



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES**

**MAYARA HELEN SOARES DE ANDRADE FIALHO**

**MODELO DE CLASSIFICAÇÃO DE ROTAS DO TRANSPORTE DE CARGAS EM  
MEIO URBANO: ANÁLISE DE RISCOS SOBRE A GERAÇÃO DE EMISSÕES DE  
POLUENTES ATMOSFÉRICOS**

**FORTALEZA**

**2022**

MAYARA HELEN SOARES DE ANDRADE FIALHO

MODELO DE CLASSIFICAÇÃO DE ROTAS DO TRANSPORTE DE CARGAS EM MEIO  
URBANO: ANÁLISE DE RISCOS SOBRE A GERAÇÃO DE EMISSÕES DE  
POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre. Área de concentração: Planejamento e Operação de Sistemas de Transportes.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Vieira Bertoncini

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

A568m Andrade Fialho, Mayara Helen Soares de.  
Modelo de classificação de rotas do transporte de cargas em meio urbano: análise de riscos sobre a geração de emissões de poluentes atmosféricos / Mayara Helen Soares de Andrade Fialho. – 2022.  
118 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Fortaleza, 2022.  
Orientação: Prof. Dr. Bruno Vieira Bertoini.

1. Rotas. 2. Emissões. 3. Transporte urbano de cargas. I. Título.

CDD 388

---

MAYARA HELEN SOARES DE ANDRADE FIALHO

MODELO DE CLASSIFICAÇÃO DE ROTAS DO TRANSPORTE DE CARGAS EM MEIO  
URBANO: ANÁLISE DE RISCOS SOBRE A GERAÇÃO DE EMISSÕES DE  
POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre. Área de concentração: Planejamento e Operação de Sistemas de Transportes.

Aprovada em 14/06/2022.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Bruno Vieira Bertoncini (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Francisco Moraes de Oliveira Neto  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Profa. Dra. Leise Kelli de Oliveira  
Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

A Deus.

Aos meus pais e família, em especial aos meus  
filhos Carolina e Pedro.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelas imensas graças ao longo de todo o percurso para chegar até aqui, mesmo não sendo merecedora de tanto.

Aos meus pais, Celeide e Valter, por sempre acreditarem no meu potencial e me fornecerem todo o suporte e amor para que eu crescesse como profissional e pessoa, mesmo diante de tantos desafios. Aos meus irmãos Felipe e Raphael, que foram grandes apoiadores de toda a minha trajetória pessoal e profissional, mesmo com alguns quilômetros de distância nos separando fisicamente.

Aos meus filhos, Carolina e Pedro, que tornaram essa jornada até aqui mais emocionante e me deram forças para continuar, fazendo com que eu me desdobrasse em várias mulheres ao mesmo tempo - estudante, profissional, dona de casa e mãe, acima de tudo. Foram muitos desafios superados juntos! Ao meu esposo Rodrigo, que esteve ao meu lado em todos os momentos nos últimos 10 anos, me apoiando e incentivando a ser uma pessoa melhor a cada dia, superar os obstáculos e seguir em frente sempre.

Ao meu orientador, professor Bruno Bertoncini, que me acompanhou em toda essa trajetória do mestrado, por sempre me orientar de forma atenciosa e sábia e por ser um exemplo de dedicação. Aos professores Francisco Moraes de Oliveira e Leise Kelli de Oliveira, pelas sugestões de melhoria no trabalho e pelas valiosas colaborações que agregaram para o resultado desta pesquisa. A todos os professores do programa de Engenharia de Transportes, por todos os ensinamentos relacionados à área de transportes e à vida. O programa trouxe muitos aprendizados que foram muito além das matérias ministradas, e tenho certeza que aprendi com os melhores.

Aos meus colegas de turma, muita gratidão pela parceria incansável em toda a trajetória presencial e remota, em especial ao Mateus e ao Gabriel, pela equipe e alianças que firmamos. Aos colegas do GTTEMA, pelo apoio técnico e risadas nos intervalos de aulas.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Esta trajetória eu não fiz sozinha, seria impossível sem a ajuda de tantas pessoas. A todos, os meus sinceros agradecimentos.

“Escreva o que não deve ser esquecido.”  
(Isabel Allende).

## RESUMO

Um dos principais desafios do setor de transportes é aliar suas atividades ao compromisso e responsabilidade pela saúde, bem-estar, qualidade de vida da população e preservação ambiental. Isso se deve ao fato do transporte de cargas ser um dos principais causadores de emissões de poluentes atmosféricos no ambiente urbano, especialmente de material particulado (PM), e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), além do consumo de combustível. Este trabalho propõe classificar os trechos que compõem as rotas de uma operação no Transporte Urbano de Cargas - TUC quanto à sua criticidade relacionada à geração de emissões de poluentes atmosféricos. Para isso, foi realizada uma pesquisa na literatura para identificação dos principais parâmetros utilizados nos modelos de aplicação, voltados às temáticas do *green logistics* e rotas no TUC. Além desta, foi realizada uma pesquisa sobre as principais características do TUC e do meio urbano relacionadas às emissões de poluentes. Um modelo de classificação dos trechos críticos nas rotas do TUC foi então proposto, relacionado ao seu potencial de geração de emissões de poluentes. O modelo foi aplicado a um caso hipotético de rotas, utilizando uma base de dados reais. Foram consideradas as características reais dos trechos na rota, analisadas mediante proposta do modelo de matriz de riscos. Para validação do resultado, foi realizada a aplicação do conceito de entropia adaptada aos trechos em análise, que avalia a influência que o uso e utilização do solo no entorno do trecho exerce sobre a ocorrência dos deslocamentos no trecho. Ao se comparar as duas aplicações – matriz de riscos de emissões e trechos críticos, pautados pela entropia no trecho – foi possível observar resultados convergentes, evidenciando que há fundamento na relação em estudo e potencial de aplicabilidade.

**Palavras-chave:** rotas; emissões; transporte urbano de cargas.



## ABSTRACT

One of the main challenges of the transport sector is to combine its activities with commitment and responsibility for health, well-being, quality of life for the population and environmental preservation. This is due to the fact that cargo transport is one of the main causes of emissions of atmospheric pollutants in the urban environment, especially particulate matter (PM), and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), in addition to fuel consumption. This work proposes to classify the sections that make up the routes of an operation in Urban Cargo Transport - TUC regarding their criticality related to the generation of emissions of atmospheric pollutants. For this, a research was carried out in the literature to identify the main parameters used in the application models, focused on the themes of green logistics and routes in the TUC. In addition to this, a survey was carried out on the main characteristics of the TUC and the urban environment related to pollutant emissions. A classification model for the critical stretches on the TUC routes was then proposed, related to their potential to generate pollutant emissions. The model was applied to a hypothetical case of routes, using a real database. The real characteristics of the sections on the route were considered, analyzed by means of a risk matrix model proposal. To validate the result, the application of the entropy concept adapted to the sections under analysis was carried out, which evaluates the influence that the use and use of the land around the section exerts on the occurrence of displacements in the section. When comparing the two applications – emission risk matrix and critical sections, guided by the entropy in the section – it was possible to observe convergent results, showing that there is a basis for the relationship under study and potential for applicability.

**Keywords:** routes; emissions; urban freight transport.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estrutura analítica da green logistics .....	21
Figura 2 - Estrutura de descarbonização do transporte de cargas rodoviário .....	29
Figura 3 - Relações entre os princípios de gestão de risco, estrutura e processo .....	30
Figura 4 - Método de pesquisa proposto .....	33
Figura 5 - Método de revisão da literatura. ....	34
Figura 6 - Esquema de palavras-chave para pesquisa .....	35
Figura 7 - Etapas da análise de riscos.....	37
Figura 8 - Proporção de publicações dos temas por ano .....	40
Figura 9 - Publicações resultantes da pesquisa por grupo .....	41
Figura 10 - Proporção de publicações por tipo de modelo nos anos .....	42
Figura 11 - Publicações resultantes da pesquisa por tipo de modelo .....	42
Figura 12 - Publicações resultantes dos modelos conceituais e suas principais abordagens ...	44
Figura 13 - Tipos de modelos matemáticos com abordagens VRP.....	45
Figura 14 - Proporção de publicações por finalidade da função objetivo nos anos .....	46
Figura 15 - Publicações resultantes da pesquisa por finalidade das funções objetivo .....	47
Figura 16 - Publicações anuais em relação ao tipo de dados utilizado.....	48
Figura 17 - Publicações resultantes da pesquisa por tipos dados de aplicação .....	49
Figura 18 - Proporção de publicações por softwares de simulação nos anos.....	50
Figura 19 - Parâmetros por temas de pesquisa. ....	51
Figura 20 - Matriz de riscos – probabilidade, impactos e gravidade.....	61
Figura 21 – Quantidade das zonas de destino por finalidade do tipo expedição.....	65
Figura 22 - Localização das zonas de origem e destino por finalidade expedição.....	67
Figura 23 - Rota 178x177 .....	68
Figura 24 - Rota 113x177.....	68
Figura 25 - Rota 150(1)x177 .....	69
Figura 26 - Rota 150(2)x177 .....	69
Figura 27 - Rota 150(3)x177 .....	70
Figura 28 - Rotas e uso do solo no entorno .....	71
Figura 29 - Escala de tráfego do Google Tráfego .....	74
Figura 30 – Trechos críticos da rota 113-177.....	80

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Primeira pesquisa realizada na Web of Science. ....	35
Tabela 2 - Segunda pesquisa realizada na Web of Science. ....	36
Tabela 3 - Probabilidade relacionada ao risco de trechos críticos na rota do TUC.....	59
Tabela 4 - Impactos relacionado ao risco de emissões na rota do TUC.....	59
Tabela 5 - Gravidade e classificação dos riscos .....	60
Tabela 6 - Perguntas-chave relacionadas às características do TUC .....	62
Tabela 7 - Matriz de Riscos de Emissões e Trechos Críticos para o TUC.....	63
Tabela 8 - Rotas utilizadas na aplicação do modelo.....	66
Tabela 9 - Entropia das rotas zona 177 destino .....	71
Tabela 10 - Quantidade e classificação do uso do solo por rota .....	72
Tabela 11 - Área ocupada e classificação do uso do solo por rota.....	73
Tabela 12 - Matriz de Riscos de Emissões e Trechos Críticos para a rota 178x177.....	75
Tabela 13 - Matriz de Riscos de Emissões e Trechos Críticos para a rota 113x177.....	76
Tabela 14 - Matriz de Riscos de Emissões e Trechos Críticos para a rota 150(1)x177 .....	77
Tabela 15 - Matriz de Riscos de Emissões e Trechos Críticos para a rota 150(2)x177 .....	78
Tabela 16 - Matriz de Riscos de Emissões e Trechos Críticos para a rota 150(3)x177 .....	79

