de cargas precisam dispor de meios para oferecer serviços de excelência para seus clientes, praticar preços competitivos, obter resultados financeiros favoráveis, que possibilitem o investimento em melhoria contínua e proporcione lucro. Para tal, precisam conhecer e aplicar o AHP em cenários em que oferecem os serviços, executando os processos internos, considerando os principais aspectos para o bom desempenho, os gargalos operacionais, as boas práticas, as ferramentas operacionais e de gestão disponíveis (BELEM, 2007). O AHP foi escolhido para ser aplicado na pesquisa, por ser um método multicritério estruturado, de fácil replicação em qualquer área do conhecimento, por avaliar e classificar os critérios, subcritérios e alternativas

mensurando-os, gerando assim uma priorização final, conforme o nível de importância e julgamentos dos especialistas.

1.3 Objetivos

O objetivo geral da pesquisa foi aplicar o AHP, método multicritério mais utilizado nas publicações do período de 2014 a 2024, em problemas logísticos complexos, avaliando os critérios, subcritérios e as alternativas, gerando uma prioridade final para planejamento de ações e servindo como apoio à tomada de decisão na gestão do transporte rodoviário de cargas fracionadas.

Para isso, foi utilizado, como critério fundamental dessa pesquisa a mensuração das opiniões, experiências e expectativas de resolução de problemas logísticos, conforme o nível de importância, julgamentos de especialistas, classificação das melhores alternativas e a possibilidade de simulação em diversos cenários para a tomada de decisão final.

A partir do objetivo geral, visou-se:

- Apresentar o AHP método multicritério mais utilizado nos últimos 10 anos em problemas logísticos;
- Discutir o AHP em aplicações para resolver problemas logísticos de entrega final, centros de distribuição e plataformas digitais;
- Aplicar o AHP no estudo de caso;

1.4 Estrutura da Pesquisa

A pesquisa está dividida em 5 capítulos a saber: o capítulo 1 refere-se a Introdução onde se demonstra o objetivo da pesquisa, os métodos e ferramentas utilizados e fornece uma visão dos próximos capítulos. O capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica das publicações relevantes, através da base de dados *Scopus*, Google Acadêmico, periódicos ANPET e periódicos CAPES. O capítulo 3 apresenta a metodologia, ou seja, todos os métodos e ferramentas usados na pesquisa para a identificação das publicações relevantes e aplicação do método multicritério mais utilizado para apoio à tomada de decisão. O capítulo 4 – Resultados e discussões aplica-se o AHP como o mais utilizado nos últimos 10 anos. Capítulo 5 - As conclusões e recomendações e por fim, são apresentadas as referências.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Transporte rodoviário de cargas

O transporte rodoviário, o mais utilizado para cargas no Brasil, é responsável por movimentar cerca de 65% das cargas e 95% dos passageiros no território nacional. É composto por veículos automotores como caminhões rebocadores, carretas, bi-trens, etc. Apesar das inúmeras dificuldades de infraestrutura, é o único tipo de transporte que possibilita a entrega porta a porta sem a necessidade de outro tipo de transporte adicional. A quase totalidade do transporte rodoviário de cargas porta a porta, passa em algum ponto da sua cadeia logística, pelas estradas de rodagem brasileiras. Ademais, as rodovias desempenham um papel estratégico para a integralização regional e contribuem substancialmente para o desenvolvimento socioeconômico (PESQUISA CNT RODOVIAS, 2023).

Segundo dados do SNV – Sistema Nacional de Viação, a malha brasileira se estende por 1,7 milhão de quilômetros de rodovias, dos quais somente 12,4% são pavimentados, totalizando 213,5 mil quilômetros.

Tabela 1 – Malha rodoviária brasileira

Total de Rodovias 1.720.909 km		
Rodovias pavimentadas 213.500 km – 12,4%	Rodovias não pavimentadas 1.350.100 km – 78,5%	Rodovias planejadas 157.309 km – 9,1%

Fonte: Pesquisa CNT Rodovias 2023.

A expressiva extensão de vias não pavimentadas, cerca de 1,4 milhão de quilômetros, ou 78,5% da malha rodoviária, provoca a necessidade de viagens por rotas mais longas que desviem de trechos não pavimentados; ou de deslocamentos por essas vias, onde as velocidades e condições de tráfego são inferiores das vias pavimentadas. Ambas as situações elevam os custos de transporte e comprometem o conforto e a segurança das pessoas e das cargas. A indisponibilidade de rodovias pavimentadas implica diretamente no desenvolvimento regional, uma vez, que a restrição de conectividade pode limitar o crescimento de determinadas localidades e afetar negativamente o acesso a recursos e serviços essenciais (PESQUISA CNT RODOVIAS, 2023).

Por outro lado, o crescimento da frota de veículos contribui para a maior utilização da infraestrutura rodoviária e, diante da insuficiência de recursos destinados à manutenção e à conservação, tem-se acelerado a deterioração dos ativos existentes. No período de 2012 a 2022, registrou-se uma expansão de 51,2% no número total de veículos. A análise da taxa de motorização corrobora o cenário de aumento da demanda por infraestrutura rodoviária no país. Esse indicador é calculado pela relação entre o número de veículos e a população de uma determinada área. No período de 2012 a 2022, a taxa de motorização nacional foi ampliada de 39,3 para 56,7 veículos por 100 mil habitantes, representando um acréscimo de 44,4%. Esse resultado supera consideravelmente o crescimento da população brasileira, registrado em 4,7% durante o período. As regiões Nordeste (68,0%) e Norte (67,3%) lideraram essa expansão (PESQUISA CNT RODOVIAS, 2023).

Tabela 2 – Frota total de veículos por região – Brasil – 2012/2022

REGIÃO	2012	2022	CRESCIMENTO 2012-2022 (%)
Norte	3.573.678	6.364.215	78,1
Nordeste	11.939.732	20.329.329	70,3
Sudeste	38.277.054	55.046.537	43,8
Sul	15.409.291	22.419.641	45,5
Centro-Oeste	6.937.436	10.956.810	57,9
Brasil	**76.137.191**	**115.116.532**	**51,2**

Fonte: Pesquisa CNT Rodovias 2023.

No transporte rodoviário de cargas existem dois tipos principais de contratação de frete: a carga lotação (FTL ou *full truckload*), caracterizada por uma origem e um único destino, em que a entrega completa a capacidade de um caminhão, e a carga fracionada (LTL ou *less-than-truckload*), em que cada remessa por si só não é capaz de completar um veículo. A principal característica da carga fracionada é a possibilidade de coletar pequenas quantidades de vários embarcadores, para consolidar uma carga e fazer uma entrega, diferente da carga fechada, em que a mercadoria pertence a um único remetente (FELDMAN, 2019).

2.2 Relacionamento do *e-commerce* com o serviço de cargas fracionadas

O *e-commerce* é uma realidade no cotidiano das pessoas, é uma ferramenta de fácil acesso, ótima para economia de tempo e custos em geral. No atual cenário tecnológico, conta

com canais de vendas virtuais, tanto por redes sociais, quanto por *sites* específicos. Emerge como uma nova ferramenta de comercialização, marketing e distribuição de mercadorias. Considerada uma das melhores estratégias para prospectar e fidelizar clientes. Antes da pandemia Covid-19, o *e-commerce* já era usado no Brasil, porém após o fechamento completo das lojas físicas, pessoas que nunca haviam acessado plataformas de vendas on-line, se iniciaram nessa nova realidade (SILVERIO et al., 2022).

O *e-commerce* é parte do progresso técnico e sua difusão pelo território nacional materializa-se na criação de novas redes, sejam elas de transportes, comunicação, distribuição, etc. Produto da divisão social, territorial e internacional do trabalho, as redes estruturam e reestruturam as interações entre os indivíduos e o espaço constantemente (MELO, 2021).

2.3 Tendências do e-commerce no Brasil

A Associação Brasileira de Comércio Eletrônico - ABCOMM, difundiu que nos próximos anos e até mesmo décadas o *e-commerce* irá expandir e aumentar sua participação em relação ao varejo habitual, destacando-se o acréscimo do consumo de bens digitais. As expectativas de crescimento são otimistas, pois o consumidor brasileiro está cada dia mais confiante para fazer compras *online* (ABCOMM, 2023).

Conforme Melo (2021) tendo como recorte temporal as duas décadas do século XXI, o crescimento do e-commerce no Brasil, assim como a importância dele para o setor logístico pode ser justificado por três momentos basilares: 1 – O final da década de 2000 e início da década de 2010, quando houve a popularização do acesso à internet em lares e domicílios; 2 – A difusão de *smartphones* no país, que aconteceu após o ano de 2015; 3 – A pandemia da Covid-19, iniciada no Brasil em março de 2020, que fez as pessoas optarem cada vez mais por receber seus produtos em seus domicílios, pois muitas pessoas passaram a evitar as inevitáveis aglomerações humanas dos centros comerciais tradicionais.

As categorias de bens mais vendidos foram: moda e acessórios 19%; cosméticos e perfumaria 18%; eletrodomésticos 10%; livros e revistas 9%; informática 7% e os fatores-chave para obter sucesso foram: 1 – Segmentação; 2 – Promoção; 3 – marketing de relacionamento; 4 – mobilidade; 5 – tempo de carregamento; 6 – otimização de buscas; 7 – preço; 8 – prazo; 9 – métricas; 10 – comunicação visual (TEIXEIRA, 2022).

2.4 Modelo de otimização de serviços de cargas fracionadas

O *e-commerce* após a retomada do crescimento econômico, pós-pandemia, contribuiu para o aumento da demanda por transporte rodoviário de cargas nos mais diversos setores. A avaliação do desempenho operacional das Empresas de Transporte Rodoviário de Cargas – ETRC foi realizada através de diversos indicadores, que isoladamente ajudaram os gestores no acompanhamento e controle de suas atividades. Através desses indicadores foi possível identificar os gargalos operacionais que impediram um melhor desempenho do serviço prestado, porém, não foram suficientes para apoiar a tomada de decisão.

Assim sendo, foi oportuna a utilização da metodologia multicritério de apoio à decisão – construtivista (MCDA-C) na construção de um modelo de avaliação do desempenho operacional às empresas transportadoras. A escolha da metodologia se alicerçou em dois pontos principais: i) a de levar em consideração a visão dos tomadores de decisão, ii) a de conseguir agregar os aspectos relevantes para o bom desempenho operacional em um único modelo.

O enfoque construtivista da metodologia possibilitou o desenvolvimento dos decisores no conhecimento a cerca da problemática, o que permitiu num estado mais avançado, tomar decisões mais acertadas para alcance dos objetivos estratégicos. Buscou-se a elaboração de um modelo multicritério de avaliação do desempenho operacional das ETRC capaz de apoiar a tomada de decisão dos gestores, e ainda, possibilitar a compreensão das consequências de suas possíveis decisões no contexto em investigação (PINHEIRO, 2013).

2.5 Métodos multicritérios para apoio à tomada de decisão

2.5.1 AHP – Processo de Análise Hierárquica

Desenvolvido pelo matemático Thomas L. Saaty na década de 1970, estruturado para organizar e analisar decisões complexas, o AHP - Processo de Análise Hierárquica é amplamente utilizado em diversos campos, incluindo, gestão, engenharia, educação, indústria e governo, no apoio à tomada de decisões que envolvam múltiplos critérios.

O AHP estrutura o problema em uma hierarquia (níveis) de objetivos, critérios e alternativas, decompondo o problema em partes gerenciáveis. Os tomadores de decisão

fazem comparações par a par entre os critérios e as alternativas, atribuindo valores de importância relativa, resultando em uma matriz de comparação.

A partir das comparações, são calculados os pesos para cada critério e alternativa, refletindo a importância relativa de cada elemento na hierarquia. Verifica-se a consistência das comparações feitas, garantindo que as decisões sejam coerentes e os pesos são utilizados para atribuir uma pontuação para cada alternativa, resultando na classificação final (WANG et al., 2019).

O AHP é uma ferramenta eficaz para apoiar a tomada de decisão multicritério porque sua estrutura envolve a decomposição de um problema complexo em uma hierarquia de critérios e subcritérios, permitindo a comparação par a par dos elementos. Os decisores comparam os critérios e os subcritérios em pares, atribuindo valores de importância relativa (RAMOS et al., 2020).

A escala de Saaty (1991) é fundamental para comparar a importância relativa entre dois critérios, permitindo que decisões complexas sejam estruturadas de maneira lógica e consistente.

Tabela 3 – Escala Fundamental de Saaty, 1991

Escala	Avaliação	Recíproco	Comentário
Igual importância	1	1	Os dois critérios contribuem igualmente para os objetivos.
Importância moderada	3	1/3	A experiência e o julgamento favorecem um critério levemente sobre o outro.
Mais importante	5	1/5	A experiência e o julgamento favorecem um critério fortemente em relação a outro.
Muito importante	7	1/7	Um critério é fortemente favorecido em relação a outro e pode ser demonstrado na prática.
Importância extrema	9	1/9	Um critério é favorecido em relação a outro com o mais alto grau de certeza.
Valores intermediários	2, 4, 6 e 8		Quando se procura condições de compromisso entre duas definições. É necessário acordo.

Fonte: Adaptado de Ramos et al. (2020)

Quando dois critérios são avaliados como igualmente importantes para o objetivo em questão, atribui-se a ele o valor 1. Isso significa que ambos contribuem de maneira equivalente para a decisão.

Quando a experiência e o julgamento indicam que um critério é levemente mais importante que o outro, atribui-se o valor 3. O recíproco 1/3, é usado para o critério menos importante. Esse valor reflete uma preferência moderada.

Se a experiência e o julgamento favorecem fortemente um critério em relação ao outro, atribui-se o valor 5. O recíproco 1/5, é utilizado para o critério menos favorecido. Este valor indica uma preferência clara e significativa.

Quando um critério é fortemente em relação ao outro e essa preferência pode ser demonstrada na prática, atribui-se o valor 7. O recíproco, 1/7, é usado para o critério menos importante. Este valor reflete uma diferença substancial na importância.

Se um critério é favorecido em relação ao outro como o mais alto grau de certeza, atribui-se o valor 9. O recíproco 1/9, é utilizado para o critério menos favorecido. Este valor representa a máxima diferença de importância entre dois critérios.

Os valores intermediários 2, 4, 6 e 8 são utilizados quando se busca compromisso entre duas definições adjacentes na escala. Eles permitem maior flexibilidade e precisão na avaliação, sendo necessário um acordo entre os avaliadores para sua aplicação.

O AHP converte opiniões em valores (qualitativo em quantitativo), ou seja, através dos pesos de importância relativa atribuído aos critérios, fazem a comparação da matriz par a par, chega-se ao número principal do vetor de prioridade Eigen, avalia se o percentual de inconsistência está dentro dos padrões (< 10%) e obtém a priorização dos critérios. Esse processo funciona como simulação onde várias rodadas podem ser efetuadas para se chegar ao resultado esperado.

Os pesos de importância relativa de cada critério são obtidos normalizando a matriz comparativa. Para normalizar a matriz comparativa divide-se cada elemento pela soma da coluna correspondente. A determinação da contribuição de cada critério na meta global de priorização dos multicritérios é calculada a partir do vetor de prioridade ou vetor de Eigen.

O vetor de Eigen apresenta os pesos relativos entre os critérios e é obtido através da média aritmética dos valores de cada um dos critérios pela quantidade de critérios. O valor do vetor de Eigen representa a participação do critério no resultado total da meta.

Em seguida verifica-se a consistência dos dados. A verificação visa a captar se os tomadores de decisão foram consistentes nas suas opiniões (KARDI, 2006).

Tabela 4 – Valores de RI para matrizes de diferentes tamanhos

Dimensão da matriz (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valor de RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Saaty, 2005

Calcula-se através do somatório do produto de cada elemento do vetor de Eigen pelo total da respectiva coluna da matriz comparativa original.