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1</b>	<b>Problemática e questões de pesquisa .....</b>	<b>15</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos gerais e específicos.....</b>	<b>17</b>
<b>1.3</b>	<b>Estrutura da pesquisa .....</b>	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1</b>	<b>Green Logistics no transporte .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2.1</b>	<b><i>Green Vehicle Routing Problem (GVRP)</i>.....</b>	<b>22</b>
<b>2.2.2</b>	<b><i>Green Vehicle Routing Problem (GVRP)</i>.....</b>	<b>24</b>
<b>2.2.3</b>	<b><i>Eficiência Energética no transporte</i> .....</b>	<b>26</b>
<b>2.2.4</b>	<b><i>Matriz de Riscos</i>.....</b>	<b>29</b>
<b>3</b>	<b>MÉTODO DE PESQUISA .....</b>	<b>33</b>
<b>3.1</b>	<b>Etapa 1: Pesquisa da literatura sobre <i>green logistics</i> no transporte.....</b>	<b>33</b>
<b>3.2</b>	<b>Etapa 2: Características do TUC e do Meio Urbano associadas às Emissões ....</b>	<b>36</b>
<b>3.3</b>	<b>Etapa 3: Modelo de Matriz de Riscos de Emissões e Trechos Críticos no TUC.</b>	<b>37</b>
<b>3.4</b>	<b>Etapa 4 – Análise da aplicação da proposta.....</b>	<b>38</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>40</b>
<b>4.1</b>	<b>Pesquisas sobre o <i>green logistics</i> no transporte .....</b>	<b>40</b>
<b>4.1.1</b>	<b><i>Finalidade da função objetivo</i>.....</b>	<b>45</b>
<b>4.1.2</b>	<b><i>Tipo de dados e sistema de aplicação</i>.....</b>	<b>48</b>
<b>4.1.3</b>	<b><i>Parâmetros dos modelos</i>.....</b>	<b>50</b>
<b>4.2</b>	<b>Características do TUC e do meio urbano associadas a Emissões.....</b>	<b>53</b>
<b>4.2.1</b>	<b><i>Levantamento das características do TUC e as emissões</i> .....</b>	<b>54</b>
<b>4.2.1.1</b>	<b>Volume de carga e características do veículo: .....</b>	<b>54</b>
<b>4.2.1.2</b>	<b>Tipo de energia/combustível utilizada: .....</b>	<b>54</b>
<b>4.2.1.3</b>	<b>Idling:.....</b>	<b>55</b>
<b>4.2.2</b>	<b><i>As características do meio urbano e as emissões</i> .....</b>	<b>55</b>
<b>4.2.2.1</b>	<b>Layout das cidades - distâncias: .....</b>	<b>55</b>
<b>4.2.2.2</b>	<b>Topologia das vias urbanas:.....</b>	<b>55</b>
<b>4.2.2.3</b>	<b>Uso do solo no entorno:.....</b>	<b>56</b>
<b>4.2.2.4</b>	<b>Rotas alternativas: .....</b>	<b>56</b>
<b>4.2.2.5</b>	<b>Horário de Tráfego:.....</b>	<b>56</b>

4.2.2.6	Congestionamentos:.....	57
4.2.2.7	Centros de Consolidação Urbana (CCU) .....	57
4.2.2.8	Economia de escala .....	57
4.2.2.9	Zonas de Emissão Zero (ZEZ).....	58
4.2.2.10	Aplicação da Tarifação:.....	58
4.2.2.11	Busca por estacionamento.....	58
<b>4.3</b>	<b>Modelo de Matriz de Riscos de Emissões e Trechos Críticos na roteirização do TUC.....</b>	<b>58</b>
<i>4.3.1</i>	<i>Estruturação conceitual da matriz de riscos .....</i>	<i>59</i>
<i>4.3.2</i>	<i>Análise de riscos associados às rotas do TUC .....</i>	<i>61</i>
<i>4.3.3</i>	<i>Avaliação da criticidade dos riscos de emissões do TUC .....</i>	<i>63</i>
<b>4.4</b>	<b>Aplicação da Matriz de Riscos de Emissões e Trechos Críticos - Análise de eficiência da proposta.....</b>	<b>64</b>
<i>4.4.1</i>	<i>Análise do comportamento das emissões baseado no uso do solo .....</i>	<i>70</i>
<i>4.4.2</i>	<i>Aplicação do modelo de Matriz de Riscos de Emissões e Trechos Críticos.....</i>	<i>73</i>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>81</b>
<b>5.1</b>	<b>Conclusões .....</b>	<b>81</b>
<b>5.2</b>	<b>Sugestões para trabalhos futuros .....</b>	<b>83</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>84</b>
	<b>APÊNDICE A – PESQUISA POR TIPO DE MODELO .....</b>	<b>106</b>
	<b>APÊNDICE B – TIPOS DE MODELOS MATEMÁTICOS .....</b>	<b>109</b>
	<b>APÊNDICE C – LISTA DE PUBLICAÇÕES POR FINALIDADE .....</b>	<b>113</b>
	<b>APÊNDICE D – LISTA DE PUBLICAÇÕES POR TIPO DE DADOS .....</b>	<b>116</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O transporte e a logística são considerados os motores do desenvolvimento econômico mundial, devido seus impactos nas principais variáveis da economia de um país, como produção, emprego, preço das mercadorias e custo de vida, e tem uma função importante no desenvolvimento econômico das cidades (TIRKOLAE et al., 2020; OLIVEIRA et al., 2019).

Nas operações logísticas, no entanto, o transporte é considerado também um causador de impactos ao ambiente urbano, devido ser o principal responsável pelas externalidades ao meio ambiente, propagado através das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e do consumo de combustível, sendo o transporte rodoviário de cargas considerado um dos principais contribuintes para esses efeitos. Brito et al. (2018) mostraram que para a Região Metropolitana de São Paulo, embora representem 5% da frota, os veículos transportadores de carga e os ônibus, seriam responsáveis por cerca da metade da poluição atmosférica local em termos de óxidos nítricos (NO) e material particulado (MP). Além disso, operações logísticas contribuem para o agravamento dos níveis de congestionamento, acidentes, geração de ruídos e vibrações observados em ambientes urbanos (MCKINNON et al., 2010; EXPOSITO-MARQUEZ et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2019).

Um dos principais desafios do setor de transportes, portanto, é aliar suas atividades ao compromisso e responsabilidade pela saúde, bem-estar, qualidade de vida da população e preservação ambiental. Neste sentido, faz-se necessário que o transporte de carga seja incorporado de maneira inclusiva no planejamento urbano e de transporte. Essa incorporação requer o entendimento completo do objeto de planejamento, considerando não apenas as externalidades negativas do transporte urbano de mercadorias, mas também sua importância na economia urbana e as necessidades das partes envolvidas (OLIVEIRA et al., 2019; MCKINNON et al., 2010).

Surge então, dentro da comunidade acadêmica e profissional, a necessidade de estudos e análises voltados ao comportamento do sistema de transporte urbano de cargas (TUC) e seus efeitos ambientais, de forma dinâmica, como contribuição ao planejamento urbano e políticas públicas nas cidades. Este trabalho pretende contribuir de forma fenomenológica e metodológica na problemática discutida, especialmente sobre o estudo de rotas e o risco dessas rotas sobre a geração de emissão de poluentes atmosféricos.

## 1.1 Problemática e questões de pesquisa

A rápida industrialização e o aumento do consumo de bens e dos avanços tecnológicos ocasionaram vários impactos adversos ao meio ambiente. No passado, os sistemas de logística se concentravam principalmente no objetivo de aumentar a eficiência das atividades no que diz respeito a prazos e lucros, sem se preocupar com as questões ambientais envolvidas nestas atividades. No entanto, apesar do sistema de transporte de cargas ser flexível e se adaptar continuamente às expectativas das empresas e dos consumidores, essa eficiência é obtida, muitas vezes, ao preço das contrapartidas ambientais, sociais e urbanas (KÜÇÜKOĞLU et al., 2015; GAJANAND; NARENDRAN, 2013; OLIVEIRA et al., 2019).

O aumento do comércio, logística e transporte levaram a aumentos na liberação de gases nocivos na atmosfera, ao uso de recursos não renováveis e à poluição, potencializando as mudanças climáticas e, como resultando, problemas à saúde dos seres humanos. As causas relacionadas às mudanças climáticas e ao aquecimento global têm atraído a atenção de todo o mundo nos últimos anos, causado principalmente pelos gases de efeito estufa, tendo como principal contribuinte o dióxido de carbono, um dos componentes dos gases de escape liberados pelos transportes, principalmente o transporte de cargas (LIU; QI; CHENG, 2018; GAJANAND; NARENDRAN, 2013).

As cidades precisam do fluxo de carga, mas tendem a ignorar essa categoria de transporte urbano. Apesar do transporte de carga fornecer milhares de empregos e serviços à economia urbana, ele foi, por muitos anos, negligenciado por pesquisas e modelos de transporte, estratégias de transporte e planejamento mestre regional, sendo um assunto de interesse minoritário na comunidade de pesquisa em transportes (DABLANC, 2009; MCKINNON, 2019). Considerando que o transporte urbano de cargas é crucial para atividades econômicas das cidades, bem como para assegurar qualidade de vida à população, as externalidades dessa atividade precisam ser conhecidas, monitoradas e reduzidas por meio de um adequado processo de planejamento, com o intuito de assegurar que sua operação seja eficiente (OLIVEIRA et al., 2019). Por meio da adoção das boas práticas que privilegiam os aspectos ambientais e sociais no TUC, é possível obter ganhos econômicos simultaneamente, ainda que seja necessária a realização de um investimento inicial (OLIVEIRA et al., 2016).

Nos últimos anos, a literatura de logística e operações, sustentabilidade e considerações ambientais têm sido tópicos de crescente interesse entre os pesquisadores, tendo a sustentabilidade se tornado um dos temas dominantes na pesquisa em transporte de carga, como objeto de inúmeros artigos em periódicos, relatórios, teses e livros, recebendo

financiamento significativo para pesquisa e destaque em programas de conferências (ENE et al., 2016; MCKINNON, 2019). Pesquisas passaram a estar mais voltadas aos aspectos ambientais e aos impactos que o sistema de transportes pode causar ao meio ambiente. Diminuir as emissões tem sido um dos assuntos principais nas pesquisas, por conta dos efeitos que o sistema de transportes gera ao meio ambiente, mas o que vem também atraindo a atenção de muitos pesquisadores é a necessidade de eficiência e sustentabilidade no sistema geral de transporte de carga, principalmente no contexto urbano (RABBANI et al., 2018; PERBOLI; ROSANO, 2019).

Mesmo que o transporte de cargas esteja gerando uma grande quantidade de estudos e literatura sobre o assunto, isso ainda não provê os formuladores de políticas com todas as informações e ferramentas necessárias. Existem lacunas em várias áreas de estudo (MCKINNON, 2019). Dito isso, com o intuito de contribuir para as lacunas das pesquisas sobre o transporte de cargas e seus aspectos ambientais e aprofundar o entendimento sobre as temáticas relacionadas, surge a primeira questão de pesquisa deste trabalho: Como os estudos voltados às temáticas do *green logistics* no transporte vêm sendo desenvolvidos ao longo dos últimos anos de pesquisa? O *green logistics* é um assunto recente mas em rápida evolução, sendo um bom momento para fazer um balanço, refletir sobre o trabalho que foi feito até o momento e avaliar os desafios futuros (MCKINNON et al., 2010).

O transporte urbano de cargas é responsável por poluir mais do que o transporte de longa distância, devido às condições de parada e saída nas ruas urbanas congestionadas, aos veículos geralmente mais antigos, entregas mais curtas e o grande número de paradas de entrega. Por conta disso, a análise da eficiência energética é fundamental não só do ponto de vista das transportadoras, mas também sob o importante aspecto social e ambiental relacionado, pois está intimamente ligada a emissões de gases de efeito estufa e outros poluentes (OLIVEIRA et al., 2019; FU; JENELIUS, 2018).

Governos de todo o mundo mantêm-se preocupados com o nível de emissões em seus centros urbanos. Essas emissões poluem o ar e criam problemas para os cidadãos e o meio ambiente e, para controlar as emissões nos centros das cidades, os municípios vêm criando uma grande variedade de políticas de emissões. O crescimento do tráfego de mercadorias exacerbou os problemas ambientais e de congestionamento, despertando também uma maior preocupação pública e política, estimulada pela campanha de grupos de pressão ambiental (MCKINNON, 2019; ZHANG; CAMPBELL; EHMKE, 2019).