Saaty (2005), propôs o que foi chamado de taxa de inconsistência (CR). Ela é determinada pela razão entre o valor do índice de consistência (CI) e o índice de consistência aleatório (RI) dado pela equação CR = CI / RI < 0,1 → 10%. A matriz é considerada consistente se a razão for menor que 10%. Como exemplo e para melhor compreensão, o valor de RI é fixo 0,90 (conforme tabela 4 acima) para a quantidade de 4 critérios avaliados.

2.5.2 TOPSIS - Técnica Ordem de Preferência por Similaridade com Solução Ideal

Desenvolvido por Hwang e Yoon em 1981, o TOPSIS - Técnica ordem de preferência por similaridade, busca identificar a alternativa que tem a menor distância do ponto ideal positivo (a melhor solução possível) e a maior distância do ponto ideal negativo (a pior solução possível).

As alternativas são normalizadas para permitir comparações diretas entre critérios com diferentes unidades de medida. Define-se uma solução ideal positiva (melhor valor para cada critério) e uma solução ideal negativa (pior valor para cada critério).

Calcula-se a distância euclidiana de cada alternativa em relação as soluções ideais positiva e negativa, é calculado um índice de similaridade para cada alternativa, indicando quão próxima ela está da solução ideal positiva. As alternativas são classificadas com base no índice de similaridade, priorizando aquelas mais próximas da solução ideal positiva (WANG et al. 2019).

Na China para sediar empresas de *e-commerce*, Wang et al. (2019) aplicaram o AHP e TOPSIS na busca de identificar a cidade ideal, introduzindo uma abordagem inovadora, através da criação de uma estrutura hierárquica que avaliasse a competitividade da logística urbana. Essa estrutura foi refinada com base em revisões literárias e entrevistas semiestruturadas com especialistas, para simular o raciocínio dos decisores de forma precisa.

A análise revelou que o custo de transporte foi o fator mais crítico na escolha da localização, posicionando Xangai como a cidade mais atrativa para essas empresas.

Os bens e serviços necessários aos processos industriais e fabris, bem como aqueles que serão consumidos pela população, tornaram o transporte de carga essencial para a economia e para a vida cotidiana. No entanto, os veículos, principalmente os caminhões a

diesel, são responsáveis por uma quantidade desproporcional de emissões de CO_2 na atmosfera.

Por conseguinte, é imperativo gerir a procura de melhores opções de transporte e promover a utilização de veículos, combustíveis e tecnologias mais limpas. As opções de entrega mais comuns incluem veículos a gás natural comprimido, elétricos híbridos, elétricos a bateria e a hidrogênio com célula de combustível.

No entanto, características técnicas e operacionais, disponibilidade para o mercado e outros fatores relacionados com estas tecnologias podem ser muito diferentes e para avaliar as alternativas de tecnologias de veículos sustentáveis aplicaram-se a combinação do AHP e TOPSIS (JALLER et al., 2020).

A análise de localização para uma instalação de consolidação de cargas (centro de distribuição) é um desafio multicritério, agravado por restrições espaciais encontradas em áreas centrais da cidade.

No entanto, a maioria dos modelos de apoio à decisão, em estudos de localização de instalações estão limitados a computação numérica ou à análise multicritério, ignorando os fatores espaciais na seleção da localização.

Para solucionar esse problema logístico Aljohani et al., (2020), buscaram caracterizar locais adequados para uma localização no centro da cidade com base em aspectos espaciais, requisitos operacionais e preocupações sociais.

Assim, utilizaram-se 11 critérios de decisão identificados pelas principais partes interessadas. Dados geográficos reais de Inner Melbourne na Austrália, foram usados para identificar 20 locais candidatos que foram avaliados e classificados aplicando o TOPSIS

As análises confirmaram que os locais mais adequados estão em zonas com terrenos acessíveis às principais estradas. A análise de sensibilidade indicou que atribuir mais importância aos requisitos operacionais e diminuir o peso de prioridade para a proximidade de áreas residenciais, favorecem áreas com baixos custos imobiliários e zonas industriais.

A modelação espacial multicritério permitiu que os decisores e investigadores dos transportes, aplicassem decisões de valor no início do processo, para melhor compreensão e visualização dos resultados.

Madlenák et al. (2020) utilizaram o TOPSIS e avaliaram pela perspectiva do cliente, representado por um grupo de pessoas em idade produtiva, os vários processos de opções de entrega da loja virtual mais popular da Eslováquia e do segmento de clientes.

Para selecionar os modos de entrega final na perspectiva dos clientes de compras *online*, Sangkhiew et al. (2022), aplicaram o AHP e quantificaram os pesos dos 8 critérios: horário comercial, opções de pagamento, conveniência, segurança do produto, custo de entrega, respeito ao meio ambiente, flexibilidade e entrega direta, enquanto o TOPSIS foi aplicado para classificar 4 modos de entrega: entrega em domicílio assistida, entrega em domicílio autônoma, pontos de coleta tripulado e pontos de coleta não tripulado, alinhados com os critérios ponderados.

O número crescente de modelos de negócios competitivos, tornam a seleção correta do produto pelo usuário final com base na opinião de outros usuários e no *feedback* em diferentes fóruns, uma tarefa desafiadora.

A agregação das características dos produtos pelos portais de *e-commerce* com base em dados coletados de diversas fontes não foi suficiente para que o consumidor tomasse a decisão sobre a escolha adequada do produto, por isso o TOPSIS e o AHP foram aplicados para classificar as alternativas com base em técnicas de aprendizado de máquina (HASAN et al., 2023).

2.5.3 DEMATEL - Laboratório de Avaliação e Teste de Tomada de Decisão

Desenvolvido pelo *Geneva Research Centre of the Battelle Memorial Institute* entre 1972 e 1976, o DEMATEL - Laboratório de Avaliação e Teste de Tomada de Decisão visa analisar, modelar, identificar, a estrutura de relações complexas entre critérios e problemas de decisão e visualizar as interdependências e influências entre os diferentes fatores. Büyüközkan et al. (2019), aplicaram o DEMATEL através da construção de uma matriz de influência direta, onde os tomadores de decisão avaliaram a influência direta de cada critério sobre os outros.

A matriz de influência foi normalizada para facilitar a comparação entre os critérios, calcularam a matriz de relações totais que consideraram tanto as influências diretas quanto indiretas entre os critérios. Geraram um mapa de impacto causal que visualizaram as relações de causa e efeito entre os critérios, destacando quais foram os mais influentes e quais foram os mais influenciados.

2.5.4 VIKOR - Otimização Multicritério e Solução de Compromisso

Desenvolvido para lidar com problemas de decisão complexos onde há múltiplos critérios conflitantes, o VIKOR - Otimização Multicritério e Solução de Compromisso se concentra em encontrar uma solução de compromisso, ou seja, uma solução que seja a mais próxima possível do ideal em sentido de compromisso e define uma solução ideal e uma solução não ideal para cada critério.

Büyüközkan et al. (2019), aplicaram o VIKOR, calcularam a função de compromisso que considerou a distância de cada alternativa em relação as soluções ideais e não ideais. Utilizaram um parâmetro de compromisso (geralmente entre 0 e 1) usado para ajustar a ênfase entre a solução ideal e a solução de compromisso. As alternativas foram classificadas com base na função de compromisso, priorizando aquelas que ofereceram o melhor equilíbrio entre os critérios.

O estudo de Büyüközkan et al. (2019), aplicaram o DEMATEL-VIKOR na cidade de Istambul, cujo resultados demonstraram a viabilidade, impacto na qualidade de vida dos cidadãos, importância de abordagens inovadoras na logística urbana, otimização das atividades de logística e transporte em prol do desenvolvimento econômico e social das cidades.

Com foco específico nas operações de “entrega final”, que são essenciais para o *e-commerce* e continuam a evoluir com o advento de novas tecnologias, propuseram a seleção de tecnologias inteligentes para aprimorar a eficiência das entregas tanto para empresas quanto para os clientes.

WANG et al. (2021), aplicaram o AHP e VIKOR e analisaram os critérios mais influentes e conflitantes em relação aos critérios econômicos, nível de serviço, sociais, ambientais e de risco. O tempo de entrega foi um dos fatores mais relevantes no problema da terceirização logística (3PLs), aumentaram também a relevância das funções logísticas, principalmente o transporte e a tendência de crescimento do *e-commerce* afetaram as cadeias de abastecimento no mundo.

2.5.5 WASPAS - Avaliação por Soma e Produto Ponderados

Desenvolvido para melhorar a precisão e a robustez das decisões multicritério, o WASPAS combinam duas abordagens clássicas de decisão multicritério: a soma ponderada

e o produto ponderado, integrando as abordagens de soma ponderada e produto ponderado para avaliar alternativas.

As alternativas são normalizadas para permitir comparações diretas entre critérios e calcula-se uma pontuação composta para cada alternativa, combinando os resultados das abordagens de soma e produto. Um parâmetro de ajuste (geralmente entre 0 e 1) é usado para ponderar a contribuição de cada método (soma e produto) na pontuação final WANG et al. (2021).

Yalcin et al. (2023), aplicaram e avaliaram a eficácia do WASPAS na escolha da localização ideal dos centros de distribuição, devido a redução de circulação de veículos de carga nos centros urbanos e mitigaram os congestionamentos de trânsito entre outras externalidades.

2.5.6 PROMETHEE II - Método de Organização de Classificação de Preferências para Avaliações Enriquecidas II

Desenvolvido para classificar e selecionar alternativas com base em múltiplos critérios, o PROMETHEE II, também conhecido por sua simplicidade e eficácia na análise de problemas de decisão complexos, utiliza-se de funções de preferência para comparar pares de alternativas em relação a cada critério e determinam o grau de preferência de uma alternativa sobre outra.

As alternativas são classificadas com base nos fluxos líquidos de preferência, que são a diferença entre os fluxos positivos e negativos. Permite a personalização das funções de preferência e a ponderação dos critérios, oferecendo flexibilidade para adaptar o método a diferentes contextos de decisão AGRAWAL et al. (2020).

Na Índia, para selecionar a plataforma de compras online com melhor classificação, Agrawal et al. (2020) aplicaram AHP, TOPSIS e PROMETHEE II compararam a presença de diferentes sites de *e-commerce* no mercado com base em diferentes critérios que representaram várias formas da satisfação dos clientes. Os critérios foram identificados de acordo com a relevância e foram recolhidas opiniões de vários especialistas nos sites de *e-commerce* sobre os mesmos.

2.5.7 DELPHI - Previsão sistemática e interativa

Desenvolvido inicialmente pela Rand Corporation na década de 1950, o Delphi é uma técnica de previsão e tomada de decisão que utiliza a opinião de especialistas para chegar a um consenso sobre um determinado assunto, principalmente para prever tendências futuras e tomar decisões em situações de incerteza. O processo é iterativo, envolvendo várias rodadas de perguntas e respostas, reúnem um grupo de especialistas que fornecem suas opiniões sobre determinado problema através de várias rodadas.

Após cada rodada, um resumo das respostas é compartilhado com os especialistas, sendo suas respostas anônimas, o que ajuda a evitar a influência de personalidades dominantes e promove a honestidade nas respostas. Os especialistas têm a oportunidade de revisar suas respostas com base no feedback agregado das rodadas anteriores e buscam alcançar o objetivo de um consenso ou uma convergência de opiniões ao longo das rodadas (GONZALEZ et al. 2023).

Gonzalez et al. (2023), aplicaram o DELPHI, desenvolveram uma estrutura de ponderação de vários critérios com seus respectivos pesos, buscaram as opiniões dos especialistas e do ambiente urbano, identificaram os critérios-chave e avaliaram as soluções mais sustentáveis.

A entrega eficaz de última milha é crítica para o funcionamento eficiente das cadeias de abastecimento, além da velocidade, custo da entrega, sustentabilidade ambiental e social que são fatores cada vez mais relevantes, especialmente em áreas urbanas.

Soluções sustentáveis como os drones atraem especial atenção dos especialistas devido ao seu elevado potencial, Tadic et al. (2024) aplicaram o DELPHI, identificaram a falta de regulamentação da aviação como o principal obstáculo à implementação de drones.

Os maiores desafios foram os riscos de acesso não autorizado, uso indevido de dados, violações de privacidade e segurança dos dados, além dos requisitos definidos de forma ambígua ou onerosos em termos de seguro e responsabilidade para proprietários dos drones.

2.5.8 UTA - Utilidades Aditivas

Projetado para modelar as preferências do decisor de forma precisa através da abordagem de programação linear, o UTA – Utilidades Aditivas é um método que busca inferir uma função de utilidade aditiva a partir das preferências do decisor. Infere-se uma

função de utilidade aditiva que melhor represente as preferências do decisor, com base em um conjunto de alternativas de referência.

Utiliza técnicas de programação linear para ajustar a função de utilidade, minimizando a diferença entre as classificações observadas e as previstas. Permite modelar preferências complexas e não-lineares, oferecendo uma representação precisa das preferências do decisor.

As alternativas são classificadas com base na função de utilidade inferida, permitindo identificar a melhor opção, sendo adequado em situações onde seja importante capturar com precisão as preferências do decisor (STAMADIANOS et al. 2023).

Com o crescimento dos centros urbanos, das vendas *online (e-commerce)* e das atuais condições sociais, a procura por transporte de mercadorias aumentou consideravelmente no segmento de entrega de itens de grande porte, onde restrições de diversas naturezas impuseram o uso de veículos pequenos.

Stamadianos et al. (2023), aplicaram o UTA e propuseram soluções em problemas de roteamento de veículos com coletas, entregas e restrições de carregamento em cenários de demanda que excedessem a capacidade.

Nesse contexto o UTA pôde ajudar os tomadores de decisão das empresas de logística obterem sugestões de rotas com base em suas prioridades, valores, critérios e limites, possibilitando a formação de múltiplas soluções.

2.5.9 SUGENO – WEBER

A Integral de SUGENO é uma técnica de agregação utilizada principalmente em sistemas de lógica difusa, empregada para combinar informações de múltiplos critérios, levando em consideração a interação entre eles.

Particularmente útil em situações onde os critérios não são independentes, pois sua forma de agregação considera a interação entre os critérios, ao contrário de métodos que assumem independência.

Utilizada em funções de pertinência para representar o grau de satisfação de cada critério em relação as alternativas, a agregação é feita com base em medida de capacidade, definindo a importância e a interação entre os critérios. Consideram-se a interdependência entre os critérios, permitindo assim uma modelagem mais realista para os problemas complexos PAMUCAR et al. (2024).

WEBER, também conhecido como problema de localização é um modelo clássico de otimização que busca determinar a localização ideal de um ponto (como uma instalação ou serviço) em relação a um conjunto de locais existentes, minimizando o custo total de transporte ou distância. Embora não seja um método de decisão multicritério no sentido tradicional, ele pode ser adaptado para considerar múltiplos critérios em problemas de localização. Foca na determinação da localização que minimiza a soma ponderada das distâncias em vários pontos de demanda e utiliza um modelo matemático para calcular a localização ideal com base em distâncias euclidianas ou outras métricas.

Comumente aplicado em problemas de logística, como a localização de armazéns, fábricas ou centros de distribuição e pode ser estendido para analisar múltiplos critérios, como custo, tempo e acessibilidade, através de ponderações ou funções de utilidade PAMUCAR et al. (2024).

2.5.10 TODIM - Tomada de Decisão Interativa e Multicritério

Conhecido por sua capacidade de lidar com a subjetividade e a percepção de risco dos decisores, o TODIM - Tomada de Decisão Interativa e Multicritério é um método de decisão multicritério que incorpora a teoria da perspectiva para modelar o comportamento de decisão dos tomadores de decisão. A função de valor é utilizada para calcular a atratividade de cada alternativa em relação a um ponto de referência. As alternativas são comparadas iterativamente, suas atratividades totais são classificadas levando em conta a percepção de risco, permitindo assim identificar a melhor opção. Adequado para decisões onde a percepção de risco e a subjetividade são fatores relevantes (RAJ et al. 2024).

2.5.11 ARAS - Avaliação de Razão Aditiva

Projetado para selecionar, classificar alternativas considerando múltiplos critérios, utilizando uma abordagem de avaliação de razão aditiva, o ARAS é uma técnica de decisão multicritério que avalia alternativas com base na função de utilidade aditiva.