Reduzir as emissões de gases nocivos e de efeito estufa no setor de transporte de mercadorias, em consonância com os objetivos das políticas públicas, exigirá melhorias na



eficiência energética e uma grande transição para as fontes alternativas de energia. Apesar de ambas as opções já terem sido pesquisadas ativamente, ainda há uma grande incerteza sobre os caminhos mais econômicos para a descarbonização dos centros urbanos (MCKINNON, 2018 apud MCKINNON, 2019). Diante disso, surge a importância de aprofundar as análises sobre as rotas do transporte de cargas no meio urbano, principalmente relacionada aos fatores que causam os impactos ambientais gerados por esse tipo de transporte, com o intuito de mitigar seus possíveis efeitos e impactos. A partir desta perspectiva, surge a segunda questão de pesquisa deste trabalho: como mensurar o potencial de risco de emissões de poluentes nas rotas do TUC?

Tão importante quanto medir o potencial de risco de emissões no TUC é estabelecer uma classificação dos trechos quanto à sua criticidade, relacionada às emissões. Essa classificação se mostra importante tanto para o planejador logístico, na redefinição da rota a ser seguida pelo TUC, quanto para os tomadores de decisão e definição das políticas públicas, que podem utilizar estas classificações como ferramenta para mitigação, controle dos riscos e redução dos impactos ambientais gerados nos trechos urbanos. Diante disso, surge a terceira questão de pesquisa deste trabalho: Como classificar os trechos que compõem as rotas do TUC quanto à sua criticidade, relacionando o seu potencial de geração de emissões de poluentes aos trechos urbanos utilizados?

Entender quais são os trechos críticos da rota fornece ao condutor e ao planejador das rotas uma alternativa de tomada de decisão, de forma que possa ser escolhido o caminho que desempenhe o menor impacto ambiental, combinado com a melhor eficiência energética no transporte. Além disso, diante do conjunto de opções de rota disponíveis, é importante saber e definir qual a melhor rota a ser seguida, baseado nos objetivos pretendidos.

O estudo das rotas de veículos, o desenvolvimento de sistemas de transporte e distribuição eficientes e ecologicamente corretos representam um desafio a ser analisado, quando buscam garantir o melhor compromisso entre minimização de custos e redução negativa de externalidades ambientais. Esses sistemas, quando feitos com eficiência, são extremamente capazes de cumprir o papel de redução das emissões (SRUTHI; ANBUUDAYASANKAR; JEYAKUMAR, 2019; MACRINA et al., 2019).

## **1.2 Objetivos gerais e específicos**

Nesse contexto, uma vez definidas a problemática, as lacunas e questões de pesquisa, o objetivo geral deste trabalho consiste em: classificar os trechos que compõem as

rotas do TUC quanto à sua criticidade, relacionada à geração de emissões de poluentes atmosféricos.

Os objetivos específicos buscados para o alcance do objetivo geral são:

- a) Realizar uma pesquisa da literatura para entendimento dos estudos publicados e identificação dos principais parâmetros utilizados nas pesquisas, voltados às temáticas do *green logistics* no transporte;
- b) Realizar uma pesquisa sobre as principais características do TUC e do meio urbano relacionadas às emissões de poluentes;
- c) Propor um modelo de classificação dos trechos para as rotas do TUC quanto à sua criticidade, relacionada ao seu potencial de geração de emissões de poluentes;
- d) Analisar a eficiência da proposta.

### **1.3 Estrutura da pesquisa**

A estrutura deste trabalho foi planejada para atender aos objetivos estabelecidos e, dessa forma, contribuir com as lacunas e oportunidades de análises da temática em estudo. Para atingir estes objetivos, o presente trabalho está estruturado em cinco capítulos, e o conteúdo de cada capítulo é detalhado a seguir.

O Capítulo 1 contextualiza a temática da pesquisa, apresentando a sua problemática e justificativa. Nele, são elencadas as questões de pesquisa e os objetivos a serem alcançados neste trabalho.

No Capítulo 2, são apresentados os conceitos de *green logistics* no transporte e matriz de riscos, além da evolução das pesquisas sobre as temáticas, contemplando o detalhamento sobre os modelos utilizados nas aplicações em cada grupo de artigos, suas principais características e parâmetros relacionados.

No Capítulo 3, é apresentada a proposta metodológica utilizada para o desenvolvimento da pesquisa, detalhando como foi a execução de cada etapa e fase que compõe o estudo, bem como suas principais entregas e contribuições.

No Capítulo 4, são apresentados os resultados e discussões relacionados à aplicação do método de análise e pesquisa.

Por fim, o Capítulo 5, são apresentadas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros, voltados à temática do estudo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Green Logistics no transporte

Logística é um termo amplamente utilizado para descrever o transporte, armazenamento e manuseio de produtos à medida que eles passam da fonte de matéria-prima, passando pelo sistema de produção até o ponto final de venda ou consumo. Na sua forma mais simples, a logística pode ser descrita como o processo de entrega de um produto (ou serviço) nas quantidades necessárias, em boas condições, para o local designado, no horário designado, para um cliente específico, a um preço acordado (MCKINNON et al., 2010; ČIROVIĆ; PAMUČAR; BOŽANIĆ, 2014).

O principal objetivo da logística é coordenar as atividades de maneira a atender os requisitos do cliente a um custo mínimo, não só atendendo aos custos definidos em termos puramente monetários, mas também levando em conta os custos externos, associados principalmente às mudanças climáticas, poluição do ar, ruído, vibração e acidentes (MCKINNON et al., 2010; MACRINA et al., 2019). Dessa forma, indo além da visão tradicional, a logística deve objetivar também a redução dos impactos ambientais promovidos por suas atividades, principalmente no que diz respeito à atividade de transportes, que é a principal função logística (OLIVEIRA; D'AGOSTO, 2017).

A ampliação deste horizonte conceitual traz a tona os termos relacionados à logística de baixo carbono, logística verde e logística sustentável, que acrescentam ao termo “logística” características relacionadas à necessária avaliação dos aspectos socioambientais. Destaca-se que a logística de baixo carbono busca especificamente a redução do uso de combustíveis fósseis e da emissão de CO<sub>2</sub>; a logística verde amplia a abrangência para a consideração de outros atributos ambientais, como emissão de poluentes atmosféricos, produção de ruído e vibração, consumo de água e geração de resíduos sólidos e líquidos; já a logística sustentável é a mais abrangente, pois introduz a consideração do aspecto social na avaliação do desempenho logístico (OLIVEIRA E D'AGOSTO, 2017).

O que é considerado como *green logistics* representa a convergência de várias linhas de pesquisa que começaram em momentos diferentes, por volta da década de 1960, baseadas nos seguintes assuntos: redução das externalidades do transporte de carga, logística urbana, logística reversa, estratégias ambientais corporativas para a logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos verde (MCKINNON et al., 2010). A *green logistics*, portanto, pode ser visto como uma abordagem para o planejamento de sistemas logísticos, que incorporam

metas de sustentabilidade com foco principal na redução de externalidades ambientais, que se preocupa em produzir e distribuir mercadorias de maneira sustentável, levando em consideração fatores ambientais e sociais (SBIHI; EGGLESE, 2010; ZHANG et al., 2015; KÜÇÜKOĞLU et al., 2015).

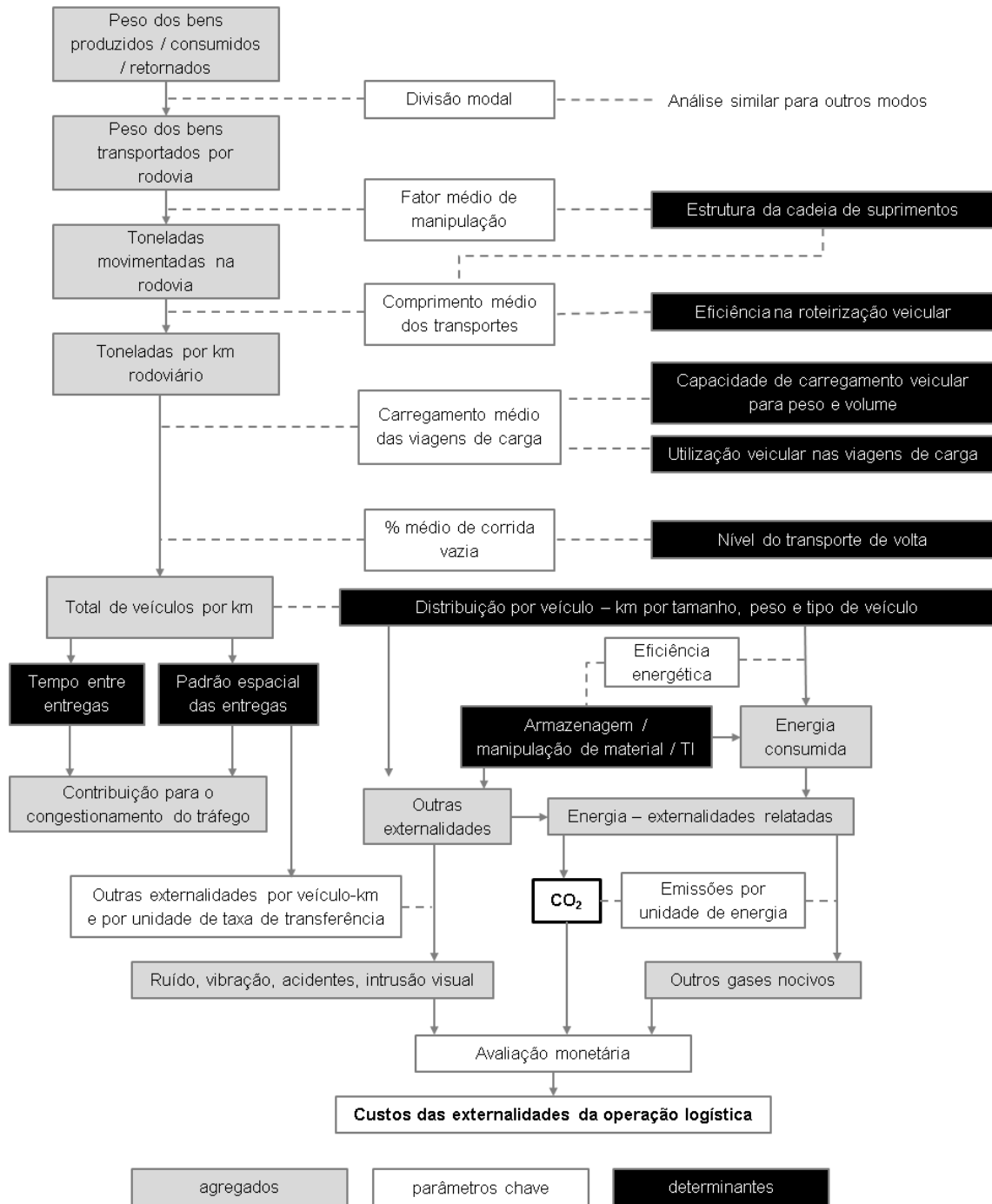
A importância da *green logistics* é motivada pelo fato de que as estratégias atuais de logística de produção e distribuição não são sustentáveis em longo prazo. Assim, a partir deste novo conceito de logística, efeitos ambientais, ecológicos e sociais são levados em consideração na elaboração de políticas voltadas à melhorias na logística, além dos convencionais custos econômicos (SBIHI; EGGLESE, 2010; LIN et al., 2014).

Pode-se afirmar, então, que a *green logistics* é considerada uma boa prática comercial e algo que pode ter um impacto positivo em muitas métricas financeiras e operacionais, sendo notório o interesse crescente na *green logistics* por parte de empresas e governos, e a atenção crescente ao desenvolvimento de políticas ambientalmente amigáveis em muitos problemas de decisão (SBIHI; EGGLESE, 2010; MCKINNON et al., 2010; ÇIMEN; SOYSAL, 2017).

A Figura 1 mostra a relação entre as atividades logísticas, seus efeitos e custos ambientais relacionados, responsáveis pelas externalidades da operação logística. Segundo McKinnon et al. (2010), esses efeitos e custos surgem principalmente das operações de transporte de carga e, por esse motivo, a maioria das caixas e elos do diagrama está associada ao movimento de mercadorias. O diagrama decompõe a relação entre os resultados materiais de uma economia e o valor monetário das externalidades logísticas em uma série de parâmetros-chave e seus resultados agregados, apontando quais são os parâmetros determinantes que desencadeiam toda a estrutura.

Ao alterar os nove parâmetros-chave retratados na Figura 1, empresas e governos podem reduzir substancialmente o impacto ambiental da logística, e as empresas que elaboram estratégias de *green logistics* e ministérios governamentais que desenvolvem políticas de logística sustentável precisam explorar toda essa gama de parâmetros (MCKINNON et al., 2010).

Figura 1 - Estrutura analítica da green logistics



Fonte: adaptado de McKinnon *et al.*, 2010

A *green logistics* tem sido um tema abrangente nas pesquisas, trazendo os estudos relacionados à logística tanto pelas análises operacionais e econômicas como também as ambientais. Dessa forma, o tema está diretamente relacionado às rotas do transporte, uma vez que a otimização das rotas tem impacto direto na redução dos impactos ambientais provocados pelo transporte. Da mesma forma, quando se analisa o transporte de cargas, este

possui grande potencial de emissões de poluentes, devido a outros fatores envolvidos na sua operação, como volume transportado e consumo de combustível. Alinhar as três temáticas, portanto, pode trazer resultados diretos e significativos relacionados à geração de emissões pelo transporte.

### ***2.2.1 Green Vehicle Routing Problem (GVRP)***

A otimização das rotas requer a adoção de técnicas para aprimorar o planejamento de rotas que permitam a diminuição do número de viagens e/ou do tamanho do percurso e do tempo das viagens realizadas por um veículo (OLIVEIRA; D'AGOSTO, 2017). Os problemas de roteirização veicular (VRP) tratam dessa otimização. O VRP clássico concentra-se em minimizar a distância total de viagem ou os custos totais de todos os veículos, que geralmente tem uma relação linear com a distância (LI; WANG; ZHANG, 2018). O tradicional problema de roteamento de veículos tem como foco o impacto econômico das rotas de veículos e a organização com que é realizado o serviço de distribuição (SRUTHI; ANBUUDAYASANKAR; JEYAKUMAR, 2019).

São várias as abordagens de aplicação do VRP, que variam desde as finalidades que derivam do modelo tradicional até as relacionadas a problemas específicos de roteirização. Abordagens como otimização da rota considerando as janelas de tempo de viagem (OBERSCHIEDER et al., 2013; KUMAR; KUMAR, 2015; ÇIMEN; SOYSAL, 2017; MAJIDI et al., 2017; TIRKOLAEI et al., 2020; GHANNADPOUR; ZARRABI, 2019; XU et al., 2019; ZULVIA; KUO; NUGROHO, 2020; REN et al., 2019; KRAMER et al., 2015; LEGGIERI; HAOUARI, 2017; ZHU; HU, 2019; YANG et al., 2015; YU et al., 2019; MACRINA et al., 2019; ZHOU; LEE, 2017), a distância entre os pontos de origem e destino (RAMOS; GOMES; BARBOSA-PÓVOA, 2014; KÜÇÜKOĞLU et al., 2015; KANCHARLA; RAMADURAI, 2018; WANG et al., 2019; TIWARI; CHANG, 2015), a velocidade de percurso (JABALI; VAN WOENSEL; DE KOK, 2012; DEMIR; VAN WOENSEL, 2013; TORO et al., 2017; GAJANAND; NARENDRAN, 2013; ÇIMEN; SOYSAL, 2017; KANCHARLA; RAMADURAI, 2018; DABIA; DEMIR; VAN WOENSEL, 2013; QIAN; EGGLESE, 2014; BURGER; SCHUTTER; HELLENDORF, 2012; ZHOU; LEE, 2017) e a minimização dos custos operacionais (WANG et al., 2019; TORO et al., 2017; WANG; LU, 2019; WEN; ZHANG; WONG, 2016; YAO et al., 2015; ZHOU; HE; ZHOU, 2019; ZHANG; CAMPBELL; EHMKE, 2019; ČIROVIĆ; PAMUČAR;

BOŽANIĆ, 2014) podem ser consideradas como modelos baseados no problema de roteirização tradicional.

Além desses, existem os objetivos relacionados à redução dos impactos ambientais e emissões decorrentes do transporte, como as relacionadas à minimização consumo de combustível (DEMIR; VAN WOENSEL, 2013; SRUTHI; ANBUUDAYASANKAR; JEYAKUMAR, 2019; CINAR; GAKIS; PARDALOS, 2015; JABALI; VAN WOENSEL; DE KOK, 2012; TORO et al., 2017; BURGER; SCHUTTER; HELLENDORRN, 2012), minimização do custo de emissão de CO<sub>2</sub> (JABALI; VAN WOENSEL; DE KOK, 2012; LIAO, 2017; RABBANI et al., 2018; FALLAH et al., 2019; JABIR; PANICKER; SRIDHARAN, 2017), utilização de combustíveis alternativos (ABDOLI et al., 2017, ASHTINEH E PISHVAEE, 2019, BRUGLIERI; MANCINI; PISACANE, 2019; ABDOLI et al., 2019, ANDELMIN; BARTOLINI, 2017, GHEZAVATI; SAHIHI; BARZEGAR, 2018, HOOSHMAND; MIRHASSANI, 2019, POONTHALIR; NADARAJAN, 2018, NORMASARI et al., 2019; ZHANG et al., 2018; BRUGLIERI; MANCINI; PISACANE, 2019; ERDOGAN; MILLER-HOOKS, 2012) e a busca pela eficiência energética no transporte, como forma de redução das emissões na rota (DASGUPTA; YOON, 2017; BURGER; SCHUTTER; HELLENDORRN, 2012; SU; FAN, 2020; YAVUZ, 2017).

Além dessas, foram encontradas pesquisas que abordam as otimizações voltadas à finalidade da logística de distribuição, como as relacionadas às múltiplas rotas (AYADI et al., 2014; ANDELMIN; BARTOLINI, 2019; DONDO; MENDEZ, 2016), às múltiplas entregas e aos multi-depósitos (JABIR; PANICKER; SRIDHARAN, 2015; RAMOS; GOMES; BARBOSA-PÓVOA, 2014; LI; SOLEIMANI; ZOHAL, 2019; TIRKOLAEI et al., 2020; LIN et al., 2014; WANG; ZHEN, 2016; MAJIDI et al., 2017; ABDI et al., 2020; SOLEIMANI; CHAHARLANG; GHADERI, 2018; KUMAR; KUMAR, 2015), além das que priorizam as rotas alternativas nos modelos (GAJANAND; NARENDRAN, 2013; LIU; QI; CHENG, 2018; BRUGLIERI; MANCINI; PISACANE, 2019; ERDOGAN; MILLER-HOOKS, 2012).

Os problemas de roteirização com objetivos relacionados às classes, tipos e características dos veículos de transporte (SAHARIDIS, 2017; ZIEBUHR; BUER; KOPFER, 2018; GAJANAND; NARENDRAN, 2013; KUCUKOGLU et al., 2015; MACRINA et al., 2019; MOLINA et al., 2014; LEU et al., 2019; MOUTAOUKIL; NEUBERT; DERROUCHE, 2014; YANG et al., 2015; YU et al., 2019; ZHOU; LEE, 2017), comportamento da demanda (EYDI; ALAVI, 2019; KAWTUMMACHAI; SHOHDOHJI,

2016; TIRKOLAEI et al., 2020; GAJANAND; NARENDRAN, 2013), à infraestrutura das vias na rota e localização dos pontos de reabastecimento (GAJANAND; NARENDRAN, 2013; KOÇ; KARAOGLAN, 2016; POONTHALIR; NADARAJAN, 2019; AFFI; DERBEL; JARBOUI, 2018; MADANKUMAR; RAJENDRAN, 2018; REZAEI et al., 2019; ZHOU; LEE, 2017), ao perfil de aceleração e ao modo idling nas rotas urbanas (LIU; QI; CHENG, 2018; KANCHARLA; RAMADURAI, 2018; POONTHALIR; NADARAJAN; GEETHA, 2017) são mais específicos, mas com grande abrangência de estudos relacionados. A seguir, foram apresentadas as abordagens pesquisadas e suas referências principais.

Sobre a estrutura dos problemas de roteirização de veículos, a grande maioria são problemas de otimização combinatória e programação inteira, que encontra o conjunto ótimo de rotas para uma frota de veículos percorrer para entregar a um determinado conjunto de clientes (HOSSEINI-NASAB; LOTFALIAN, 2017). Em função da complexidade de aplicação das técnicas, geralmente é necessário o uso de ferramentas de pesquisa operacional, tecnologia de informação e métodos de programação para apoiar a aplicação desta prática (OLIVEIRA; D'AGOSTO, 2017).

O VRP é classificado como um problema NP-difícil, o que implica que à medida que o tamanho do problema aumenta, o tempo de computação necessário para encontrar a solução ótima para qualquer método conhecido aumenta exponencialmente. Soluções ótimas podem ser encontradas para problemas de tamanho limitado; entretanto, para encontrar uma solução ótima, uma quantidade impraticável de esforço computacional pode ser necessária para descartar todas as rotas não ótimas. Na prática, métodos heurísticos são geralmente aplicados. As heurísticas não garantem encontrar a solução ótima; entretanto, uma heurística bem projetada encontrará soluções de boa qualidade em um tempo computacional razoável (AKYELKEN, 2011).

### ***2.2.2 Green Vehicle Routing Problem (GVRP)***

O problema de roteirização veicular verde (GVRP) é uma derivação do problema padrão de roteirização veicular, com dois objetivos principais: encontrar a distância mínima e encontrar a emissão mínima de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) da rota, com o objetivo de harmonizar os custos ambientais e econômicos, através da implementação de rotas eficazes, para atender às preocupações ambientais e aspectos financeiros (KÜÇÜKOĞLU et al., 2015; TIWARI; CHANG, 2015; SRUTHI; ANBUUDAYASANKAR; JEYAKUMAR, 2019). No entanto, o encaminhamento verde da roteirização depende do cálculo correto das emissões de



carbono, para gerar rotas realmente mais ecológicas do que a rota que minimiza somente a distância, os custos operacionais ou os níveis de consumo de combustível (TURKENSTEEN, 2017).

A emissão de CO<sub>2</sub> está diretamente relacionada a fatores como velocidade, distância e consumo de combustível no transporte, visto que, entre o mesmo par origem-destino, seguir uma rota alternativa com diferentes comprimentos e velocidades pode resultar em menor consumo de combustível (GAJANAND; NARENDRAN, 2013; EGGLESE; BLACK, 2014). No entanto, a velocidade deve ser considerada um dos fatores principais relacionados ao roteamento de veículos, visto que uma rota gerada com otimização somente da distância pode emitir mais CO<sub>2</sub> e outros gases poluentes devido a velocidades mais lentas, do que em uma rota alternativa mais longa, porém mais rápida (EGLESE; BLACK, 2015).