As alternativas são normalizadas para permitir comparações diretas entre critérios com diferentes unidades de medida. Calcula-se uma função de utilidade aditiva para cada alternativa, somando os valores normalizados ponderados dos critérios.

A avaliação é feita com base na razão entre a utilidade de cada alternativa e a soma das utilidades de todas as alternativas. As alternativas são classificadas com base em suas razões de utilidade, permitindo identificar a melhor opção (RAJ et al. 2024).

Devido a crescente complexidade da logística de entrega final nas negociações realizadas pelo *e-commerce*, Raj et al. (2024), aplicaram o TODIM e ARAS e identificaram os obstáculos e critérios de risco associados.

A falta de visibilidade, os níveis de baixa eficiência e os elementos imprevisíveis são classificados como os principais obstáculos de risco, enquanto as informações em tempo real sobre a localização de uma mercadoria e o sistema de rastreamento da viagem de última milha são considerados as mais significativas práticas da logística moderna.

3 METODOLOGIA

O presente estudo teve como referência uma empresa de médio porte, contendo 5 unidades nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná e Santa Catarina, que atua no setor de transporte rodoviário de cargas fracionadas. Esse tipo de transporte de cargas envolve a movimentação de mercadorias de diferentes remetentes em um mesmo veículo servindo de transferência entre as unidades. Utiliza-se a técnica de consolidação da carga, otimizando a utilização do espaço, transferindo um montante maior de cargas num mesmo veículo, reduzindo custos de frete. No destino a carga é desconsolidada carregada em veículos menores conforme rotas e entregues ao destinatário final.

Os procedimentos metodológicos para a elaboração do estudo foram divididos em 5 etapas:

Etapa 1: Pré identificação

- Identificar a melhor rota na operação da empresa de transporte rodoviário de carga fracionada cuja a prioridade final contemple o critério custo, subcritérios combustível, pedágios e manutenção; critério tempo de entrega, subcritérios distância e condições da via; critério segurança, subcritérios risco de roubo e condições climáticas; critério emissão de poluentes, subcritérios emissão de CO_2 e consumo de combustível.
- Definir os especialistas entre os setores da empresa que responderão os questionários;

Etapa 2: Método de decisão e questionários

- Selecionar o AHP;
- Formular o modelo de decisão – "Árvore Hierárquica";
- Elaborar os questionários para aplicação;

Etapa 3: Execução da pesquisa

- Aplicar os questionários com os especialistas da empresa;
- Retirar as médias geométricas das respostas coletadas nos questionários;
- Utilizar o Excel para tabulação dos dados coletados;

Etapa 4: Verificação dos dados

- Verificar a consistência das respostas encontradas para os questionários, não podendo ultrapassar 10% de tolerância.

Etapa 5: Análise dos dados

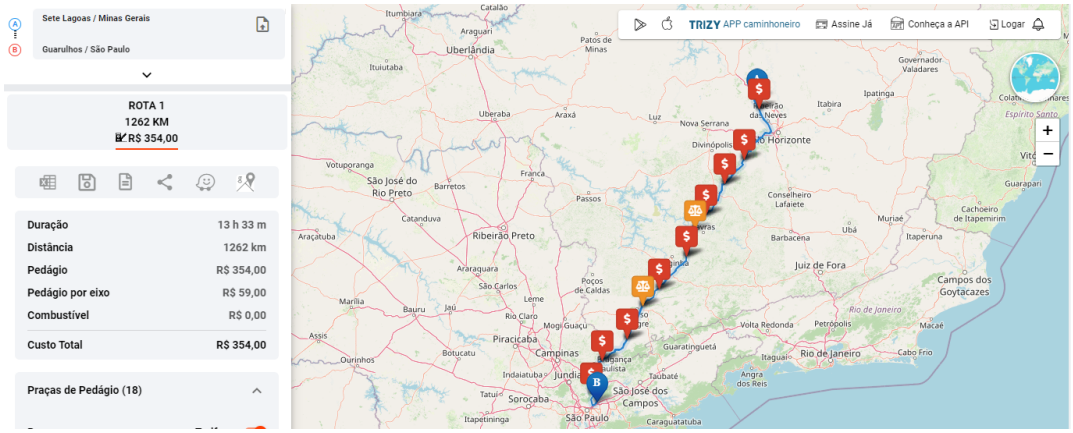
- Comparar os dados encontrados com os existentes nas publicações, para que se execute as justificativas pertinentes ao modelo criado;

3.1 Pré identificação

O objetivo do estudo de caso foi aplicar o AHP a partir das opiniões dos decisores especialistas, simular 2 cenários, com pesos pré definidos para selecionar a melhor rota na operação da empresa de transporte rodoviário de carga fracionada, avaliando os 4 critérios e os 9 subcritérios entre as alternativas. Os critérios/subcritérios foram: custo/combustível, pedágio e manutenção; tempo de entrega/distância e condições da via; segurança/risco de roubo e condições climáticas; emissão de poluentes/emissões de CO_2 e consumo de combustível. As rotas avaliadas na pesquisa foram: rota A: Sete Lagoas/MG → Guarulhos/SP; rota B: Contagem/MG → Rio de Janeiro; rota C: Rota C - Guarulhos/SP → Rio de Janeiro/SP.

A rota A - Sete Lagoas/MG -> Guarulhos/SP tem 1.262 km de distância ida e volta a serem percorridos, 18 praças de pedágios e o tempo previsto de viagem são 13h e 33 min.

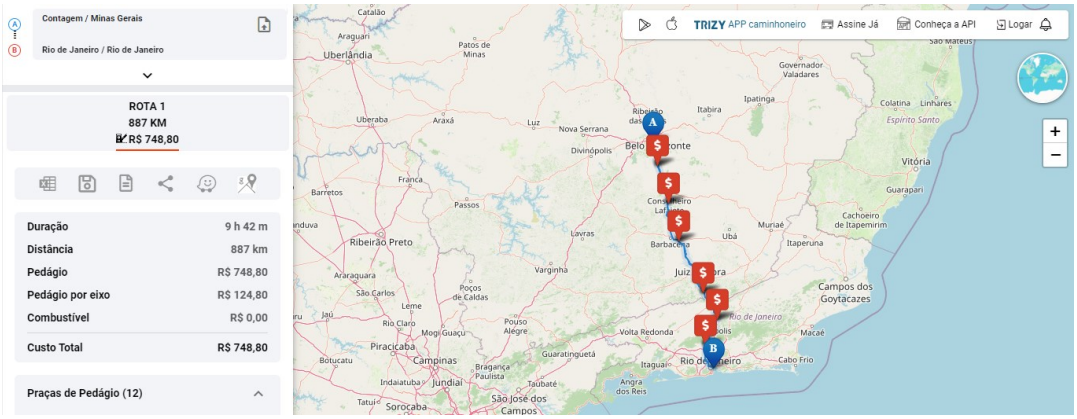
Figura 1 – Rota A - Sete Lagoas/MG → Guarulhos/SP



Fonte: www.qualp.com.br

A rota Contagem/MG à Rio de Janeiro/RJ tem 887 km de distância ida e volta a serem percorridos, 12 praças de pedágios, o tempo previsto de viagem são 9h e 42 min.

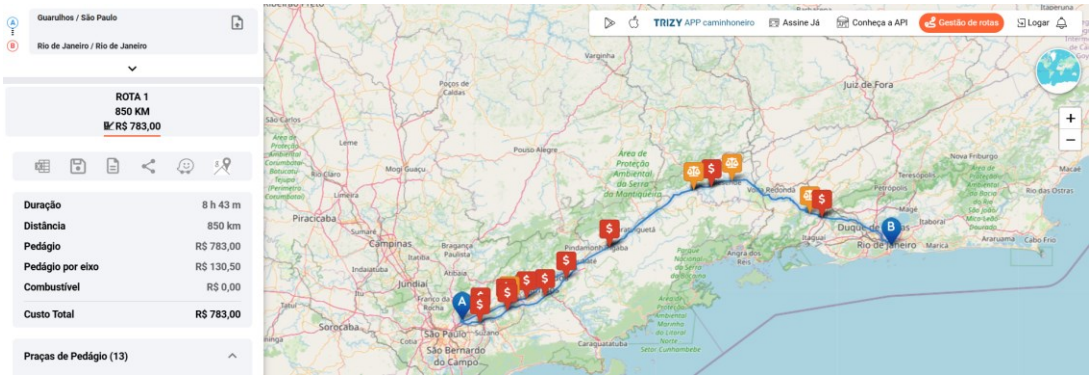
Figura 2 - Rota B - Contagem/MG → Rio de Janeiro/RJ.



Fonte: www.qualp.com.br

A rota Guarulhos/SP à Rio de Janeiro/RJ tem 850 km de distância ida e volta a serem percorridos, 13 praças de pedágios, o tempo previsto de viagem são 8h e 43 min.

Figura 3 - Rota C – São Paulo/SP → Rio de Janeiro/RJ



Fonte: www.qualp.com.br

Os funcionários da empresa que exercem cargos de liderança e estão diretamente ligados a operação de transporte rodoviário de cargas nos setores financeiro, sac, comercial, operacional e logística, foram os escolhidos a participarem da pesquisa.

3.2 Métodos de decisão e questionários

Optou-se, nesta pesquisa, pelo AHP por considerar a experiência, intuição e a subjetividade dos tomadores de decisões nos momentos de escolhas, bem como, proporcionar os julgamentos em grupo (SAATY, 2005). A escolha do AHP ocorreu através da consulta e triagem das publicações nas bases de dados Scopus e Google Acadêmico.

Após a escolha das variáveis elaborou-se a árvore de decisão, uma das premissas do AHP e os questionários com perguntas abertas sobre a identificação do indivíduo e da empresa que atua, experiências no setor, aspectos sobre a intuição e subjetividade na tomada de decisão.

Além disso, utilizaram-se perguntas fechadas relacionadas à comparação par a par de cada variável em relação ao peso que o indivíduo escolheria de acordo com a opinião do mesmo na área de atuação.

Tabela 5 - Questionário para julgamento do decisor em relação aos critérios

Custo	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tempo de entrega
Custo	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Segurança
Custo	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Emissão de poluentes
Tempo de entrega	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Segurança
Tempo de entrega	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Emissão de poluentes
Segurança	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Emissão de poluentes

Fonte: Adaptado de Ramos et al. (2020)

A aplicação do AHP, iniciou-se pelo julgamento do grupo de decisores através do questionário das preferências do objetivo do problema em relação aos critérios. Considerando o objetivo do problema, qual é o critério mais importante para selecionar a melhor rota: custo x tempo de entrega? custo x segurança? custo x emissão de poluentes? tempo de entrega x segurança? tempo de entrega x emissão de poluentes? segurança x emissão de poluentes?

3.3 Execução da pesquisa

Este estudo trata-se de uma decisão em grupo formado por indivíduos com interesses distintos dentro do sistema logístico, neste aspecto, a coleta de dados foi realizada de forma individual e posteriormente, utilizaram-se as médias geométricas para a convergência dos dados.

Neste sentido, quando se decide utilizar o AHP para a tomada de decisão em grupo com divergências de opiniões, recomenda-se primeiramente a coleta dos pesos individuais e em seguida, calculam-se as médias geométricas como se fosse um único valor (Saaty, 2005).

Após o cálculo da média geométrica das respostas dos entrevistados, foi utilizado o *Excel* para o cálculo dos pesos médios a partir dos pesos individuais de cada respondente. Assim foi possível a tomada de decisão em grupo com divergências de opiniões e interesses próprios inseridos na cadeia logística.

O estudo foi realizado no primeiro semestre de 2024 utilizando questionários que consistem em perguntas para os especialistas referente à comparação par a par dos critérios: custos, tempo de entrega, segurança, emissão de poluentes; subcritérios: combustível, pedágio, manutenção, distância, condições da via, risco de roubo e condições climáticas, emissão de CO_2, consumo de combustível e alternativas: rota A: Sete Lagoas/MG → SP; rota B: Contagem/MG → Rio de Janeiro/RJ; rota C: São Paulo/SP → Rio de Janeiro/RJ com o objetivo de identificar a melhor rota.

Tabela 6 – Matriz de comparação dos critérios

Critério	Custo	Tempo de entrega	Segurança	Emissão de poluentes
Custo	1	3	5	7
Tempo de Entrega	1/3	1	3	5
Segurança	1/5	1/3	1	3
Emissão de poluentes	1/7	1/5	1/3	1
	1,676	4,533	9,333	16,000

Fonte: Adaptado de Ramos et al. (2020)

Conforme julgamento do grupo de decisores o custo é levemente mais importante em relação ao tempo de entrega, valor atribuído 3, o custo é mais importante em relação a segurança, valor atribuído 5 e o custo é muito importante em relação a emissão de poluentes,

valor atribuído 7. O tempo de entrega é levemente mais importante em relação a segurança, valor atribuído 3, o tempo de entrega é mais importante em relação a emissão de poluentes, valor atribuído 5 e a segurança é levemente mais importante em relação a emissão de poluentes, valor atribuído 3.

A reciprocidade será o inverso de cada valor atribuído aos critérios na matriz de comparação. Exemplo, se o custo é levemente mais importante em relação ao tempo de entrega (valor atribuído 3), o tempo de entrega será 1/3 menos importante em relação ao custo. Assim a reciprocidade é calculada para todos os critérios da matriz de comparação.

Os pesos de importância relativa de cada critério são obtidos normalizando a matriz comparativa. Para normalizar a matriz comparativa divide-se cada elemento pela soma da coluna correspondente. A tabela 7 apresenta os dados de peso relativo entre os critérios.

Tabela 7 – Matriz comparativa (normalizada) dos critérios

Critério	Custo	Tempo de entrega	Segurança	Emissão de poluentes
Custo	0,558	0,790	0,609	0,398
Tempo de Entrega	0,186	0,263	0,366	0,284
Segurança	0,112	0,088	0,122	0,171
Emissão de poluentes	0,080	0,053	0,041	0,057

Fonte: Adaptado de Ramos et al. (2020)

A determinação da contribuição de cada critério na meta global de priorização dos multicritérios foi calculada a partir do vetor de prioridade ou vetor de Eigen. O valor do vetor de Eigen representa a participação do critério no resultado total da meta e é obtido através da média aritmética dos valores de cada um dos critérios pela quantidade de critérios.

Tabela 8 – Cálculo do vetor de Eigen dos critérios

Selecionar a rota mais eficiente	Vetor de Eigen (prioridade)	Vetor de Eigen (prioridade)
Custo	0,558	55,80%
Tempo de entrega	0,263	26,30%
Segurança	0,122	12,20%
Emissão de poluentes	0,057	5,70%

Fonte: Adaptado de Ramos et al. (2020)

3.3.1 Cálculo das prioridades dos subcritérios

As prioridades dos subcritérios são obtidas da mesma forma que as dos critérios, ou seja, é feito o julgamento dos especialistas através das notas nos questionários, normaliza-se os elementos par a par, determina-se os pesos e obtêm as prioridades.

Os pesos relativos a cada subcritério são obtidos normalizando-se a matriz comparativa par a par, através da divisão entre cada elemento pela soma da coluna correspondente.

As prioridades são os pesos relativos entre os subcritérios e são obtidos através da média aritmética dos valores de cada um dos subcritérios.

Tabela 9 – Comparação dos subcritérios: combustível, pedágios e manutenção

Subcritérios	Combustível	Pedágio	Manutenção	Prioridades
Combustível	1	3	2	0,525
Pedágio	1/3	1	1/3	0,141
Manutenção	1/2	3	1	0,334
			CR	0,044

Fonte: Adaptado de Ramos (2020)

Conforme julgamento do grupo de decisores os subcritérios combustível, pedágio e manutenção dentro do grupo de custos tiveram a seguinte pontuação para cálculo da prioridade: o combustível é levemente mais importante em relação ao pedágio, valor atribuído 3, é um pouco mais importante em relação a manutenção, valor atribuído 2. O pedágio é levemente mais importante do que a manutenção, valor atribuído 3. A manutenção é levemente mais importante do que o pedágio. O índice de inconsistência calculado foi 0,044 e as prioridades da comparação par a par foram combustível como o primeiro com 0,525 ou 52,5%, em segundo a manutenção com 0,334 ou 33,4% e o pedágio ficando em terceiro com 0,141 ou 14,1% da prioridade dentro do critério custo.

Tabela 10 – Comparação dos subcritérios: distância e condições da via

Subcritérios	Distância	Cond. da via	Prioridades
Distância	1	3	0,750
Condições da via	1/3	1	0,249
		CR	0,000

Fonte: Adaptado de Ramos (2020)

Na comparação das notas atribuídas pelos especialistas aos subcritérios, distância e condições da via, a distância é levemente mais importante em relação as condições da via. Não há inconsistência uma vez que são apenas 2 elementos e o CR – índice de inconsistência é 0,000. A distância então ficou com a prioridade de 0,750 ou 75% de preferência e as condições da via 0,250 ou 25% dentro do critério tempo de entrega.

Tabela 11 – Comparação dos subcritérios: risco de roubo e condições climáticas

Subcritérios	Risco de roubo	Condições climáticas	Prioridades
Risco de roubo	1	3	0,750
Condições climáticas	1/3	1	0,249
		CR	0,000

Fonte: Adaptado de Ramos (2020)

Já, na comparação das notas atribuídas pelos especialistas aos subcritérios, distância e condições da via, a distância é levemente mais importante em relação as condições da via. Não há inconsistência uma vez que são apenas 2 elementos e o CR – índice de inconsistência é 0,000. A distância então ficou com a prioridade de 0,750 ou 75% de preferência e as condições da via 0,250 ou 25% dentro do critério tempo de entrega.

Tabela 12 – Comparação dos subcritérios: Emissão de CO_2 e consumo de combustível

Subcritérios	Emissão de CO_2	Consumo de combustível	Prioridades
Emissões de CO_2	1	5	0,833
Consumo de combustível	1/5	1	0,166
		CR	0,000

Fonte: Adaptado de Ramos (2020)

Na comparação das notas atribuídas pelos especialistas aos subcritérios, emissão de CO_2, consumo de combustível, a emissão de CO_2 é mais importante em relação ao consumo de combustível. Também, não há inconsistência uma vez que são apenas 2 elementos e o CR – índice de inconsistência é igual a 0,000. A emissão de CO_2 então ficou com a prioridade de 0,833 ou 83,3% de preferência e o consumo de combustível 0,166 ou 16,6% dentro do critério emissão de poluentes.

3.4 Verificação dos dados

Realizada as ponderações, foi calculada a razão de consistência das respostas gerais, ou seja, verificou se as respostas estavam dentro do limite de 10% que é recomendado para o AHP. Os dados mantiveram uma inconsistência abaixo de 0,10 não sendo necessário uma adequação das informações inseridas no modelo de decisão. A consistência dos dados serve para verificar se os tomadores de decisão foram consistentes nas suas opiniões (KARDI, 2006).

O índice de consistência teve como base o número principal de Eigen e foi calculado através do somatório do produto de cada elemento do vetor de Eigen pelo total da respectiva coluna da matriz comparativa original. Saaty (2005), propôs o que foi chamado de taxa de inconsistência (CR). Ela é determinada pela razão entre o valor do índice de consistência (CI) e o índice de consistência aleatório (RI) dado pela equação CR = CI/RI. A matriz será considerada consistente se a razão for menor que 10%.

3.5 Análise de dados

Para a análise dos dados comparou-se as variáveis operacionais obtidas por meio da pesquisa com a revisão bibliográfica para averiguar se as respostas obtidas estavam de acordo com o encontrado nas publicações.

Tabela 13 – Prioridades dos critérios

Melhor rota	Custo	Tempo de Entrega	Segurança	Emissão de poluentes	Prioridades
Custo	1	3	5	7	0,558
Tempo de Entrega	1/3	1	3	5	0,263
Segurança	1/5	1/3	1	3	0,122
Emissão de poluentes	1/7	1/5	1/3	1	0,057
				C.R.	0,044

Fonte: Saaty, 2005

Da mesma forma, determinou-se os pesos aleatórios de importância relativa (tabela 3 – Escala fundamental de Saaty (1991), calculou-se a matriz comparativa (normalizada) e o vetor de Eigen (prioridades) para todas as alternativas. Para se chegar as prioridades finais foi necessário calcular as prioridades locais de cada critério pelas alternativas.

A tabela 14 apresenta as prioridades do critério custo x rotas sendo, Rota A = Sete Lagoas/MG → Guarulhos/SP 0,724 ou 72,4% da meta local, representando que na rota A = Sete Lagoas/MG → Guarulhos/SP, o custo é mais importante em relação a rota B = Contagem/MG → Rio de Janeiro/RJ e muito importante em relação a rota C = Guarulhos/SP → Rio de Janeiro/RJ. A rota B = Contagem/MG → Rio de Janeiro/RJ é levemente mais importante em relação a rota C = Guarulhos/SP → Rio de Janeiro 0,193 ou 19,3% da meta local e a rota C = Guarulhos/SP → Rio de Janeiro 0,083 ou 8,3% o custo tem a menor importância em relação as demais rotas. A taxa de inconsistência (CR) resultou em 0,057 ou 5,7% confirmando o valor menor do que 10%, sendo assim consistente.

Tabela 14 – Matriz de comparação do critério: Custo x Rota

Custo	Rota A	Rota B	Rota C	Prioridades
Rota A	1	5	7	0,724
Rota B	1/5	1	3	0,193
Rota C	1/7	1/3	1	0,083
			C.R.	0,057

Fonte: Saaty, 2005

A tabela 15 apresenta as prioridades do critério tempo de entrega x rotas sendo, Rota A = 0,074 ou 7,4% da meta local; Rota B = 0,643 ou 6,4% da meta local; Rota C = 0,283 ou 2,8% da meta local.

Tabela 15 – Matriz de comparação do critério: Tempo de Entrega x Rota

Tempo de Entrega	Rota A	Rota B	Rota C	Prioridades
Rota A	1	1/7	1/5	0,074
Rota B	7	1	3	0,643
Rota C	5	1/3	1	0,283
			C.R.	0,056

Fonte: Saaty, 2005

A taxa de inconsistência (CR) resultou em 0,056 ou 5,6% confirmando o valor menor do que 10%, sendo assim consistente. A tabela 16 apresenta as prioridades do critério segurança x rotas sendo, Rota A = 0,669 ou 6,7% da meta local; Rota B = 0,243 ou 2,4% da meta local; Rota C = 0,088 ou 8,8% da meta local.

Tabela 16 – Matriz de comparação do critério: Segurança x Rota

Segurança	Rota A	Rota B	Rota C	Prioridades
Rota A	1	3	7	0,669
Rota B	1/3	1	3	0,243
Rota C	1/7	1/3	1	0,088
			C.R.	0,006

Fonte: Saaty, 2005

A taxa de inconsistência (CR) resultou em 0,006 ou 0,6% confirmando o valor menor do que 10%, sendo assim consistente.

A tabela 24 apresenta as prioridades do critério segurança x rotas sendo, Rota A = 0,633 ou 6,3% da meta local; Rota B = 0,260 ou 2,6% da meta local; Rota C = 0,106 ou 10,6% da meta local.

Tabela 17 – Matriz de comparação do critério: Emissão de poluentes x Rota

Melhor rota	Rota A	Rota B	Rota C	Prioridades
Rota A	1	3	5	0,633
Rota B	1/3	1	3	0,260
Rota C	1/5	1/3	1	0,106
			C.R.	0,033

Fonte: Saaty, 2005

A taxa de inconsistência (CR) resultou em 0,033 ou 3,3% confirmando o valor menor do que 10%, sendo assim consistente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Seleção do AHP

Do total de 259 publicações selecionadas através da base de dados Scopus e exportadas em formato texto para a ferramenta Rayyan, 200 publicações foram excluídas por não estarem dentro dos critérios de validade e não estarem relacionadas a problemas logísticos ocorridos nas entregas finais de produtos adquiridos através do *e-commerce*. Portanto, as 59 publicações restantes foram incluídas e consideradas válidas por atenderem aos critérios de validade.

Inicialmente, em 2014, observou-se um ponto de partida modesto com apenas uma publicação. Isso sugeriu que, embora os temas entrega final, centros de distribuição e plataformas digitais já estivessem presentes, a atenção acadêmica e industrial era limitada.

Gráfico 1

Fonte: Autor, 2024

O gráfico 1 - Publicações por Ano, mostra uma tendência crescente de interesse e pesquisa nos assuntos entrega final, centros de distribuição e plataformas digitais ao longo do período de 2014 a 2024.

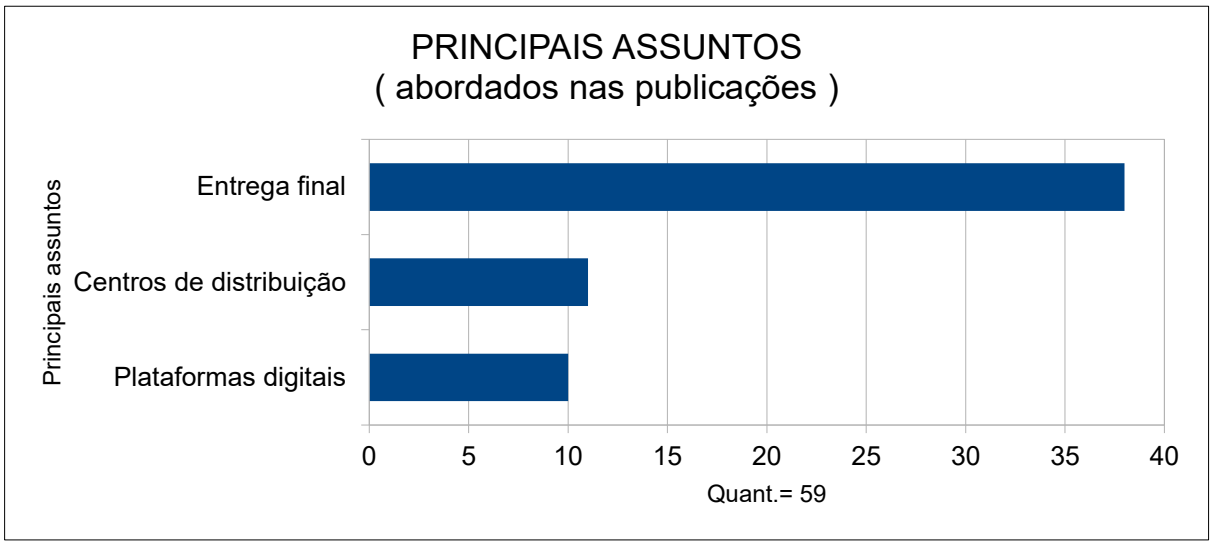
A trajetória de publicações entre 2014 e 2024 reflete uma crescente consciência e interesse nos desafios e oportunidades associadas à entrega final, centros de distribuição e

plataformas digitais. Entre 2015 e 2019, houve um crescimento lento e gradual, com um pequeno pico em 2019, alcançando três publicações.

Esse aumento pode ser atribuído ao crescimento contínuo do *e-commerce* globalmente e ao reconhecimento crescente dos desafios associados a entrega final, necessidade de soluções inovadoras de armazenamento como centros de distribuição e importância das plataformas digitais na otimização desses processos.

Com um número ligeiramente superior de publicações em comparação com a entrega final, os centros de distribuição parecem atrair um interesse considerável, possivelmente devido à sua capacidade de resolver problemas específicos de entrega, como a redução de entregas falhadas e a oferta de uma opção de coleta conveniente para os consumidores.

Gráfico 2



Fonte: Autor, 2024

O interesse nessa tecnologia pode refletir um foco na melhoria da logística urbana e na redução dos custos operacionais. Além disso, os centros de distribuição representam uma solução tangível e inovadora para desafios logísticos, o que pode explicar o interesse nessa área.

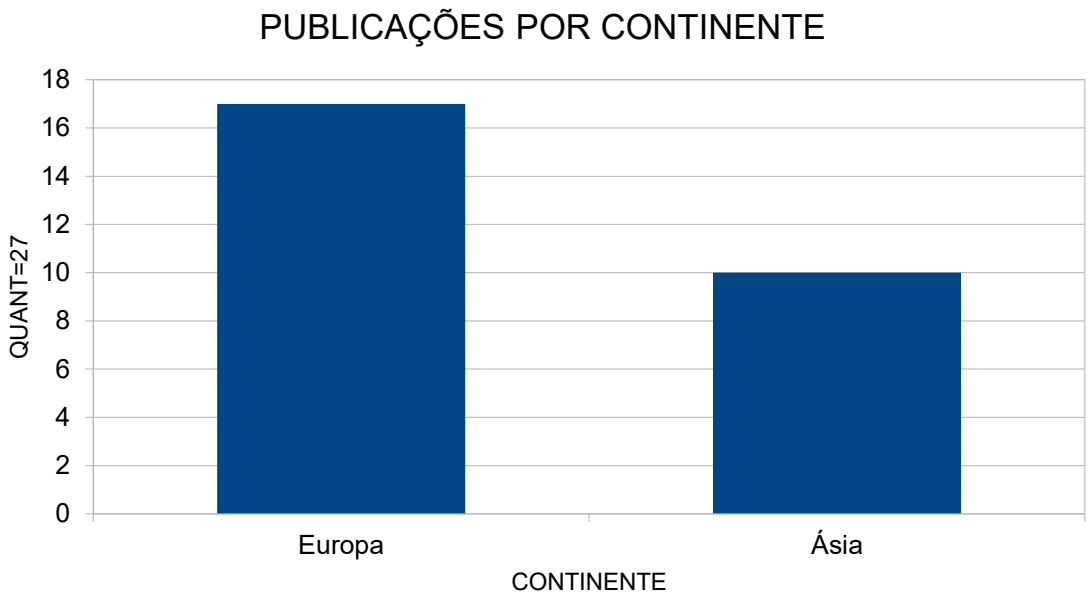
A quantidade significativamente maior de publicações sobre plataformas digitais destaca o papel central que a tecnologia desempenha na transformação do *e-commerce* e da logística. Esse interesse pode ser atribuído à capacidade das plataformas digitais de integrar diversas funções logísticas, desde a gestão de estoque até a entrega final e o serviço ao cliente, oferecendo soluções abrangentes que abordam múltiplos desafios simultaneamente.

A proliferação de publicações nesse tema sugere uma área de intensa inovação, com pesquisa focada em otimização, inteligência artificial, análise de dados e a criação de ecossistemas logísticos integrados.

A distribuição do número de publicações reflete a importância crescente das soluções tecnológicas integradas na logística e no *e-commerce*. Enquanto a entrega final e os centros de distribuição são componentes críticos dessa cadeia, a ênfase nas plataformas digitais sugere um movimento em direção à digitalização e integração sistêmica como chaves para resolver os desafios logísticos contemporâneos.

A tendência de pesquisa e desenvolvimento focada na criação de soluções abrangentes que não apenas abordam gargalos logísticos específicos, mas que também otimizam a cadeia de suprimentos como um todo. A ênfase nas plataformas digitais pode ser vista como um reconhecimento da necessidade de adaptabilidade, estabilidade e eficiência em um mercado de *e-commerce* em rápida evolução e cada vez mais competitivo.