Além disso, o uso de rotas alternativas pode ser uma solução ótima, mas existem algumas limitações no seu uso, visto que uma rota alternativa, além de poder ser muito longa, pode não ser adequada para absorver o aumento do tráfego de veículos pesados de mercadorias, ser sujeita a restrições de acesso a veículos pesados, etc. (PIECYK, 2010). Se muitos veículos usarem a rota desviada, ela eventualmente ficará congestionada e o operador enfrentará o problema inicial, reforçam Gajanand, Narendran (2013), causando desequilíbrio em todo o sistema, inclusive o ambiental.

Turkensteen (2017) ainda relata que arranjo de rotas para minimizar a distância percorrida não necessariamente deriva a solução ótima de minimizar as emissões de combustível e carbono, visto que estes fatores não estão relacionados apenas à distância, mas a vários outros fatores, como peso do veículo, velocidade e carregamento. Por conta disso, fatores além da velocidade e distância, como aceleração, natureza da estrada, carga transportada e outros parâmetros do veículo, devem também ser considerados, pois afetam diretamente as emissões e o consumo de combustível (GAJANAND; NARENDRAN, 2013). A aceleração, segundo Kancharla, Ramadurai (2018), tem efeito significativo no consumo de combustível e emissões por conta dos ciclos de direção gerados (relação entre perfil velocidade e o tempo do veículo na rota).

Segundo Sruthi, Anbuudayasankar, Jeyakumar (2019), ainda existe espaço para investigar e explorar o GVRP no consumo de energia, no controle de emissões e na logística reversa. Para fins práticos, espera-se que esses modelos possam ajudar governos e empresas a avaliar a importância econômica e ambiental dos problemas de transporte no mundo real e a agir em diferentes níveis para contribuir com a *green logistics*, reforçando a necessidade de buscar estratégias eficientes e ecológicas para o processo de transporte.

### 2.2.3 Eficiência Energética no transporte

Eficiência energética, em termos gerais, é definida como a energia convertida para fornecer qualquer proporção de função, serviço ou valor (LOVINS, 2004). Esta pode ser definida, também, como a razão da distância percorrida em relação à energia consumida, sendo uma função principalmente das características do veículo, comportamento de condução e condições de tráfego (MCKINNON et al., 2010; FU; JENELIUS, 2018).

A eficiência energética é um fator competitivo importante no desenvolvimento de uma economia global sustentável, e a capacidade de medi-la é o pré-requisito para a implementação e planejamento de medidas energéticas na logística (KALENOJA; KALLIONPÄÄ; RANTALA, 2011). Para se conseguir medidas eficazes que promovam a eficiência energética do transporte rodoviário de carga, Liimatainen et al. (2012) colocam como necessário, primeiramente, atender para os seguintes questionamentos: (a) Como os transportadores rodoviários monitoram sua eficiência energética? (b) Quais ações os transportadores adotaram para melhorar a eficiência energética? (c) O que motiva os transportadores a melhorar a eficiência energética? (d) Como o acordo de eficiência energética é visto pelos transportadores? (e) Como os transportadores esperam que a eficiência energética se desenvolva no futuro?

No ambiente urbano, os bens são distribuídos aos consumidores locais de maneira não ideal, geralmente percorrendo o caminho do local do produtor até as principais instalações nas áreas urbanas (NAVARRO et al., 2016). Com o aumento da demanda dos sistemas de distribuição logística nas cidades, os centros e terminais de distribuição passaram a se localizar próximos ou dentro das áreas urbanas. Com isso, ao desenvolver o conceito de *'just in time'*, muitos sistemas de produção transferiram seu estoque para o sistema de transporte (estoque em trânsito), gerando maior eficiência para a operação mas acarretando maior congestionamento e poluição nas cidades (ĆIROVIĆ; PAMUČAR; BOŽANIĆ, 2014), devido à quantidade de veículos nas ruas e ao peso da carga em trânsito, gerando maior consumo de combustível e reduzindo a eficiência energética do transporte. Nesse cenário, as melhorias voltadas à eficiência energética são fundamentais, tanto pelo olhar da eficiência do transporte quanto pelo olhar do consumo de combustíveis e emissões gerados pelo descontrole dos fatores.

Os requisitos relacionados à alta frequência, tempo de entrega, peso dos fretes e grande número de remessas que caracterizam as entregas urbanas fazem deste transporte um agente de contribuição significativo para o aumento do consumo de energia e das emissões de

CO<sub>2</sub> e, para abordar essas questões, deve-se concentrar a atenção na consolidação e distribuição urbana, levando-se em consideração tanto sua eficiência energética (NAVARRO et al., 2016) como o desenvolvimento econômico em diferentes setores da economia, visto que diferentes ramos têm diferentes eficiências energéticas e emissões de CO<sub>2</sub> no transporte rodoviário de carga (LIIMATAINEN; POLLANEN, 2013).

A distribuição de mercadorias no ambiente urbano requer soluções inovadoras que são capazes de melhorar a eficiência do transporte e, ao mesmo tempo, promover o uso inovador de energia renovável, reduzindo assim o consumo de energia e as emissões associadas aos gases do efeito estufa (NAVARRO et al., 2016). Ademais, cada tipo de mercadoria e serviço segue um padrão de distribuição de cargas, e a quantidade e as características dos serviços de transporte de mercadorias diferem por ramos da economia, de acordo com sua necessidade e utilidade (LIIMATAINEN et al., 2014).

Através da melhoria da eficiência energética, é possível reduzir os impactos e os custos ambientais, e em todo o mundo, essas melhorias são consideradas iniciativas de baixo custo para atender às crescentes necessidades energéticas e reduzir as emissões resultantes de gases de efeito estufa (KALENOJA; KALLIONPÄÄ; RANTALA, 2011; SHUKLA; ZIA, 2016). No entanto, a adoção de medidas de eficiência energética nos transportes exige uma forte interface política, além de mecanismos favoráveis voltados ao mercado a que estão relacionados. Políticas que alteram a entrega de bens urbanos do horário de pico para fora do horário-pico, por exemplo, têm o potencial de aumentar a eficiência da distribuição de frete, bem como reduzir impactos externos causados por essas atividades (SHUKLA; ZIA, 2016; FU; JENELIUS, 2018).

Aumentar a carga média em viagens aumenta o consumo de combustível, porém diminui a quilometragem necessária para executar o mesmo transporte e, portanto, melhora a eficiência energética, diminuindo as emissões totais de CO<sub>2</sub> (LIIMATAINEN et al., 2014). A carga média ainda pode ser desagregada para o peso máximo da carga útil e a taxa de utilização do veículo, sendo essa desagregação útil para os casos de transporte de cargas em áreas urbanas, onde os caminhões maiores não são adequados para todas as operações, afirmam os autores.

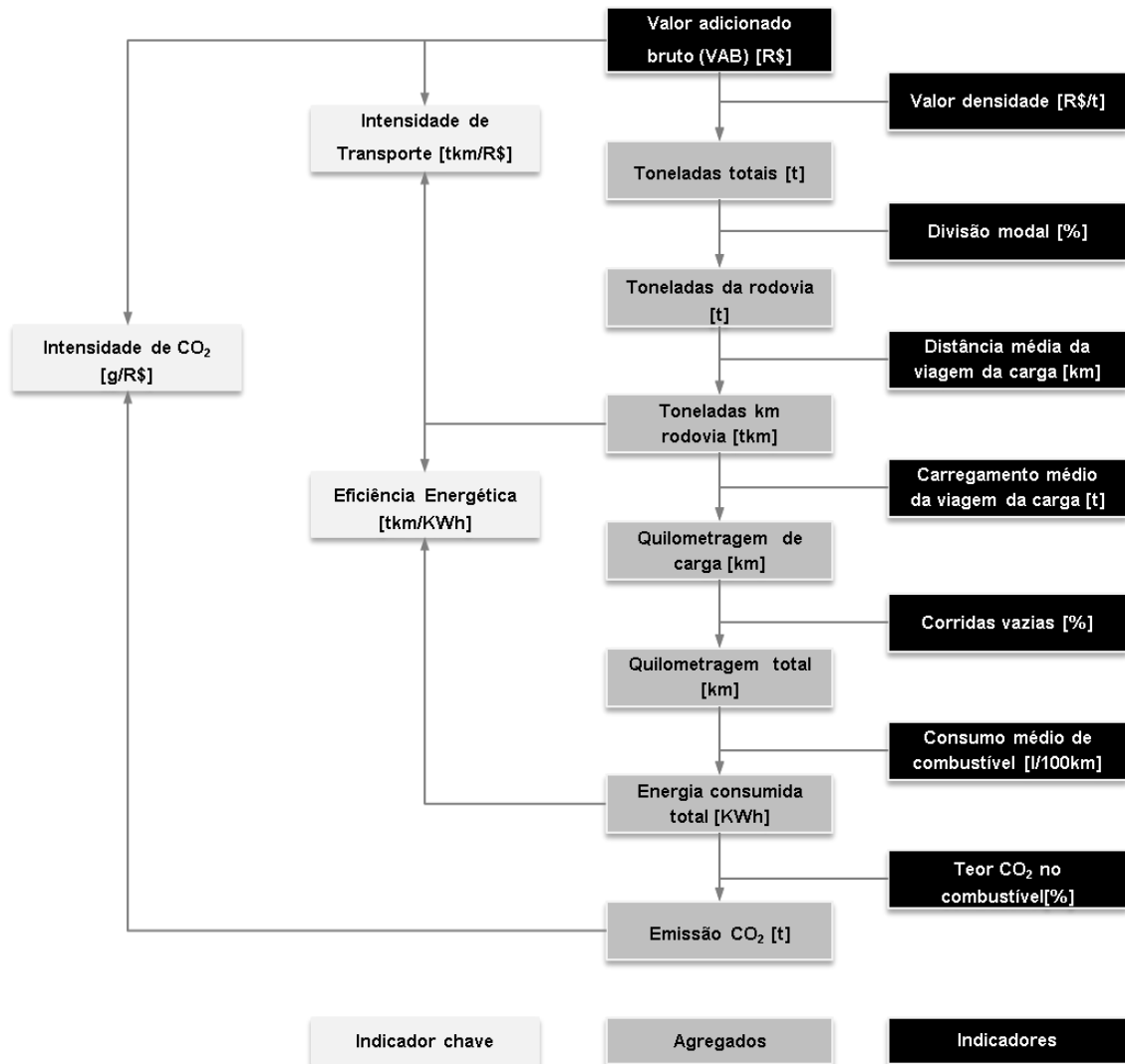
Para estimar a eficiência energética, Kalenoja, Kallionpää, Rantala (2011) propuseram indicadores operacionais de monitoramento, como os prazos de entrega, a velocidade de transporte, a flexibilidade de transporte, a confiabilidade e a qualidade das entregas, o número de reclamações e a utilização da capacidade de carga do veículo, sendo uma ferramenta importante para monitoramento dessa eficiência. Outros exemplos de

indicadores de eficiência energética no transporte propostos pelos autores são: intensidade de transporte (tonelada-quilômetro), eficiência energética de veículos (litros de consumo de combustível / 100 km, consumo de energia MJ / quilômetro-veículo) ou consumo específico de energia (MJ / tonelada-quilômetro) O indicador relacionado ao funcionamento vazio, medido pela porcentagem de quilômetros de veículos vazios, foi proposto por Mckinnon et al., (2010) também como um indicador para o monitoramento da eficiência energética no transporte.