Gráfico 3



Fonte: Autor, 2024

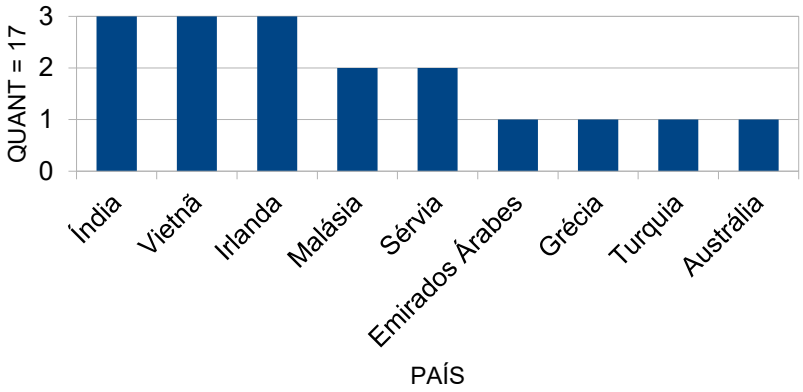
A distribuição de publicações no gráfico por país/continente sobre os temas de entrega final, centros de distribuição e plataformas digitais revela um panorama interessante de pesquisa global e das prioridades regionais nesses setores. A Índia, Vietnã e Irlanda lideram com 3 publicações cada, seguidos pela Malásia e Sérvia com 2 publicações, e Emirados Árabes, Grécia, Turquia e Austrália com 1 publicação cada.

Esta distribuição sugere várias dinâmicas sobre a inovação e o interesse em logística e tecnologia digital globalmente. A presença significativa de países asiáticos, Índia, Vietnã e Malásia com um total de 8 publicações destaca a Ásia como um continente de foco intenso em inovação logística e digital.

A ìndia e o Vietnã, em particular, refletem um ecossistema vibrante de startups tecnológicas e um rápido crescimento do *e-commerce*, impulsionando a demanda por soluções avançadas em entrega final e plataformas digitais. A Malásia, contribuindo com 2 publicações, também indica um interesse robusto em otimizar a logística e a cadeia de suprimentos, possivelmente influenciado por sua posição estratégica na ASEAN – Associação das Nações do Sudeste Asiático, e seu papel como um hub logístico emergente.

A Europa mostra uma distribuição diversificada com Irlanda, Sérvia e Grécia contribuindo com publicações. A Irlanda, com sua forte economia baseada em tecnologia e presença de empresas multinacionais, especialmente em tecnologia e farmacêutica, pode estar explorando inovações em logística e plataformas digitais para melhorar suas cadeias de suprimentos e eficiência operacional. Sérvia e Grécia, embora menores em contribuições, refletem o interesse crescente da Europa Oriental e do Sul em tecnologias avançadas para melhorar suas infraestruturas logísticas e competitividade econômica.

Gráfico 4 - PUBLICAÇÕES POR PAÍS



Fonte: Autor, 2024

Os Emirados Árabes Unidos, com uma publicação, destacam-se como um centro de inovação no Oriente Médio, buscando diversificar sua economia além do petróleo e do gás, com investimentos significativos em tecnologia e logística. A Austrália, representando a Oceania com uma publicação, indica um interesse em enfrentar os desafios logísticos únicos

impostos por sua vasta geografia e população dispersa, possivelmente focando em soluções de entrega final e plataformas digitais para conectar áreas urbanas e rurais.

A Ásia continua a ser líder em inovação logística e digital, impulsionada pelo rápido crescimento do *e-commerce* e pela necessidade de soluções eficientes de entrega e armazenamento. A Europa mostra uma dispersão equilibrada de interesse, refletindo sua diversidade econômica e a busca por soluções adaptadas às suas necessidades logísticas únicas.

Tanto no Oriente Médio quanto na Oceania, os esforços estão concentrados em superar desafios geográficos e econômicos específicos por meio de inovações tecnológicas. Esta análise destaca a natureza globalmente diversificada da pesquisa e do desenvolvimento em logística e tecnologia digital, com cada região trazendo suas perspectivas únicas e desafios específicos para o campo. A colaboração internacional e o compartilhamento de conhecimento entre essas regiões poderiam potencialmente acelerar inovações em entrega final, centros de distribuição e plataformas digitais, abordando tanto desafios locais quanto globais.

O AHP foi o mais utilizado ao longo dos anos, indicando sua popularidade e aplicabilidade contínua em pesquisas relacionadas à logística e tomada de decisão. A presença de métodos combinados, como AHP-GIS, AHP-TOPSIS, AHP-VIKOR e AHP-WASPAS, sugeriram uma tendência de integração de múltiplas técnicas para abordar problemas complexos de maneira mais holística e precisa.

O período inicial (2014-2017) mostrou uma variedade limitada de métodos, com uma predominância do AHP. Isso pode indicar um foco em estruturas de decisão hierárquica e a necessidade de avaliar alternativas baseadas em múltiplos critérios.

Entre 2018-2021 observou-se uma diversificação significativa dos métodos utilizados, com a introdução de novas combinações, como AHP-GIS e AHP-TOPSIS, e a adoção de métodos não vistos nos anos anteriores, como DEMATEL-VIKOR e CRITIC-TOPSIS. Isso refletiu uma evolução na complexidade dos problemas abordados e um interesse em explorar novas abordagens analíticas.

A partir de 2022 até 2024 percebeu-se a introdução de métodos ainda mais diversificados e específicos, como CROWDSHIPPING, WEBDELPHI, e métodos que combinaram BWM com CRITIC e WASPAS, indicando uma contínua inovação e adaptação das técnicas de análise e tomada de decisão.

A presença de métodos focados em aspectos particulares, como SUGENO-WEBER e TODIM-ARAS, sugeriram uma busca por soluções personalizadas e altamente especializadas para desafios únicos no campo.

Tabela 18 - Métodos Multicritérios por Ano de Publicação

	ANO										
ASSUNTO	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**
AHP			1	1	1		1	1	1	1	1
AHP – GIS							1				
AHP – TOPSIS						1	1	1	1	1	
AHP – VIKOR								1			
AHP – WASPAS								1			
BWM – CRITIC – WASPAS									1		
BWM – WASPAS										1	
CRITIC – TOPSIS								1			
CROWDSHIPPING										1	
DELPHI										1	
DELPHI – COBRA										1	
DELPHI – FARE – VIKOR								1			
DEMATEL – TOPSIS									1		
DEMATEL – VIKOR						1					
DH – ROF										1	
DHF – CEBOM – SDNMARCOS									1		
DTOE – DOI										1	
FLMD										1	
LML										1	
MCDA – FLDM										1	
MCDA – LIKERT								1			
MCDM										1	
PROMETHEE								1			
SUGENO – WEBER											1
TODIM – ARAS											1
TOPSIS							1				
TOPSIS – CRITIC								1			
UTASTAR									1		
	0	**0**	**1**	**1**	**1**	**2**	4	**8**	**6**	**12**	**3**

Fonte: Autor, 2024

A evolução dos métodos ao longo dos anos, refletiram uma adaptação as mudanças nas demandas de pesquisa e a busca por maior precisão e eficácia na análise de decisões complexas. A inovação metodológica é clara, com pesquisadores buscando combinar diferentes técnicas para aproveitar suas forças complementares. O futuro desses setores provavelmente terá uma maior integração entre tecnologia, infraestrutura e experiência do consumidor, com sustentabilidade e eficiência como temas centrais.

Entre 2014-2019, a Europa já enfrentava desafios relacionados a sustentabilidade e eficiência nas entregas finais e a adoção de veículos elétricos, bicicletas para entregas em áreas urbanas estava em crescimento, visando reduzir a pegada de carbono. A inovação tecnológica começava a ser aplicada para otimizar rotas e melhorar a eficiência. Na Ásia, a região estava em plena expansão do *e-commerce*, liderada por gigantes como Alibaba e JD.com. A inovação em logística já era notável, com investimentos em drones e veículos autônomos para entregas, além da forte integração de plataformas digitais.

As plataformas digitais na Europa, começavam a desempenhar um papel importante na otimização da cadeia de suprimentos, com foco na integração de fornecedores, transportadoras e consumidores. E na Ásia, a inovação em plataformas digitais era liderada por gigantes tecnológicos, com ecossistemas de *e-commerce* altamente eficientes já estabelecidos.

Entre 2020-2021 em ambas as regiões, a pandemia acelerou drasticamente a adoção do *e-commerce*, aumentando a demanda por entregas finais. A necessidade de entregas sem contato impulsionou a inovação e a adoção de soluções tecnológicas. A demanda por centros de distribuição aumentou significativamente como uma solução segura para evitar o contato direto, com expansão rápida desses serviços. As plataformas digitais tiveram um aumento significativo na utilização, tanto para compras quanto para integração de serviços de entrega, com muitas empresas adaptando rapidamente ao ambiente digital para sobreviver.

Entre 2022-2024, na Europa a sustentabilidade continuou sendo uma prioridade, com foco renovado em soluções de entregas ecológicas e na otimização de rotas através de tecnologias avançadas. Na Ásia a região continuou a liderar em inovação, com a implementação de tecnologias emergentes para atender à crescente demanda do *e-commerce*. Os centros de distribuição, em ambas as regiões, se consolidaram como uma solução logística chave, com inovações que incluíram maior integração tecnológica e serviços adicionais.

E as plataformas digitais na Europa, em relação à integração digital e a conformidade com regulamentações de proteção de dados se tornaram ainda mais críticas. Na Ásia, as plataformas digitais expandiram suas funcionalidades, ofereceram soluções logísticas integradas e melhoraram a experiência do usuário.

O período de 2014 a 2024 testemunhou transformações significativas nas áreas de entrega final, centros de distribuição e plataformas digitais, enquanto a Europa focou em sustentabilidade e eficiência, adaptando-se rapidamente às mudanças no comportamento do consumidor e regulamentações, a Ásia liderou em inovação e adaptação tecnológica, capitalizando sobre o crescimento explosivo do *e-commerce*.

4.2 Aplicação do AHP

O estudo buscou selecionar a melhor rota cuja a pontuação final fosse a maior, avaliando os critérios/subcritérios: custo/combustível, pedágio, manutenção; tempo de entrega/distância, condições da via; segurança/risco de roubo, condições climáticas; emissão de poluentes/emissão de CO_2 e consumo de combustível nas rotas: rota A – Sete Lagoas/MG → Guarulhos/SP, rota B – Contagem/MG → Rio de Janeiro/RJ e rota C – Guarulhos/SP – Rio de Janeiro/RJ.

4.2.1 Cálculo das prioridades finais dos critérios

O AHP converte opiniões em valores (qualitativo em quantitativo), ou seja, através dos pesos de importância relativa atribuído aos critérios, faz a comparação da matriz par a par, chega-se ao número principal do vetor de prioridade Eigen, avalia se o percentual de inconsistência está dentro dos padrões (< 10%) e obtém a priorização dos critérios (hierarquização). Esse processo funciona como simulação onde várias rodadas podem ser efetuadas para se chegar ao resultado esperado. Após cálculo das prioridades locais através da comparação das matrizes e cálculo do índice de inconsistência dos critérios x rotas, multiplicou-se as prioridades das alternativas pelo peso dos critérios obtendo as prioridades finais.

Tabela 19 – Matriz comparativa das prioridades finais dos critérios

Melhor rota	Custo	Tempo de Entrega	Segurança	Emissão de poluentes	Prioridades
Pesos dos critérios	0,558	0,263	0,122	0,057	
Rota A: Sete Lagoas/MG → Guarulhos/SP	0,724	0,074	0,669	0,633	0,541
Rota B: Contagem/MG → Rio de Janeiro/RJ	0,193	0,643	0,243	0,260	0,322
Rota C: Guarulhos/SP → Rio de Janeiro/RJ	0,083	0,283	0,088	0,106	0,138

Fonte: Saaty, 2005

As prioridades finais de acordo com o julgamento e opinião dos especialistas, nesse caso, foram que a Rota A = Sete Lagoas/MG → São Paulo/SP, prioridade 0,541 ou 54,1% é a melhor rota em comparação a Rota B = Contagem/MG → Rio de Janeiro/RJ, prioridade 0,322 ou 32,2% e em comparação com a Rota C = Guarulhos/SP → Rio de Janeiro/RJ, prioridade 0,138 ou 13,8%.

4.2.2 Análise sensibilidade

A simulação em cada rodada se faz através da alteração dos pesos, confirmando assim a importância maior ou menor do critério e definindo o novo cenário.

4.2.2.1 Cenário 1 – pesos iguais

No cenário 1, a classificação final não se alterou em relação aos julgamentos e priorização dos especialistas, ficando ainda a Rota A = Sete Lagoas/MG → São Paulo/SP com prioridade final de 0,525 ou 52,5%, ou seja, a melhor rota com maior pontuação.

Tabela 20 – Pesos dos critérios com valores iguais

Melhor rota	Custo	Tempo de Entrega	Segurança	Emissão de poluentes	Prioridades
Pesos dos critérios	0,250	0,250	0,250	0,250	
Rota A: Sete Lagoas/MG → Guarulhos/SP	0,724	0,074	0,669	0,633	0,525
Rota B: Contagem/MG → Rio de Janeiro/RJ	0,193	0,643	0,243	0,260	0,335
Rota C: Guarulhos/SP → Rio de Janeiro/RJ	0,083	0,283	0,088	0,106	0,140

Fonte: Saaty, 2005

4.2.2.2 cenário 2 – tempo de entrega mais importante

No cenário 2, ficou definido que o tempo de entrega seria o critério mais importante sobre os demais alterando o valor para 0,500 ou 50% e os demais critérios para 0,167 ou 16,7%.

Tabela 21 – Tempo de entrega com peso maior

Melhor rota	Custo	Tempo de Entrega	Segurança	Emissão de poluentes	Prioridades
Pesos dos critérios	0,167	0,500	0,167	0,167	
Rota A: Sete Lagoas/MG → Guarulhos/SP	0,724	0,074	0,669	0,633	0,374
Rota B: Contagem/MG → Rio de Janeiro/RJ	0,193	0,643	0,243	0,260	0,438
Rota C: Guarulhos/SP → Rio de Janeiro/RJ	0,083	0,283	0,088	0,106	0,188

Fonte: Saaty, 2005

Nesse cenário o resultado passa a ser a Rota B = Contagem/MG → Rio de Janeiro/RJ 0,438 ou 43,8% passa a ser a melhor rota; Rota A = Sete Lagoas/MG → Guarulhos/SP 0,374 ou 37,4% fica em segundo lugar na preferência e a Rota C = Guarulhos/SP → Rio de Janeiro/RJ 0,188 ou 18,8% em terceiro lugar.

4.2.3 Cálculo das prioridades finais dos subcritérios

Um dos principais resultados do AHP é a capacidade de priorizar alternativas com base em múltiplos critérios. Ao decompor o problema em uma hierarquia de critérios e subcritérios, e ao realizar comparações pareadas entre esses elementos, o AHP gera um conjunto de pesos que refletem a importância relativa de cada critério e subcritério. Esses pesos são então utilizados para calcular uma pontuação global para cada alternativa, permitindo a identificação da melhor opção.

A análise hierárquica mostrou que o custo foi o critério mais importante, com combustível sendo o subcritério mais relevante dentro dele. Tempo de entrega foi o segundo critério mais importante, com distância sendo o subcritério mais relevante. Segurança e sustentabilidade são menos importantes, com risco de roubo e emissão de CO_2 sendo os subcritérios mais relevantes dentro de cada um respectivamente, segundo os especialistas.

O estudo então comprovou que segundo a opinião dos tomadores de decisão o critério custo tem o maior peso com combustível sendo o subcritério mais importante, seguido do critério tempo de entrega com a distância sendo o subcritério mais relevante. Justificou-se assim a rota A – Sete Lagoas/MG → Guarulhos/SP como sendo a melhor rota, pois, os valores atuais praticados dos combustíveis em MG e SP são menores do que os valores dos combustíveis praticados no Rio de Janeiro e ainda as distâncias das rotas A e B são maiores do que as distâncias da rota C.

Tabela 22 – Matriz comparativa das Prioridades Finais

Critérios	Subcritérios	Rota A: Sete Lagoas/MG → Guarulhos/SP	Rota B: Contagem/MG → Rio de Janeiro/RJ	Rota C: Guarulhos/SP → Rio de Janeiro/RJ
Custo (0,558)	Combustível (0,292)	0,211	0,056	0,024
	Pedágio (0,079)	0,057	0,015	0,007
	Manutenção (0,186)	0,135	0,036	0,015
Tempo de entrega (0,263)	Distância (0,197)	0,143	0,038	0,016
	Condições da via (0,065)	0,047	0,013	0,005
Segurança (0,122)	Risco de roubo (0,091)	0,066	0,018	0,008
	Condições climáticas (0,030)	0,022	0,006	0,002
Emissão de poluentes (0,057)	Emissão de CO_2 (0,047)	0,034	0,009	0,004
	Consumo de combustível (0,009)	0,007	0,002	0,001
	Prioridades finais	0,721	0,192	0,083

Fonte: Adaptado de Ramos (2020)

Após cálculo das prioridades locais através da comparação das matrizes e cálculo do índice de inconsistência dos critérios x rotas, multiplicou-se as prioridades das alternativas pelo peso dos subcritérios obtendo as prioridades finais.

O AHP permitiu identificar quais critérios são mais críticos para a decisão e ao analisar os pesos atribuídos a cada critério, os tomadores de decisão puderam compreender quais fatores têm maior impacto na escolha final. Isso foi particularmente útil em situações onde recursos são limitados e é necessário focar nos aspectos mais importantes.

4.3 Problemas logísticos

4.3.1 Entrega final ao cliente

As entregas finais referem-se ao último segmento do processo de entrega, do centro de distribuição ao destino final, e são um componente crítico para entregas e o sucesso do *e-commerce*.

A entrega final de produtos refere-se ao processo de disponibilização dos itens ao cliente após a conclusão de todas as etapas de produção e preparação. Isso inclui o transporte, a logística e a finalização de qualquer documentação necessária. O objetivo é garantir que o produto chegue ao consumidor em perfeitas condições e dentro do prazo estipulado, proporcionando uma experiência satisfatória. Essa etapa é crucial para a satisfação do cliente e para o sucesso do negócio, pois reflete a eficiência e a qualidade do serviço prestado.

As tendências sociais modernas transformaram intensamente as cadeias de abastecimento e a entrega final ao consumidor, devido a crescente procura de produtos, mudanças no consumo da população, desafios da qualidade do ar, pressão populacional e das crises econômicas. Para a realização da entrega de última milha foram definidas diversas soluções que combinaram iniciativas, tecnologias e conceitos de logística urbana.

O sucesso da implementação dessas soluções, dependerão das características das cidades, dos objetivos das partes interessadas e da capacidade de alcançar a sustentabilidade econômica, social e ambiental (KRSTIĆ et al., 2021).

A entrega final na Europa enfrentou desafios significativos relacionados à sustentabilidade e eficiência. Com cidades densamente povoadas e uma crescente preocupação com a pegada de carbono, empresas investiram em soluções ecológicas, como veículos elétricos e bicicletas para entregas. Além disso, a pandemia de COVID-19 acelerou a adoção do *e-commerce*, aumentando a pressão sobre as redes de entrega final. Tecnologias como inteligência artifical (IA) e o uso de dados foram fundamentais para otimizar rotas e melhorar a eficiência.

A Ásia apresentou um cenário diversificado, com países como China e Japão liderando inovações em entrega final. A China, em particular, viu um crescimento explosivo no *e-commerce*, impulsionado por gigantes como Alibaba e JD.com, que desenvolveram

soluções avançadas de logística. Drones, veículos autônomos e robôs de entrega foram algumas das inovações em teste.

A infraestrutura de entrega na Ásia também se beneficiou da adoção generalizada de plataformas digitais, facilitando a integração entre vendedores, transportadores e consumidores.

Para satisfazer as novas exigências dos clientes, devido ao crescente e constante aumento das negociações feitas por *e-commerce* e a necessidade de novas estratégias inovadoras na entrega final, Pourmohammadreza et al. (2023), combinaram duas fases que consideraram várias opções de entrega.

A entrega em domicílio, autocoleta e entrega em diferentes locais e preços, serviram para otimizar a seleção dos pontos de coleta e entrega mais adequados e a determinação da rota mais eficiente dos veículos. A primeira fase determinou o valor dos locais propostos através da abordagem de tomanda de decisão multicritério (MCDM) que incorporou critérios de sustentabilidade.

Na segunda fase, foi proposto um modelo matemático customizado para roteamento dos veículos com opções de serviço. Assim permitiu avaliar o potencial e as vantagens de diversas opções de entrega, ilustrando que agregar pedidos nos pontos de coleta e entrega podem reduzir os custos de entrega e minimizar o impacto ambiental.

A implementação de novas formas de mobilidade urbana foi um desafio fundamental para melhorar o desempenho dos sistemas logísticos das cidades em termos de eficiência e sustentabilidade. O emprego de bicicletas elétricas leves de carga como alternativa aos tradicionais motores de combustão interna, atualmente estão sendo vistos como uma possibilidade atraente para projetar sistemas de distribuição urbanos mais eficientes.

Tais veículos, no entanto, apresentaram limitações substanciais relacionadas com a sua resistência, velocidade, potência e tempos de recarga. Portanto, sua configuração deverá ser otimizada, considerando o contexto operacional real e as características específicas do serviço operado (AIELLO et al., 2021).

Kudláčková et al. (2017), abordaram a crescente demanda por prazos de entrega mais curtos no contexto da logística e cadeia de distribuição, impulsionados principalmente pelo avanço do *e-commerce*. Diante dessa realidade, concentrou-se na crucial escolha da localização de armazéns e centros de distribuição como estratégia para otimizar a eficiência e atender as expectativas de entrega rápida.

O diferencial do estudo residiu na aplicação de métodos multicritérios para avaliar as opções de localização, sugerindo uma abordagem inovadora que transcendeu a análise baseada em custos, e priorizou o prazo de entrega. Essa perspectiva ofereceu as empresas uma ferramenta valiosa para aprimorar a tomada de decisão no que se referiu à alocação de armazéns, visando cumprir com os requisitos de prazos de entrega cada vez mais exigentes.

Nathnail et al. (2016), propuseram uma análise comparativa entre dois terminais urbanos intermodais de transporte de carga, especificamente o porto de Salonica (ThPA) e o centro de distribuição Kuehne + Nagel (K + N), com um enfoque particular na distribuição de última milha. Esta comparação visou auxiliar os tomadores de decisão, na escolha entre os terminais para otimizar as cadeias de suprimentos. A metodologia empregada baseou-se em um quadro de avaliação que utilizou indicadores-chave de desempenho (KPIs) multicritérios, cuja seleção e ponderação foram influenciados pelas preferências das partes interessadas, ampliando o método de hierarquia analítica para estabelecer as prioridades.

As tendências atuais relacionadas com o aumento dos requisitos de sustentabilidade, a aplicação de novas tecnologias digitais e as mudanças no comportamento dos consumidores prejudicaram as cadeias de abastecimento alimentares convencionais, resultando em desafios para a logística e distribuição final de produtos.

Assim, Melkonian et al., (2020) desenvolveram um conjunto de ferramentas para explorar o potencial de sustentabilidade das estratégias de logística e distribuição de última milha, empregando (1) uma rede de distribuição centralizada com uma opção de coleta e entrega, (2) uma rede de distribuição descentralizada com um serviço doméstico com opção de entrega e (3) uma rede distribuída baseada em um conceito de logística de multidões.

Portanto, uma simulação de dinâmica de sistemas (SD) e o auxílio à decisão multicritério (MCDA) foram aplicados para avaliar o desempenho de sustentabilidade dessas opções de canais de distribuição no estudo de caso de uma cooperativa alimentar local e um provedor de serviços logísticos na Áustria.

Estimou-se pela primeira vez o potencial de sustentabilidade do desenvolvimento de um novo sistema logístico em colaboração entre esses atores, considerando a interação dinâmica de todos os elementos de sustentabilidade relevantes no planejamento operacional, tático e estratégico.

Com o aumento do *e-commerce*, a distribuição urbana nas cidades de médio porte enfrentou grandes desafios, principalmente quando as entregas eram difíceis no centro da

cidade, devido o sistema de transporte público ser fraco e os governantes não promoverem planos de sustentabilidade urbana.

Como resultado, veículos particulares, transporte público e transporte de carga competiam pelo mesmo espaço na cidade de Pamplona na Espanha. Assim, Serrano-Hernandez et al. (2021), propuseram rotas e modos de transportes alternativos na distribuição da última milha no centro da cidade de acordo com diferentes critérios avaliados pelos participantes.

Nos últimos dez anos, os decisores políticos, bem como a investigação em logística urbana e transportes, analisaram como reduzir o impacto ambiental do transporte rodoviário em áreas urbanas. Usaram uma estrutura multicamada para melhorar a tomada de decisão colaborativa e a agregação contínua de medidas de desempenho, com o impacto ambiental de múltiplas atividades de transporte dentro e ao redor das áreas urbanas.

Para esta estrutura multicamada, identificaram-se os fatores e indicaram as possíveis relações entre as várias camadas. O campo de aplicação foi a área próxima aos locais de produção urbanos e abordou todos os atores que compartilharam a regulamentação da infraestrutura relevante para a logística de entrega de última milha (HAUGE et al., 2021).

Garus et al. (2022), apresentaram os resultados da avaliação de sustentabilidade de um serviço de entrega final introduzido em um estudo de caso real. A metodologia utilizada integrou análise multicritério de tomada de decisão, pilares de sustentabilidade e análise de cenários para melhor refletir as necessidades conflitantes das partes interessadas envolvidas no sistema de entrega final.

Uma abordagem metaheurística para resolver o problema de roteamento multicritério de entrega de encomendas foi apresentado por Chen et al. (2022). O problema foi modelado como do caixeiro viajante e reduzido através da aplicação de um algoritmo de agrupamento. O tempo de viagem, a capacidade da estrada, o número de semáforos e o número de curvas foram considerados funções objetivos a serem otimizadas.

O *crowdshipping* utilizou pessoas como meio de transporte no cenário de entregas finais, Tsai et al. (2023), propuseram um algoritmo de extração de características de trajetória e um algoritmo de correspondência de tarefa para multidão.

Em ambientes metropolitanos, o problema relativo à fase final de entrega de uma remessa a um consumidor, foi uma grande preocupação devido a sua ineficiência. O desenvolvimento de uma rede conveniente, de centros de distribuição automatizados

melhoraram a distribuição na última milha, pois reduziram o número de veículos, as distâncias percorridas e o número de paradas de entrega.

O transporte sustentável de cargas foi um dos conceitos essenciais nas cidades inteligentes, porque muitas pessoas conectadas com dispositivos móveis, produziram dados de localização e oportunidades potenciais para transportar pequenos objetos de forma mais ecológica e sustentável.

A entrega sustentável de última milha (LMD) foi uma questão essencial na logística das cidades, pois apresentaram desafios devido ao número crescente de veículos e aos efeitos negativos do transporte. O desenvolvimento sustentável das cidades, requereram uma seleção inteligente de transportadores LMD com base em vários critérios, tipo custo do serviço de entrega, pontualidade na entrega, poluição atmosférica e sonora, marca e segurança (BOŠKOVIĆ et al., 2023).

4.3.2 Centros de distribuição

Centros de distribuição são instalações logísticas projetadas para armazenar e gerenciar o fluxo de produtos entre os fornecedores e os clientes finais. Desempenham um papel crucial na cadeia de suprimentos, permitindo que as empresas organizem, movimentem e distribuam seus produtos de maneira eficiente. São responsáveis por atividades como recebimento de mercadorias, armazenamento, separação de pedidos e expedição.

Ao centralizar as operações, os centros de distribuição ajudam a otimizar o estoque, reduzir custos de transporte, melhorar os prazos de entrega, além de facilitar a gestão de inventário e a previsão de demanda, contribuindo para uma operação mais ágil e responsiva às necessidades do mercado.

Os centros de distribuição se consolidam como uma solução logística chave, com inovações que incluem maior integração tecnológica, serviços adicionais como armazenamento, devoluções, trocas de produtos e estão sendo integrados com plataformas digitais para oferecer uma experiência de usuário mais rápida e eficiente.

A utilização de centros de distribuição, como uma solução inovadora para problemas de entrega, ganharam popularidade, oferecendo flexibilidade e reduzindo custos operacionais.

Um cenário alternativo foi desenvolvido, assumindo que em vez de fazer entregas em endereços residenciais, as entregas fossem feitas na rede de centros de distribuição

inteligentes existentes, embora atualmente de uso limitado, sendo a coleta final da encomenda feita pelos próprios consumidores.

As opções e preferências das coletas foram simuladas em vários cenários e compararam-se os resultados para proporcionar uma melhor compreensão dos potenciais benefícios decorrentes da implementação da medida. Os impactos no tráfego, ou seja, nos tempos de viagens e atrasos, bem como as emissões de CO_2 no ambiente, foram avaliados e como resultados obtiveram a estimativa dos índices de sustentabilidade dos cenários testados (ALJOHANI et al., 2018).

Uma das principais causas do tráfego congestionado de veículos comerciais nas cidades, são as entregas finais e os centros de distribuição, constituem uma das soluções mais fáceis e ecológicas, pois garantem a privacidade do consumidor ao mesmo tempo que é rápido e eficiente. Os serviços dos CDs em tempo integral puderam resolver com eficácia a questão de captação de mercadorias por estudantes e trabalhadores de empresas. Assim, foi determinado a localização de um centro de distribuição destinado a ser instalado no local mais conveniente no distrito de Besiktas, em Instambul, Turquia e aplicado uma estrutura de tomada de decisão multicritério devido a disponibilidade de inúmeros aspectos que deveriam ser considerados na escolha da localização ideal (MOSLEM et al., 2023).

Gayen et al. (2023), utilizaram como estratégia os métodos multicritérios para estimar o problema de seleção de localização dos centros de distribuição e concluíram que o melhor local para localização são os prestadores de serviços postais (correios).

Os sistemas de entrega continuaram ineficientes para localizar endereços, lidar com questões como entregas perdidas e problemas agravados na logística de entrega final, como congestionamento de tráfego e impacto ambiental. Os centros de distribuição ofereceram uma solução eficiente para resolver esses problemas críticos, porém, a seleção de um local apropriado foi vital para garantir um serviço eficiente e melhorar o desempenho logístico geral. Por esse motivo, em Dublin, capital da Irlanda, Moslem et al. (2023) definiram a melhor localização para os centros de distribuição aplicando o AHP.

Na cidade de Poznan na Polônia, Sawik et al. (2022), fizeram o estudo e usaram a programação matemática para otimização e simulação, com o objetivo de resolver o problema de localização de instalações para centros de distribuição automatizados, através de uma abordagem prática. Assim, utilizaram os centros de distribuição, fizeram a análise multicritério de otimização de simulação e o problema da última milha foi superado em benefício do meio ambiente.

Os centros de distribuição tornaram-se uma solução popular na Europa para enfrentar o problema das entregas não atendidas, proporcionou conveniência para os consumidores e reduziu os custos de reentrega para as transportadoras. Países como Alemanha e Reino Unido viram uma expansão significativa desses serviços, com empresas como DHL e Hermes liderando o caminho. A pandemia também acelerou a adoção dessa solução, pois minimizou o contato humano.

Na Ásia, os centros de distribuição foram especialmente populares em áreas urbanas densamente povoadas. Em países como Singapura e Coreia do Sul, esses sistemas foram extensivamente utilizados para facilitar a entrega do *e-commerce* e serviços de correio.

A China, novamente, destacou-se pela inovação, integrando centros de distribuição inteligentes que podem ser acessados via aplicativos móveis, oferecendo serviços adicionais como devoluções de produtos e armazenamento temporário.

Em Bruxelas, um depósito móvel foi construído em um trailer, composto por uma doca de carga, instalações de armazenamento e um escritório. O objetivo foi tornar as entregas urbanas mais rápidas, sustentáveis e viáveis economicamente. O depósito móvel ficou estacionado no centro da cidade de Bruxelas, num contexto urbano de ruas estreitas, tráfego misto e congestionamento de tráfego.