Um método desenvolvido para analisar as relações entre atividade econômica, demanda de transporte, eficiência energética e emissões de dióxido de carbono em diferentes setores econômicos foi desenvolvido por Liimatainen et al. (2014), conforme apresentado na Figura 2. Os autores apresentam uma estrutura proposta por Piecyk (2010) com algumas alterações, onde a avaliação monetária e outros efeitos ambientais, que não o consumo de energia e as emissões de CO<sub>2</sub>, foram omitidos, sendo mantida a estrutura básica da análise e acrescentados três indicadores: intensidade de transporte, eficiência energética e intensidade de CO<sub>2</sub>. Além disso, a estrutura de descarbonização proposta na Figura 2 desagrega a relação entre a economia e as emissões de CO<sub>2</sub> em indicadores que podem ser analisados para descobrir as causas das mudanças de eficiência energética e, embora a estrutura inclua a divisão do modo, outros modos de transporte, que não o frete rodoviário, podem ser aplicados para análises semelhantes (LIIMATAINEN et al., 2014).

A análise da eficiência energética é fundamental não só do ponto de vista dos transportes, mas também sob o importante aspecto social e ambiental relacionado, pois está intimamente ligada a emissões de gases de efeito estufa e outros poluentes (OLIVEIRA et al., 2019; FU; JENELIUS, 2018). Reduzir as emissões de gases nocivos e de efeito estufa no setor de transporte de mercadorias, em consonância com os objetivos das políticas públicas, exigirá melhorias na eficiência energética e uma grande transição para as fontes alternativas de energia, sendo ainda incertos os caminhos mais econômicos para a redução das emissões de carbono nos centros urbanos (MCKINNON, 2018 apud MCKINNON, 2019).

Figura 2 - Estrutura de descarbonização do transporte de cargas rodoviário



Fonte: Adaptado de Liimatainen et al., 2014.

### 2.2.4 Matriz de Riscos

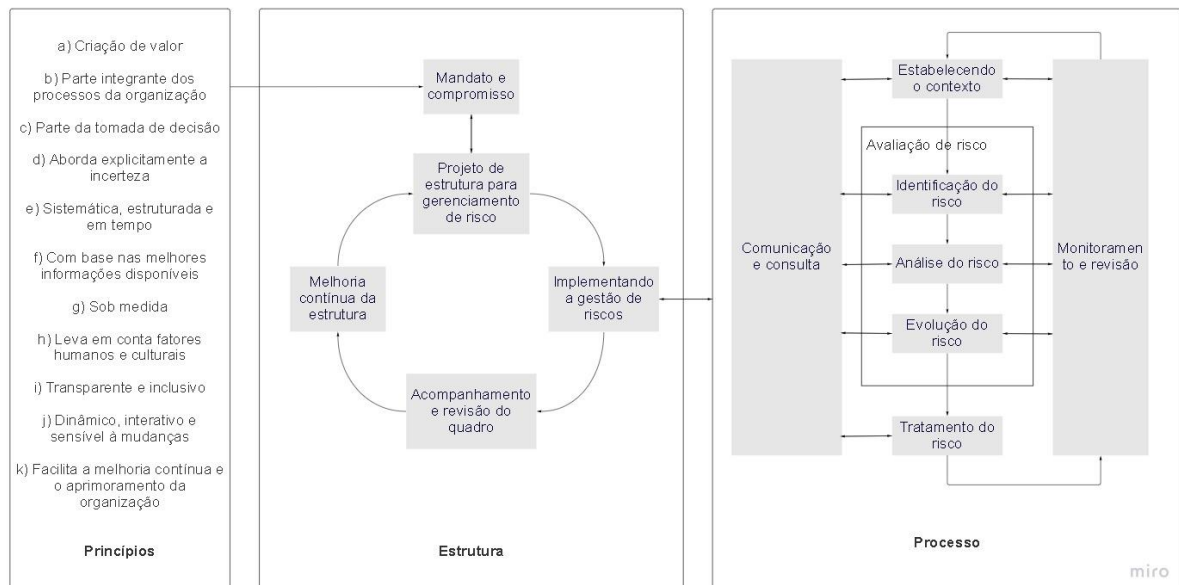
Processos de todos os tipos e tamanhos enfrentam fatores e influências internas e externas, que tornam incerto se e quando atingirão seus objetivos. O nível de exposição às incertezas que afetam os seus objetivos é conhecido como “risco”, ou seja, a chance de ocorrer um perigo definido, que deve ser entendido e gerenciado de forma eficaz para atingir seus objetivos e criar valor (ISO, 2009; ROYAL SOCIETY, 1992; DELOACH, 2000).

O risco pode ser gerenciado através da sua identificação, análise e avaliação sobre a necessidade de ser modificado pelo tratamento de risco, para satisfazer seus critérios de risco. O uso de análise de custo-benefício e ferramentas baseadas em matriz de risco são opções amplamente divulgadas na literatura, onde o tomador de decisão mapeia os riscos em

um plano bidimensional com valores de probabilidade e perda associados, e uma abordagem simples é adotada para gerenciar os riscos através da lente da análise de custo-benefício, equilibrando os custos com os benefícios (ISO, 2009; QAZI; AKHTAR, 2020).

O processo de gerenciamento de risco está focado em entender os riscos e minimizar seu impacto, abordando, por exemplo, probabilidade e impacto direto. Ao longo desse processo, existe a comunicação e consulta das partes interessadas, além do monitoramento e revisão do risco e controles que estão modificando o risco, para garantir que nenhum tratamento de risco adicional seja necessário. Os riscos podem ser priorizados e as estratégias ideais selecionadas através de um processo sequencial de gerenciamento de riscos. Durante a etapa de monitoramento de risco, quaisquer novos riscos e/ou alterações nos parâmetros dos riscos existentes devem ser incorporados na matriz de risco (NORRMAN; JANSSON, 2004; ISO, 2009; QAZI; AKHTAR, 2020; WU et al, 2020).

Figura 3 - Relações entre os princípios de gestão de risco, estrutura e processo



Fonte: Adaptado de ISO, 2009 (tradução livre).

A relação entre os princípios de gerenciamento de risco, a estrutura em que ele ocorre e o processo de gerenciamento de risco são mostrados na Figura 3. Quando implementado e mantido, o gerenciamento de risco permite, além de outros resultados, aumentar a probabilidade de atingir os objetivos, melhorar a identificação de oportunidades e ameaças, estabelecer uma base confiável para tomada de decisão e planejamento, melhorar os controles, alocar e usar efetivamente os recursos para o tratamento de riscos, melhorar a

eficácia e eficiência operacional, melhorar o desempenho de saúde e segurança, bem como a proteção ambiental, melhorar a prevenção de perdas e a gestão de incidentes, e minimizar as perdas (ISO, 2009; RUGE, 2004).

A matriz de riscos, proposta pelo Centro de Sistemas Eletrônicos da Força Aérea dos EUA na década de 1990, é um gráfico de matriz bidimensional que pode ser usada para avaliar os efeitos de um risco a partir de vários aspectos diferentes, como efeitos na saúde, ambientais e financeiros. É um método de medição de risco visual, com base na frequência e gravidade do risco identificado. As coordenadas horizontal e vertical da matriz de risco representam diferentes significados: a horizontal representa a gravidade dos riscos (S), e a vertical indica a frequência do risco, geralmente denominada probabilidade de riscos (L). Com base na gravidade e critérios de classificação de probabilidade, a matriz de risco pode ser obtida através da multiplicação da severidade(S) e probabilidade (L) (DUIJM, 2015; WANG; WANG, 2020; RUGE, 2004; WU et al, 2020; NAIK et al, 2022).

O modelo de matriz de risco é utilizado para responder as perguntas sobre a probabilidade e a gravidade do risco, e requer a seleção de critérios de avaliação específicos com base no modelo escolhido. As classes de gravidade representam as consequências de um incidente com efeitos decrescentes, e as classes de frequência representam a ordem de magnitude da frequência com que o incidente acontece com probabilidade decrescente. Pela combinação da probabilidade e a gravidade do cenário, é então determinada uma classe de risco (RUGE, 2004; WU et al, 2020; WANG; WANG, 2020; NAIK et al, 2022).

A gravidade do risco requer uma análise completa dos efeitos do perigo, sendo medida pela quantidade de danos causados. A gravidade pode ser avaliada com base na experiência prática ou por métodos quantitativos, como cálculos de dispersão. A determinação da frequência é baseada principalmente na avaliação pela equipe interdisciplinar de revisão de processos composta por especialistas da produção, engenharia e segurança do processo (RUGE, 2004; NAIK et al, 2022).

Eventualmente, as medidas de segurança correspondentes são aplicadas para reduzir o risco de acordo com a classificação de risco. Se o risco resultante for inaceitável (classe de risco “extremo”, “muito alto” e “alto”), é necessário implementar medidas de proteção para mover o risco para a área aceitável ou formular medidas de melhoria correspondentes para reduzir ou eliminar o risco. No entanto, é altamente recomendável tomar uma ou duas medidas adicionais ("camadas de proteção") para reduzir ainda mais o risco associado a este desvio. Se o risco resultante for designado por uma letra “médio” ou “baixo”, então o risco é aceitável, mas deve-se considerar tomar medidas adicionais para reduzir ainda

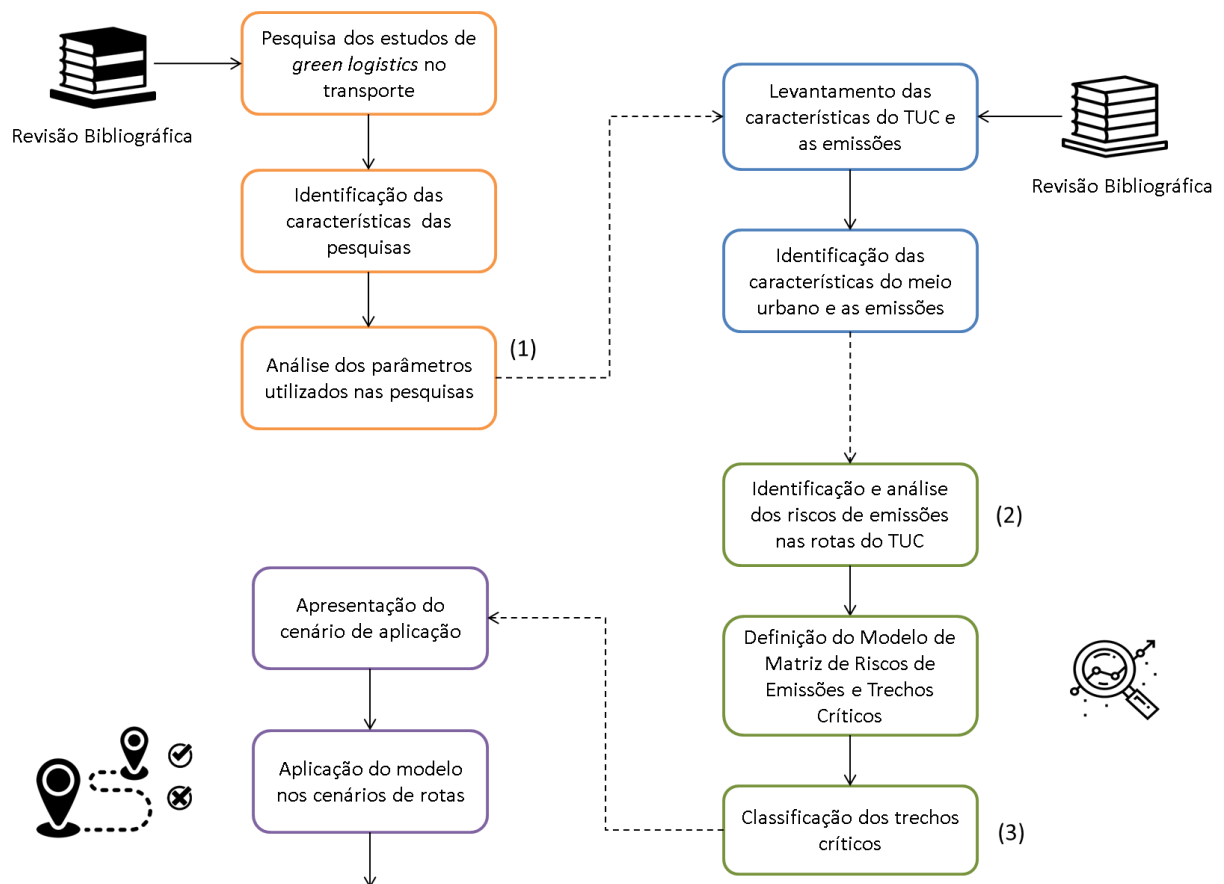
mais o risco. Se o risco resultante for designado pela letra “muito baixo”, nenhuma redução adicional de risco será necessária (RUGE, 2004; WANG; WANG, 2020).