Para facilitar a operação de coleta e entrega, funcionários do depósito móvel, utilizaram bicicletas de carga elétrica para distribuir ou coletar mercadorias de clientes que aguardavam o recebimento ou a coleta das mercadorias em domicílio. A análise multicritério MAMCA foi aplicada para revelar em que condições esse tipo de depósito ambulante se tornaria mais lucrativo e que benefícios conseguiriam para os outros intervenientes, principalmente para a sociedade (VERLINDE et al., 2014).

4.3.3 Plataformas digitais

As plataformas digitais são ambientes *online* que permitem a interação entre usuários, empresas e serviços, facilitando a troca de informações, assumindo diversas formas, como redes sociais, marketplaces, aplicativos de serviços, sistemas de gerenciamento de conteúdo e muito mais. Funcionam como intermediárias, conectando diferentes partes interessadas e criando um espaço onde é possível realizar transações, compartilhar conteúdo ou colaborar. Exemplos comuns incluem plataformas de *e-commerce*, como *Amazon* e *eBay*, redes sociais como *Facebook* e *Instagram*, e serviços de *streaming* como *Netflix*.

Além de facilitar a comunicação e a troca de bens e serviços, as plataformas digitais também coletam dados dos usuários, permitindo uma personalização das experiências e a análise de tendências de mercado. As plataformas digitais estão oferecendo soluções que integram todos os aspectos da cadeia de suprimentos, desde a gestão de pedidos até a entrega final. Ferramentas de rastreamento em tempo real, notificações automáticas e opções de entrega flexíveis estão sendo implementadas para melhorar a experiência do usuário.

As plataformas digitais, por sua vez, facilitaram a integração entre consumidores, varejistas e prestadores de serviços logísticos, criando um ecossistema mais eficiente e responsivo. A pesquisa destacou a importância de métodos multicritérios na otimização das operações logísticas. Com grande número de compras *online,* muitas empresas enfrentaram um fluxo de devoluções de produtos e implementaram estratégias robustas de logística reversa para atender a crescente importância de capacidade. A logística reversa também exerce um papel relevante no desenvolvimento sustentável de qualquer negócio, pois utiliza-se de processos de reutilização, remanufatura e redistribuição de produtos (WANG et al., 2021).

Ferreira et al. (2022), simulou compras *online* de diferentes produtos para entregas em regiões com diferentes níveis de mobilidade urbana, no intuito de compreender as situações que relacionam a mobilidade aos serviços de entrega de mercadorias. Foi feita a análise estatística dos preços dos fretes e entrevista com diferentes organizações a fim de conhecer a precificação. Como resultado dessa análise concluiu-se que não existe diferença de preço de frete entre entregas em regiões com baixos e altos níveis de mobilidade apesar de regiões de baixa mobilidade apresentarem características que tornaram as operações mais caras, como restrições ao tráfego de veículos de carga, congestionamentos, dificuldade para realizar carga e descarga de mercadorias e dificuldade de acesso.

Guru et al. (2023), relataram que o manuseio e o transporte de mercadorias tornaram-se extremamente complexos na Índia e também em outras partes do mundo, devido a mudança de preferência dos consumidores em favor das plataformas digitais. Cada vez mais empresas de consumo rápido foram confrontadas com múltiplas estratégias e escolhas de um canal de distribuição apropriado para garantir a entrega sem problemas de matérias-primas e produtos.

Baczkiewicz et al. (2021), apresentaram o uso de uma abordagem baseada em métodos de tomada de decisão multicritério (MCDM) como principal componente de um sistema de apoio à decisão (SAD) do consumidor, recomendando os produtos mais

adequados entre um determinado conjunto de alternativas. O sistema forneceu uma recomendação confiável ao consumidor na forma de uma classificação de compromisso, comprovando-se o potencial para ser utilizada com sucesso como componente central do SAD e recomendação do produto mais adequado.

A transformação digital em curso centrou na adaptação das empresas às novas tecnologias digitais. Na era digital, o mercado de TI propôs uma enorme quantidade de diferentes sistemas de software com diversas capacidades. Na avaliação e seleção da plataforma de *e-commerce* mais adequada, foram identificados grupos de critérios principais de avaliação, atributos e, um conjunto adicional de subcritérios a cada um deles. Para tomar a decisão final do grupo, as preferências dos tomadores de decisão foram integradas de forma a levar em conta cada avaliação com importância diferente. Isto foi feito através da formulação de um modelo de decisão em grupo, considerando as diferenças de experiência, conhecimento e qualificações de cada tomador de decisão (DIMITROVA et al., 2022).

A classificação de produtos baseada na opinião dos usuários para a tomada de decisão multicritério, ganhou destaque com o aumento do *e-commerce* e das vendas *online* de bens e serviços. As avaliações sobre produtos *online* apresentaram impactos significativos nas decisões de compra dos consumidores, na classificação dos produtos, pois, influenciaram as decisões de compra e serviram de fonte para os vendedores avaliarem a resposta do mercado aos seus produtos (HASAN et al., 2023).

Na Europa, as plataformas digitais desempenharam um papel crucial na digitalização da cadeia de suprimentos, na otimização da entrega final pois ofereceram soluções que integraram fornecedores, transportadores e consumidores, melhoraram a transparência e a eficiência. A regulamentação europeia em torno da proteção de dados e da economia gig que englobou profissionais independentes de plataformas e temporários, também influenciou a operação dessas plataformas, exigindo adaptações para garantir conformidade.

A Ásia foi lider global em inovação de plataformas digitais, com empresas como Alibaba, Tencent e Rakuten dominando o mercado. Estas plataformas não apenas conectaram consumidores a uma vasta gama de produtos, mas também integraram soluções logísticas avançadas, como previsão de demanda, gestão de armazéns e otimização de rotas.

A digitalização intensa em países como a China e a Coreia do Sul permitiram o surgimento de sistemas de *e-commerce* altamente eficientes, onde a entrega no mesmo dia ou no dia seguinte se tornaram regra.

A estrutura hierárquica e o processo de comparações pareadas do AHP proporcionaram uma base transparente e lógica para a tomada de decisão. Cada passo do processo foi documentado e pôde ser revisado, o que facilitou a justificativa das decisões tomadas. Isso foi especialmente importante em contextos organizacionais e públicos, onde a transparência e a responsabilidade são cruciais.

O AHP permitiu realizar análises de sensibilidade para avaliar como mudanças nos pesos dos critérios afetaram a priorização das alternativas. Isso ajudou a entender a robustez da decisão e a identificar possíveis pontos de vulnerabilidade. Por exemplo, se uma pequena mudança no peso de um critério alterou significativamente a ordem das alternativas, isso indicou que a decisão foi sensível a esse critério específico.

Dadas as complexas interações sociais, políticas e econômicas com os sistemas, se tornou urgente a criação de modelos matemáticos práticos, aliados a soluções tecnológicas e analíticas para auxiliar gerentes e tomadores de decisão. Pelo AHP os critérios foram classificados com base em constantes de escala, definidas a partir de prioridades atribuídas pelos especialistas através de comparação par a par. Buscaram-se o consenso do grupo de especialistas, a fim de analisar a influência da ponderação dos diferentes critérios na priorização final (CAIADO et al., 2018).

Fernandes et al. (2015), aplicaram o AHP e apresentaram o modelo de classificação dos aeroportos das cidades-sedes da Copa de 2014, de acordo com critérios prioritários na opinião dos passageiros. Os resultados indicaram que o Aeroporto de Curitiba possuía a melhor infraestrutura dentre os aeroportos analisados, e que o Aeroporto de Manaus foi o que necessitava de mais adequações.

De Castro et al. (2016), aplicaram o AHP e apresentaram um modelo de decisão multicritério para escolha do modo de transporte mais adequado para os grãos produzidos em Mato Grosso do Sul. Os resultados demonstraram que o modal rodoviário apesar de possuir o custo de frete mais alto foi a melhor opção para o estado de MS devido aos benefícios criados por esse sistema de transporte.

Nappi (2016), em sua tese de doutorado desenvolveu um modelo multicritério de decisão, com foco nos princípios da logística humanitária, para a seleção e localização espacial de abrigos temporários comunitários ou coletivos. Como resultado, foi estabelecido um sistema de avaliação de abrigos temporários comunitários ou coletivos, sendo que o modelo multicritério de decisão originado desse sistema, permitiu a análise individual de cada abrigo, constituindo uma ferramenta multicritério de apoio à decisão no que se referiu a

seleção e localização de abrigos temporários. Concluiu-se que a ferramenta foi útil no nível estratégico ou operacional das decisões logísticas.

Caiado et al. (2018), aplicaram AHP e o TOPSIS e avaliaram a ecoeficiência de veículos leves para transporte de cargas, orientando a escolha da alternativa com melhor desempenho econômico e ambiental. Os resultados ajudaram a identificar o nível de desempenho dos veículos e elaborar um ranking com base na ecoeficiência, o que ajudou a orientar o julgamento dos decisores no momento da escolha do veículo.

Rego et al. (2023), fizeram a análise do AHP e determinaram na região nordeste do Brasil qual o porto marítimo poderia ser convertido em porto hub, concentrador de carga, destacando aquele que obtivesse melhor pontuação nos critérios localização, infraestrutura, operação e economia. O resultado do cenário I indicou que, se todos os critérios tiverem igual importância, o porto de Salvador seria o mais adequado a se tornar o porto hub da região. No resultado do cenário II, a análise obteve a mesma conclusão do cenário I. Já na análise do cenário III, o porto de Suape ultrapassou o porto de Salvador e se tornou o porto mais oportuno para se tornar hub.

De melo Barbosa et al. (2023), aplicaram o AHP e geraram uma lista de prioridades com pesos associados, que serviram de informação para nortear as decisões dos gestores das administrações hidroviárias. Após a aplicação do método, identificaram-se maior impacto atribuído aos indicadores referentes à eficiência, em que se destacou a disponibilidade para navegação da hidrovia. Por fim, a partir da implementação da metodologia e de seu contínuo aprimoramento, tornaram-se possível classificar as hidrovias e apontar suas oportunidades de melhoria.

Rego et al. (2023), aplicaram o AHP com a matriz SWOT e geraram uma lista de prioridades com pesos associados, que serviram de informação para nortear as tomadas de decisões dos gestores das administrações hidroviárias. Em todos os cenários propostos o Porto de Paranaguá se mostrou o mais preparado para a implantação de um hub em suas instalações. Constataram-se que caso a análise tivesse determinado uma importância de 70% para o critério de infraestrutura, o Complexo Portuário de Itajaí passaria a ser a alternativa escolhida.

Souza et al. (2023), combinaram o AHP com o SIG e avaliaram se uma combinação de critérios locacionais que consideram aspectos ambientais e de intermodalidade podem identificar regiões mais adequadas para a instalação de armazéns graneleiros do tipo subterminal. Os resultados indicaram três grandes áreas adequadas para a armazenagem de

grãos, que juntas representaram 12% da área de estudo. A conclusão da pesquisa foi que, além de aspectos econômicos, a inclusão de fatores ambientais e de infraestrutura logística na análise espacial da localização promoveu uma rede de armazenagem mais sustentável, com armazéns bem posicionados e com menor competição.

Francisco et al. (2024), aplicaram o AHP e desenvolveram um sistema de avaliação de desempenho que classificaram os projetos de infraestrutura logística de exportação da soja no âmbito do PPI (Programa de parceria de investimentos). Os resultados indicaram que a ferrovia Ferrogrão (EF-107) foi a mais prioritária, tendo em vista sua potencial promoção da intermodalidade na região Centro-Norte do país. O projeto foi o mais indicado para o deslocamento de commodities por longas distâncias, pois promoveram menor custo logístico, economia de escala e menor impacto ambiental. Além disso, contribuiu para o estabelecimento de uma matriz de transporte mais equilibrada para a movimentação de cargas.

Vários fatores como devoluções, mercadorias não entregues e danificadas, trocas e preocupações ambientais tornam a LR – Logística Reversa inevitável em uma cadeia de abastecimento. Apesar de compreender a importância da LR no cenário empresarial atual, a maioria das empresas concentraram-se na logística direta, enquanto o fluxo reverso do cliente para a empresa não recebeu a atenção necessária. Assim, Lamba et al. (2020), identificaram e propuseram o AHP para hierarquizar, priorizar e reduzir as variáveis inibidoras, ou seja, as barreiras que o operador logístico enfrentou conforme a prioridade da logística reversa.

Para resolver o problema da entrega final de mercadorias Zheng et al. (2020), aplicaram o AHP e GIS para escolher a melhor localização do centro de distribuição e preveram o número de clientes visitantes. As descobertas sugeriram que a instalação candidata ideal fosse localizada perto de áreas de alta densidade populacional, rede rodoviária densa e poucas barreiras geográficas. A instalação deveria ter um alto valor de atratividade, horário comercial longo e acesso conveniente ao transporte público, cobrindo assim uma área grande da população e apoiando o tomador de decisão na seleção da melhor localização.

Nos Emirados Árabes Unidos, Alsibaei et al. (2022), aplicaram o AHP e investigaram o efeito dos vários fatores no custo, na satisfação do cliente e no tempo de ciclo em relação a entrega de mercadorias no mesmo dia. O estudo identificou quatro fatores como os mais importantes: propriedade dos recursos logísticos, gerenciamento de operações,

infraestrutura de TI e localização das instalações. A análise de variância revelou que todos os quatro fatores foram significativos para o custo. Para a satisfação do cliente e o tempo de ciclo, todos os fatores, exceto a propriedade dos recursos logísticos, foram considerados significativos.

Os centros de distribuição são considerados uma solução eficaz para resolver ineficiências na entrega final. A escolha do local apropriado é essencial para fornecer um serviço ideal e melhorar o desempenho logístico. Em Dublin na Irlanda, Moslem et al. (2024), utilizaram o AHP para a seleção dos locais dos centros de distribuição que forneceram informações valiosas para os decisores políticos, ajudando-os na tomada de decisões estratégicas.

O crescente interesse no *e-commerce* aumentou a dependência de prestadores de serviços de *courier* na Malásia. O desempenho logístico dos serviços desses prestadores, necessitaram de melhorias, pois, o estrangulamento dos centros de distribuição afetaram a satisfação dos clientes. Lee et al. (2024), adotaram o AHP e identificaram que a notificação em tempo real, o custo e a pontualidade foram os três fatores essenciais a serem considerados.

A eletrificação do transporte urbano de mercadorias, pode ser uma solução viável em países em desenvolvimento como a Índia. Saxena et al. (2024), aplicaram o AHP para identificar e mitigar as barreiras à adoção de veículos de carga (veículos comerciais leves) em áreas urbanas. Buscaram identificar os gargalos, apoiar e priorizar as estratégias do governo em políticas públicas para promoção de veículos elétricos de carga na Índia.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O AHP é um método de tomada de decisão multicritério amplamente utilizado em diversos campos, incluindo administração, engenharia, economia e ciências sociais. Desenvolvido por Thomas L. Saaty na década de 1970, permite a avaliação e a priorização de alternativas com base em múltiplos critérios, facilitando a tomada de decisões complexas. Facilita a integração de opiniões de múltiplos especialistas, o que é particularmente útil em decisões que envolvem conhecimento especializado de diferentes áreas.

Ao utilizar técnicas de agregação de julgamentos, o AHP pode combinar as avaliações de vários especialistas em um conjunto único de pesos, refletindo um consenso ou média ponderada das opiniões. Pode ser aplicado em uma ampla gama de contextos, desde a seleção de fornecedores e avaliação de projetos até a escolha de políticas públicas e estratégias empresariais. Sua flexibilidade permite que seja adaptado a diferentes tipos de problemas e setores, tornando-o uma ferramenta valiosa para a tomada de decisão.

Embora o AHP envolva cálculos matemáticos, existem diversas ferramentas e softwares que facilitam sua implementação. Isso torna o método acessível a tomadores de decisão que podem não ter um grande conhecimento em matemática ou estatística, mas que ainda assim precisam tomar decisões complexas e bem fundamentadas.

O AHP oferece uma abordagem estruturada e sistemática para a tomada de decisão multicritério, proporcionando resultados que incluem a priorização de alternativas, identificação de critérios críticos, transparência e justificativa das decisões, análise de sensibilidade, integração de opiniões de múltiplos especialistas, aplicabilidade em diversos contextos e facilidade de uso. Esses resultados tornam o AHP uma ferramenta poderosa e eficaz para enfrentar os desafios da tomada de decisão em ambientes complexos e dinâmicos.

A aplicação do AHP como ferramenta auxiliar na tomada de decisão, resultou na ordem de classificação dos critérios permitindo uma análise detalhada das alternativas e servindo como *benchmarking* na escolha da melhor. Ao decompor o problema em uma hierarquia de critérios e ao realizar comparações pareadas entre esses elementos, o AHP gerou um conjunto de pesos que refletiram a importância relativa de cada critério. Esses pesos foram utilizados para calcular a pontuação final para cada alternativa, permitindo a identificação da melhor opção.

O AHP permitiu identificar quais eram os critérios mais críticos para a tomada de decisão. Ao analisar os pesos atribuídos a cada critério, os tomadores de decisão puderam compreender quais fatores têm maior impacto na escolha final. Isso foi particularmente útil, devido a existência de situações onde recursos são limitados e é necessário focar nos aspectos mais importantes.

A estrutura hierárquica e o processo de comparações pareadas do método AHP proporcionaram uma base transparente e lógica para a tomada de decisões. Cada passo do processo foi documentado e pôde ser revisado, o que facilitou a justificativa das decisões tomadas.

O AHP permitiu realizar análises de sensibilidade para avaliar como as mudanças nos pesos dos critérios afetariam a priorização das alternativas. Isso ajudou a entender a decisão e a identificar possíveis pontos de vulnerabilidade.

Facilitou também a integração das opiniões dos múltiplos decisores, o que é particularmente útil em decisões que envolvam conhecimento especializado de diferentes áreas. Ao utilizar técnicas de agregação de julgamentos, o método combinou as avaliações de vários especialistas em um conjunto único de pesos, refletindo um consenso ou média ponderada das opiniões.

Concluiu-se que o AHP ofereceu uma abordagem estruturada e sistemática para a tomada de decisões multicritério, proporcionando resultados que incluem a priorização de alternativas, identificação de critérios, transparência e justificativa das decisões, análise de sensibilidade, integração de opiniões de múltiplos especialistas, aplicabilidade em diversos contextos e facilidade de uso. Esses resultados tornam o AHP um excelente método multicritério para enfrentar os desafios da tomada de decisão em ambientes organizacionais complexos.

O AHP não é a solução para todos os problemas, mas é um método versátil que pode ser aplicado em uma gama de contextos, desde a seleção de fornecedores, a avaliação de projetos até a escolha de políticas públicas e estratégias empresariais. Sua flexibilidade permite que seja adaptado a diferentes tipos de problemas e setores, tornando-o uma ferramenta valiosa para a tomada de decisões multicritérios.

A estruturação e aplicação do AHP é simples e replicável, tornando-o assim, uma ótima técnica para apoio à tomada de decisão em diferentes áreas do conhecimento. A contribuição científica do trabalho compreende na possibilidade de aplicação do modelo matemático em diferentes problemas complexos.

Recomenda-se para os próximos trabalhos a utilização de software de simulação específico de cálculo do AHP, tais como: Super Decisions 3.2, Expert Choice, em diferentes áreas de conhecimento, cenários e alternativas para ganho de produtividade e eficiência.

Em trabalhos futuros, o autor pretende aplicar o AHP no projeto de implantação de porto seco na microrregião da cidade de Sete Lagoas/MG.

REFERÊNCIAS

ABCOMM – Associação Brasileira de Comércio Eletrônico – https://abcomm.org/ - consulta em 01/12/23.

AGRAWAL, Anushka et al. Application of Multi Criteria Decision Making in E-commerce sector. In: 2020 Research, Innovation, Knowledge Management and Technology Application for Business Sustainability (Inbush). IEEE, 2020. p. 61-67.

AIELLO, Giuseppe et al. Optimization of urban delivery systems based on electric assisted cargo bikes with modular battery size, taking into account the service requirements and the specific operational context. Energies, v. 14, n. 15, p. 4672, 2021.

ALJOHANI, Khalid; THOMPSON, Russell G. A multi-criteria spatial evaluation framework to optimise the siting of freight consolidation facilities in inner-city areas. Transportation Research Part A: Policy and Practice, v. 138, p. 51-69, 2020.

ALJOHANI, Khalid; THOMPSON, Russell G. A stakeholder-based evaluation of the most suitable and sustainable delivery fleet for freight consolidation policies in the inner-city area. Sustainability, v. 11, n. 1, p. 124, 2018.

ALSIBAEI, Mohammad; HARIDY, Salah; BADAR, M. Affan. Same day delivery in B2C e-commerce systems in the UAE context. International Journal of Advanced Operations Management, v. 14, n. 4, p. 333-365, 2022.

BOŠKOVIĆ, Sara et al. A New FullEX Decision-Making Technique for Criteria Importance Assessment: An Application to the Sustainable Last-Mile Delivery Courier Selection. IEEE Access, v. 11, p. 137426-137436, 2023.

CAIADO, R. G. G., Simão, V. G., Rangel, L. A. D., Quelhas, O. L. G., & Lima, G. B. A. (2018). Análise multicritério da ecoeficiência do transporte de cargas com veículos leves. Transportes, 26(1), 68–83. https://doi.org/10.14295/transportes.v26i1.1313

CHEN, Zihao; WANG, Hao; KHAMIS, Alaa. Multi-criteria Optimal Routing for Last-mile Parcel Delivery. In: 2022 IEEE International Conference on Smart Mobility (SM). IEEE, 2022. p. 21-26.

CNT. Confederação Nacional do Transporte. (2019). Perspectivas para o futuro da logística brasileira. Disponível em: https://cnt.org.br/agencia-cnt/cnt-apresenta-perspectivas-futurologistica-brasileiraintermoda. Acesso em: 08 abr. 2024.

DE CASTRO, Danilo Medeiros et al. Modelo de decisão multicritério para escolha do modo de transporte: um estudo do escoamento da produção de grãos de Mato Grosso do Sul. Revista Produção Online, v. 16, n. 4, p. 1214-1236, 2016.

DIMITROVA, Zornitsa et al. Group decision-making involving competence of experts in relation to evaluation criteria: Case study for e-commerce platform selection. In: International Conference on Modelling and Development of Intelligent Systems. Cham: Springer Nature Switzerland, 2022. p. 42-53.

FELDMANN, B.M. Determinação de linhas de transporte na operação de carga fracionada – São Paulo, 2019. 114 p. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica.

FERNANDES, Helen Feuser et al. Avaliação dos aeroportos das cidades-sedes da Copa de 2014 através do método AHP. Transportes, v. 23, n. 3, p. 73-80, 2015.

FERREIRA, R. F., & Martins, R. S. (2022) Entregas do e-commerce e mobilidade urbana: análise das relações entre fretes, prazos e locais de entrega. Revista Adm. Made, 25(2).

FRANCISCO, Mayara Fernanda; DE SOUZA, Matheus Melo; DE OLIVEIRA, Andréa Leda Ramos. Impactos do programa de parceria de investimentos (PPI) na logística de exportação da soja brasileira. Desafio Online, v. 12, n. 3, 2024.

GARUS, Ada et al. Last-mile delivery by automated droids. Sustainability assessment on a real-world case study. Sustainable Cities and Society, v. 79, p. 103728, 2022.

GAYEN, Souvik et al. A novel Aczel-Alsina triangular norm-based group decision-making approach under dual hesitant q-rung orthopair fuzzy context for parcel lockers' location selection. Engineering Applications of Artificial Intelligence, v. 126, p. 106846, 2023.

GONZALEZ, Juan Nicolas; SOBRINO, Natalia; VASSALLO, Jose Manuel. Considering the city context in weighting sustainability criteria for last-mile logistics solutions. International Journal of Logistics Research and Applications, p. 1-21, 2023.

GURU, Sunita et al. Assessing the feasibility of hyperlocal delivery model as an effective distribution channel. Management Decision, v. 61, n. 6, p. 1634-1655, 2023.

HASAN, Iqbal et al. A Knowledge discovery framework using fuzzy and wavelet methods for multi-criteria ranking. Palestine Journal of Mathematics, v. 12, 2023.

HAUGE, Jannicke Baalsrud; BIRKIE, Seyoum Eshetu; JEONG, Yongkuk. Developing a holistic decision support framework: From production logistics to sustainable freight transport in an urban environment. Transportation Research Interdisciplinary Perspectives, v. 12, p. 100496, 2021.

JALLER, Miguel; OTAY, Irem. Evaluating sustainable vehicle technologies for freight transportation using spherical fuzzy AHP and TOPSIS. In: International Conference on Intelligent and Fuzzy Systems. Cham: Springer International Publishing, 2020. p. 118-126.

KARDI, Teknoma. Analytic hierarchy process (AHP) tutorial. Revoledu. com. Available online: http://people. revoledu. com/kardi/tutorial/AHP/AHP. htm (accessed on 1 April 2015), 2006.

KRSTIĆ, Mladen et al. A novel hybrid MCDM model for the evaluation of sustainable last mile solutions. Mathematical Problems in Engineering, v. 2021, p. 1-17, 2021.

KUDLÁČKOVÁ, Nina; CHOCHOLÁČ, Jan. Warehouse location problem in context of delivery time shortening. In: MATEC Web of Conferences. Vol. 134 (2017): 18th International Scientific Conference-LOGI 2017. EDP Sciences, 2017.

LAMBA, Deepak et al. Prioritizing barriers in reverse logistics of E-commerce supply chain using fuzzy-analytic hierarchy process. Electronic Commerce Research, v. 20, p. 381-403, 2020.

LEE, Pei Fun et al. Multi-Criteria Decision Analysis on the Preference of Courier Service Providers with Analytic Hierarchy Process Model. Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology, v. 35, n. 2, p. 94-103, 2024.

MELO, Cruz de, W. L. (2021). Crescimento do e-commerce no Brasil: desenvolvimento, serviços logísticos e o impulso da pandemia de Covid-19. GeoTextos.

MOSLEM, Sarbast et al. A Hybrid Decomposed Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making Model for Optimizing Parcel Lockers Location in the Last-Mile Delivery Landscape. Applied Soft Computing, p. 111321, 2024.

MOSLEM, S.; PILLA, F. F, A hybrid decision making support method for parcel lockers location selection, Res. Transport. Econ. 100 (2023), 101320. 2023.

NAPPI, Manuela Marques Lalane. Modelo multicritério de decisão com foco na logística humanitária a partir de medidas de desempenho para abrigos temporários. 2016. Tese de Doutorado. Tese (Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Santa Catarina.

PAMUCAR, Dragan et al. Prioritization of crowdsourcing models for last-mile delivery using fuzzy Sugeno–Weber framework. Engineering Applications of Artificial Intelligence, v. 128, p. 107414, 2024.

PESQUISA Confederação Nacional do Transporte - Rodovias 2023. - Brasília : Confederação Nacional do Transporte : SEST SENAT : ITL, 2023.

POURMOHAMMADREZA, Nima; JOKAR, Mohammad Reza Akbari. A Novel Two-Phase Approach for Optimization of the Last-Mile Delivery Problem with Service Options. Sustainability, v. 15, n. 10, p. 8098, 2023.

PINHEIRO, P.R.L. (2013). Modelo Multicritério de Avaliação do Desempenho Operacional de Empresas de Transporte Rodoviário de Cargas. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 133 fl.

RAJ, Rohit et al. Assessing the e-commerce last-mile logistics' hidden risk hurdles. Cleaner Logistics and Supply Chain, v. 10, p. 100131, 2024.

RAMOS, Manoel João et al. Uso do método de análise hierárquica para a avaliação de competitividade: um estudo de caso aplicado em uma indústria de confecções no Paraná–Brasil. Revista Produção Online, v. 20, n. 4, p. 1146-1169, 2020.

REGO, Gabriel Fonseca Bordeaux et al. Análise multicritério para identificação de um terminal hub de contêineres na região nordeste do Brasil. 37.º ANPET - Santos/SP, v. 2, 2023. v. 2, 2023.

SAATY, T. L. Método de análise hierárquica. São Paulo: Makron Books, 1991, 367p

SAATY, Thomas L. Theory and applications of the analytic network process: decision making with benefits, opportunities, costs, and risks. RWS publications, 2005.

SANGKHIEW, Noppakun et al. An Integrated fuzzy AHP-TOPSIS for the Last Mile Delivery Mode Selection. Science & Technology Asia, p. 265-280, 2022.

SAXENA, Aditya; YADAV, Ankit Kumar. Adopting a Multi-Criteria Decision-Making Approach to Identify Barriers to Electrification of Urban Freight in India. Transportation Research Record, v. 2678, n. 2, p. 816-827, 2024.

SAWIK, Bartosz et al. Multi-Criteria Simulation-Optimization Analysis of Usage of Automated Parcel Lockers: A Practical Approach. Mathematics, v. 10, n. 23, p. 4423, 2022.

SERRANO-HERNANDEZ, Adrian; BALLANO, Aitor; FAULIN, Javier. Selecting freight transportation modes in last-mile urban distribution in pamplona (Spain): An option for drone delivery in smart cities. Energies, v. 14, n. 16, p. 4748, 2021.

SILVERIO, C. R., Monteiro, F., & Junior, F. S. (2022) O papel da logística no crescimento do e-commerce no Brasil: estudo de caso em uma empresa de transportes. FATEC Mauá /SP - Brasil 10 e 11 de junho de 2022 ISSN 2357-9684.

SOUZA, Matheus Melo de; OLIVEIRA, Andréa Leda Ramos de; SOUZA, Marlon Fernandes de. Localização de armazéns agrícolas baseada em análise multicritério espacial. Revista de Economia e Sociologia Rural, v. 62, p. e268622, 2023.

STAMADIANOS, Themistoklis et al. A Hybridization of GRASP and UTASTAR for Solving the Vehicle Routing Problem with Pickups and Deliveries and 3D Loading Constraints. In: International Conference on Learning and Intelligent Optimization. Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 505-520.

TEIXEIRA, Tarcisio. Comércio Eletrônico: Conforme o Marco Civil da Internet e a regulamentação do e-commerce no Brasil. São Paulo: Saraiva, 2015.

TSAI, Pei-Wei; XUE, Xingsi; ZHANG, Jing. Trajectory feature extraction and multi-criteria k nearest neighbour based job-to-crowd matching for the crowdshipping last mile delivery. IET Control Theory & Applications, 2023.

VERLINDE, Sara et al. Does a mobile depot make urban deliveries faster, more sustainable and more economically viable: results of a pilot test in Brussels. Transportation Research Procedia, v. 4, p. 361-373, 2014.

WANG, Chia-Nan et al. A compromised decision-making approach to third-party logistics selection in sustainable supply chain using fuzzy AHP and fuzzy VIKOR methods. Mathematics, v. 9, n. 8, p. 886, 2021.

WANG, Chia-Nan; DANG, Thanh-Tuan; NGUYEN, Ngoc-Ai-Thy. Outsourcing reverse logistics for e-commerce retailers: A two-stage fuzzy optimization approach. Axioms, v. 10, n. 1, p. 34, 2021.

WANG, Ying; YEO, Gi-Tae; HE, Wenjun. Selection of location for cross-border E-commerce enterprises in China addressing the competitiveness of city logistics. Selection of location for cross-border e-commerce enterprises in China addressing the competitiveness of city logistics, p. 139-160, 2019.

YALCIN KAVUS, Bahar et al. A hybrid Bayesian BWM and Pythagorean fuzzy WASPAS-based decision-making framework for parcel locker location selection problem. Environmental Science and Pollution Research, v. 30, n. 39, p. 90006-90023, 2023.

ZHENG, Zilai; MORIMOTO, Takehiro; MURAYAMA, Yuji. Optimal location analysis of delivery parcel-pickup points using AHP and network huff model: A case study of shiweitang sub-district in Guangzhou city, China. ISPRS International Journal of Geo-Information, v. 9, n. 4, p. 193, 2020.