### 3 MÉTODO DE PESQUISA

Para atingir os objetivos desta pesquisa, foi proposto um método conforme detalhado na Figura 4. O método está dividido em quatro etapas: realização de uma pesquisa da literatura sobre *green logistics* no transporte, detalhamento das características do TUC e do meio urbano associadas às emissões de poluentes, definição do modelo de matriz de riscos de emissões e trechos críticos nas rotas do TUC e, por fim, aplicação da proposta. As questões de pesquisas foram trabalhadas nas etapas correspondentes às numerações abaixo. Os tópicos a seguir detalham o desenvolvimento de cada etapa e seus possíveis desdobramentos.

Figura 4 - Método de pesquisa proposto



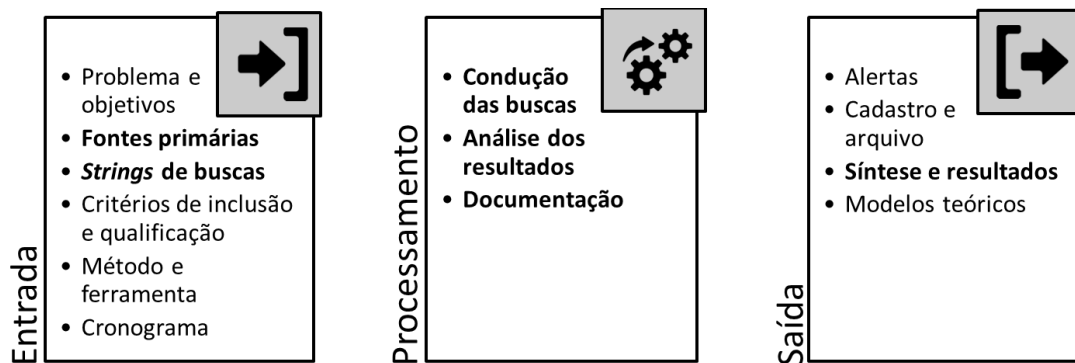
Fonte: Elaborado pela autora.

#### 3.1 Etapa 1: Pesquisa da literatura sobre *green logistics* no transporte

Esta etapa do método consiste na realização de uma pesquisa da literatura sobre os principais estudos voltados às temáticas de *green logistics* no transporte, desenvolvidos nos últimos anos de pesquisa. Para isso, foi realizada uma revisão da literatura, adaptada do

modelo proposto por Conforto, Amaral, Silva (2011), demonstrado na Figura 5. A pesquisa tem como finalidade a identificação dos estudos que abordam as temáticas, bem como o levantamento das principais características e parâmetros utilizados, relacionadas ao sistema de transportes. Com esses dados, foi possível obter o direcionamento de quais parâmetros são mais utilizados nos estudos e que podem ser considerados na proposta deste trabalho, além das lacunas para pesquisas futuras.

Figura 5 - Método de revisão da literatura.

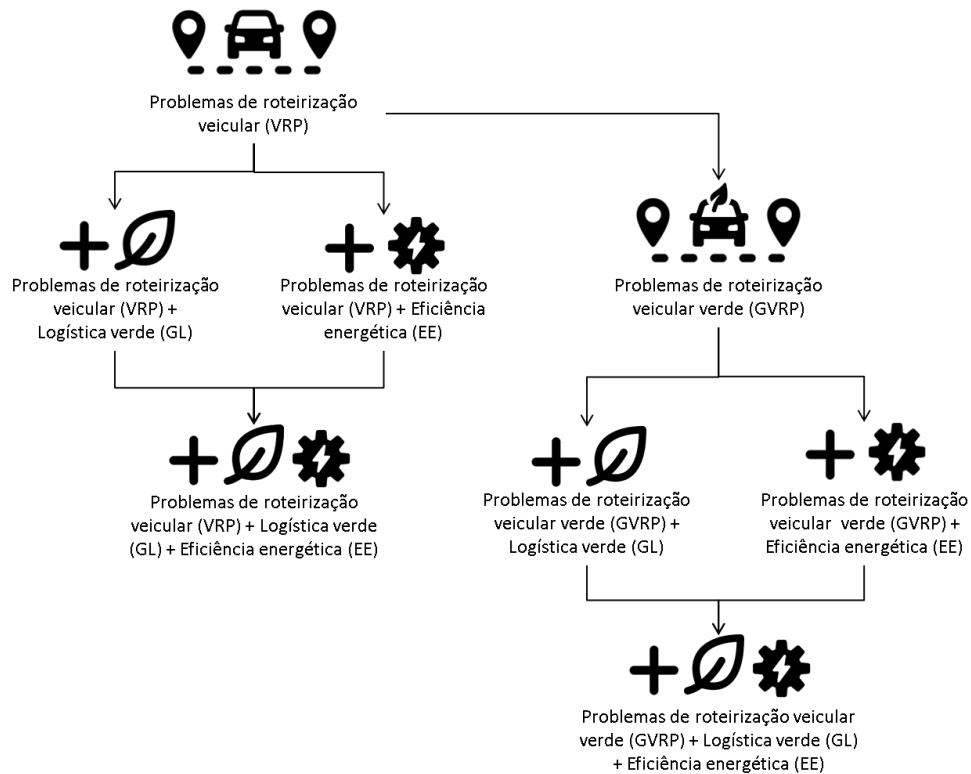


Fonte: adaptado de Conforto, Amaral, Silva, 2011.

A pesquisa foi desenvolvida com o uso da plataforma acadêmica *Web of Science*®, em duas etapas. Na primeira etapa, foi delimitando como horizonte de tempo as pesquisas publicadas entre os anos de 2010 a 2019. Para a realização da pesquisa, foram utilizadas as palavras-chave: *green logistics*, *vehicle routing problem*, *green vehicle routing problem* e *energy efficiency*. A escolha das palavras-chave se baseou tanto na temática de forma geral e abrangente (*green logistics*, *vehicle routing problem*) como na temática de forma específica e de grupos relacionados (*green vehicle routing problem*, *energy efficiency*) e as combinações entre elas, a fim de abranger o maior número de publicações sobre os grupos, conforme Figura 6. Os parâmetros utilizados e a quantidade de publicações em cada grupo de palavras-chave, baseados na Figura 6, são descritos na Tabela 1.

Na segunda etapa da pesquisa, considerou-se o horizonte de tempo entre os anos de 2020 a 2021, desta vez focada apenas nos grupos selecionados e, também, acrescentando o parâmetro de pesquisa “transporte” como palavra-chave. A quantidade de publicações em cada grupo de palavras-chave é descrito na Tabela 2.

Figura 6 - Esquema de palavras-chave para pesquisa



Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 1 - Primeira pesquisa realizada na Web of Science.

Grupo	Parâmetros de Pesquisa - <i>Web of Science</i>	Total de Publicações
VRP	TS=(vehicle routing problem) NOT TS=electric	5689
GVRP	TS=(green vehicle routing problem) NOT TS=electric	59
GVRP+GL	TS=(green vehicle routing problem AND green logistics) NOT TS=electric	14
VRP+GL	TS=(vehicle routing problem AND green logistics) NOT TS=electric	47
VRP+EE	TS=(vehicle routing problem AND energy efficiency) NOT TS=electric	10
GVRP+EE	TS=(green vehicle routing problem AND energy efficiency) NOT TS=electric	1
VRP+GL+EE	TS=(vehicle routing problem AND green logistics AND energy efficiency) NOT TS=electric	1
GVRP+GL+EE	TS=(green vehicle routing problem AND green logistics AND energy efficiency) NOT TS=electric	1

\*Tempo estipulado=Todos os anos; Índices=SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, ESCI

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 2 - Segunda pesquisa realizada na Web of Science.

<b>Grupo</b>	<b>Parâmetros de Pesquisa - Web of Science</b>	<b>Total de Publicações</b>
VRP+GL	TS=(vehicle routing problem AND green logistics AND transportation) NOT TS=electric	21
VRP+EE	TS=(vehicle routing problem AND energy efficiency AND transportation) NOT TS=electric	19

\*Tempo estipulado=Todos os anos; Índices=SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, ESCI  
Fonte: elaborado pela autora.

A razão da escolha das palavras-chave se deu pela necessidade e busca pelo entendimento da relação entre as rotas de transporte e os impactos ambientais associados, principalmente quando se trata das emissões causadas pelo transporte terrestre. Nesse sentido, a eficiência energética tem forte relação com o transporte de cargas, visto que a relação entre consumo de combustível e volume de carga transportada tem impacto direto nas emissões geradas.

Considerou-se, como delimitação da pesquisa, a literatura que retrata a temática da logística sob a perspectiva ambiental, visto que o foco desta pesquisa é a abordagem do *green logistics* relacionado aos problemas de transporte. Dessa forma, foram desconsideradas as pesquisas que retratam outras áreas, como área de softwares e saúde, por exemplo. Após análise, observou-se que os grupos de artigos das palavras-chave GVRP+GL, GVRP+EE, VRP+GL+EE e GVRP+GL+EE estão contemplados, em sua grande maioria, nas pesquisas de palavras-chave VRP+GL e VRP+EE. Dessa forma, as publicações desses dois grupos mencionados foram os escolhidos para o andamento das análises dos parâmetros propostos.

### **3.2 Etapa 2: Características do TUC e do Meio Urbano associadas às Emissões**

Esta etapa tem como objetivo levantar as características do TUC e do meio urbano relacionadas à geração de emissões. Para o levantamento das características do TUC, foi realizada uma pesquisa da literatura, adaptada do modelo proposto por Conforto, Amaral, Silva (2011), demonstrado na Figura 5. Foram utilizadas as palavras-chaves: *urban freight*, *emission* e *routing*, com o objetivo de encontrar trabalhos que relacionem o transporte urbano de cargas e o processo de escolha de rotas às incidências de emissões ambientais. As buscas se deram pela plataforma ScienceDirect®.

As características do meio urbano são relacionadas à geração de emissões quando considerado o perfil do uso do solo e sua tendência de atratividade do fluxo de transporte. Nesta fase, foram mapeadas as principais características urbanas relacionadas às emissões,

consideradas nas publicações levantadas nas etapas anteriores deste trabalho. Espera-se, nesta fase, obter o levantamento das principais características que relacionem o TUC e o meio urbano às emissões, para que sejam consideradas como referência nas etapas posteriores da pesquisa.

### 3.3 Etapa 3: Modelo de Matriz de Riscos de Emissões e Trechos Críticos no TUC

Segundo Sargent (2011), um modelo conceitual pode ser constituído com o objetivo de facilitar a visualização e interpretação do sistema que está sendo estudado. Para tal, podem-se fazer usos de esquemas, pseudocódigos, fluxogramas, diagramas entre outros. Dessa forma, modelos baseados na abordagem conceitual facilitam o aprendizado sobre conceitos e seus relacionamentos, além de serem utilizados para esclarecer ideias e organizar o conhecimento (NOVAK; CANAS, 2008).

Esta etapa tem como objetivo propor um modelo de matriz de riscos de emissões para a classificação dos trechos urbanos, segundo sua criticidade das rotas do TUC. Nesta etapa, foram utilizados os dados coletados nas duas primeiras etapas do método de pesquisa proposto. A Figura 7 apresenta os passos seguidos nesta etapa do método de pesquisa, adaptado de Wessberg et al. (2008).

Para a análise de riscos de emissões, primeiramente foi realizada a estruturação conceitual da matriz de riscos, que abrange a definição do escopo e objetivos da análise de riscos, os limites da análise e a coleta de informações necessárias para desenvolver um plano de risco preliminar, como a definição dos parâmetros, a probabilidade, impacto, gravidade e classificação dos riscos associados aos parâmetros do TUC e rotas.

Figura 7 - Etapas da análise de riscos



Fonte: adaptado de Wessberg et al. (2008).

Em seguida, foi realizada a análise de riscos associados à escolha de rotas do TUC, que contempla a identificação dos riscos de emissões para cada característica do TUC e meio urbano e a estimativa dos riscos, ou seja, a definição da probabilidade e impacto de cada

característica associado ao risco de emissões. Nesta etapa, foram utilizados como critérios de avaliação os seguintes direcionadores: a “probabilidade de gerar aumento nos índices de emissões no TUC” e o “impacto do aumento dos índices de emissões no ambiente urbano”.

Por fim, na etapa de avaliação da criticidade dos riscos de emissões do TUC, para cada probabilidade e impacto foi estabelecido um intervalo de valores de riscos associados, e foi possível determinar a gravidade dos riscos de geração de emissões para cada característica. A gravidade dos fatores de riscos está vinculada a uma matriz de riscos, e estão diretamente relacionadas à gravidade do trecho em relação à geração de emissões, ou seja, os trechos analisados com gravidade alta ou muito alta, foram classificados como “trechos críticos” sob o olhar do potencial de emissão de poluentes.

### 3.4 Etapa 4 – Análise da aplicação da proposta

Para a análise da aplicação da proposta, foi feita uma demonstração da aplicação do método num cenário hipotético de escolha de rotas no ambiente urbano, considerando dados reais de rotas do TUC. Primeiramente, foram analisadas as características no transporte de carga e do meio urbano através desses dados reais, e em seguida, aplicado o conceito da Matriz de Riscos de Emissões e Trechos Críticos proposta neste trabalho.

A partir da aplicação, foi possível a identificação dos trechos críticos das rotas e as justificativas para essa classificação. Para embasar os resultados da aplicação do método, foi realizada uma análise de entropia no trecho da escolha de rotas, com o intuito de identificar o potencial de geração de emissões através da influência que o uso e ocupação do solo no entorno do trecho exerce sobre a ocorrência dos deslocamentos no trecho.

Nas condições urbanas brasileiras, quanto maior a entropia, maior a geração de viagens ao local, dado que a estrutura dos municípios ainda centra os deslocamentos em grandes distâncias e com uso de modos motorizados (RIBEIRO et al., 2019). Dessa forma, expressar a concentração de viagens através da entropia reflete a tendência do comportamento das emissões nas rotas. Para o cálculo de entropia, foi utilizada a formulação matemática (1) proposta por Kockelman (1997), Sun, Wilmot, Kasturi (1998) e Bordoloi et al. (2013).

$$Entropia = - \sum_i \frac{P_i \cdot \ln(P_i)}{\ln(I)} \quad (1)$$

onde:  $I$  é o número de diferentes tipos de uso do solo; e  $P_i$  é a proporção do uso do solo  $i$ .

Os resultados da matriz de riscos de emissões e da entropia foram comparados e se chegou à conclusão deste trabalho.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

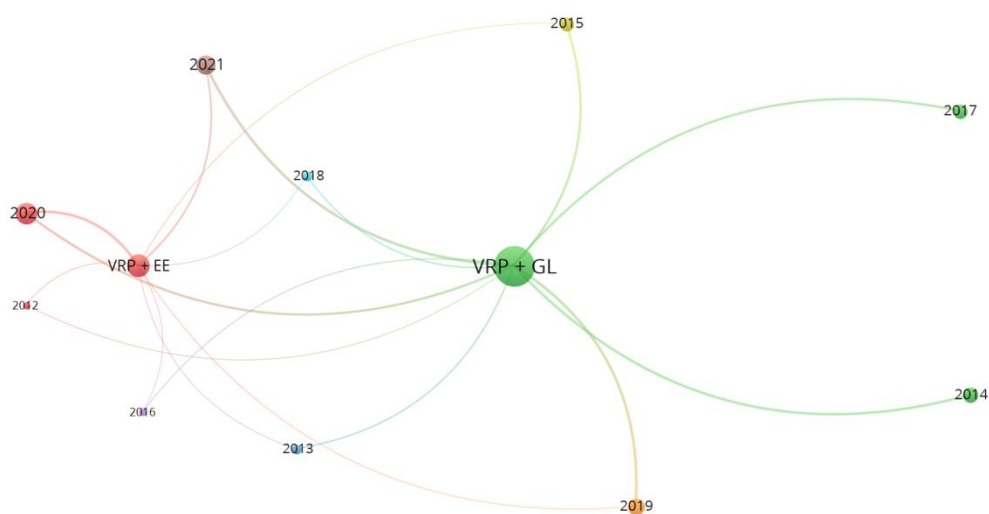
Neste capítulo, foram apresentados os resultados obtidos com a aplicação do método proposto. Em linhas gerais, a aplicação aqui descrita resultou na identificação dos principais parâmetros utilizados nas pesquisas sobre a temática *green logistics* e que, juntamente com as características do TUC e do meio urbano, foram considerados para a estruturação da Matriz de Riscos de Emissões e Trechos Críticos no TUC proposta neste trabalho.

### 4.1 Pesquisas sobre o *green logistics* no transporte

O principal objetivo desta etapa é, com o levantamento das pesquisas sobre as temáticas, identificar os parâmetros considerados nos estudos e suas correlações, sendo este o primeiro objetivo específico deste trabalho de pesquisa. O levantamento desses parâmetros foi um insumo importante para as etapas seguintes da pesquisa.

Ao serem analisados os artigos de cada grupo, foram selecionadas 86 publicações distintas, baseada nos parâmetros comentados anteriormente. A distribuição destas publicações nos anos é observada na Figura 8, e as publicações por grupo de artigos pode ser observada na Figura 9.

Figura 8 - Proporção de publicações dos temas por ano



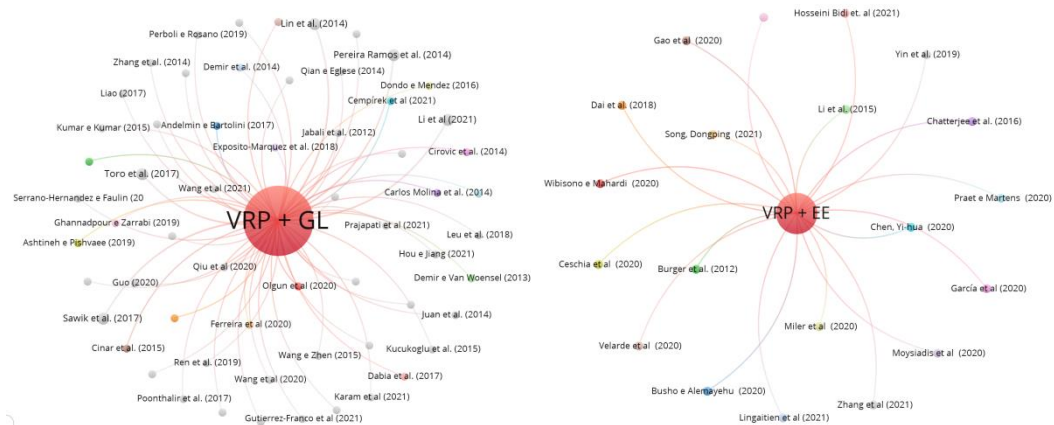
Fonte: elaborado pela autora.



Na análise da Figura 8, há uma quantidade crescente de pesquisas voltadas ao VRP+GL a partir de 2012, refletindo o início da abordagem ambiental nos problemas de roteirização veicular. Este tipo de abordagem tornou-se mais crescente em 2020 a 2021, período em que as questões ambientais deixaram de ser uma análise secundária e passaram a ser o objetivo principal dos problemas de roteirização.

Na pesquisa do tema VRP+EE, observa-se pesquisas pontuais de 2010 a 2019, apresentando quantidades menores de publicações quando comparado ao outro tema de pesquisa. Em 2020 e 2021, este grupo apresentou maior quantidade de publicações, que pode ser explicado pelo aumento das pesquisas voltadas à temática ambiental nos transportes, visto que a eficiência energética tem relação direta com as questões ambientais na rota.

Figura 9 - Publicações resultantes da pesquisa por grupo



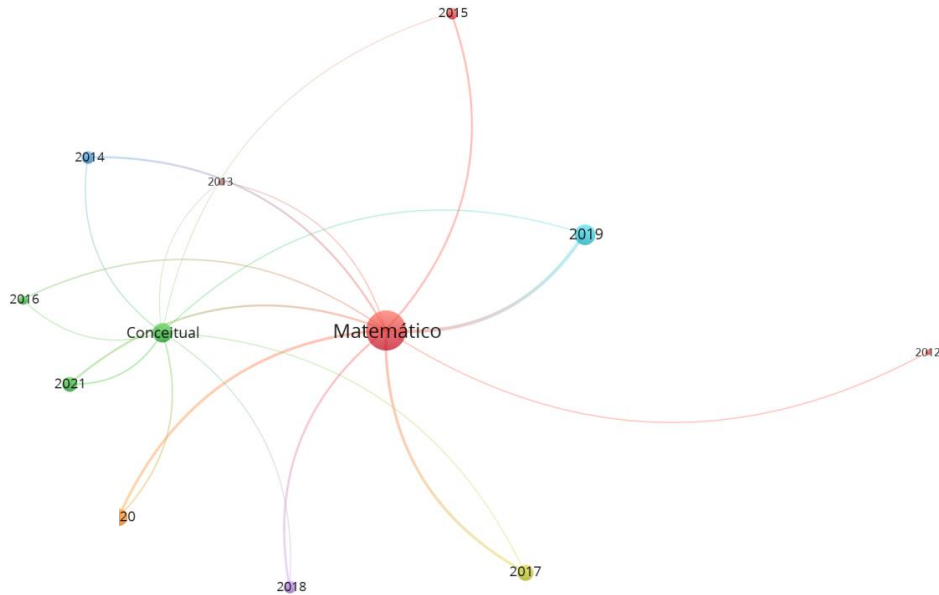
Fonte: elaborado pela autora.

Para melhor detalhamento e compreensão dos parâmetros e objetos das pesquisas, a primeira observação realizada nas publicações foi sobre o tipo de modelo proposto nos trabalhos selecionados. Para isso, buscou-se uma separação inicial das publicações em dois grupos, segundo os modelos propostos nos trabalhos: (i) *modelos matemáticos*, aqueles que trazem funções ou equações matemáticas em sua aplicação; e (ii) *modelos conceituais*, os que trazem formação de conceitos e/ou métodos como contribuição da pesquisa.

Os resultados do detalhamento podem ser observados na Figura 10, que reflete a quantidade proporcional de publicações por tipo de modelo ao longo dos anos pesquisados, e na Figura 11, que traz as publicações pesquisadas por autor para cada tipo de modelo. Esse detalhamento se mostra importante como parte inicial da análise e entendimento dos estudos e

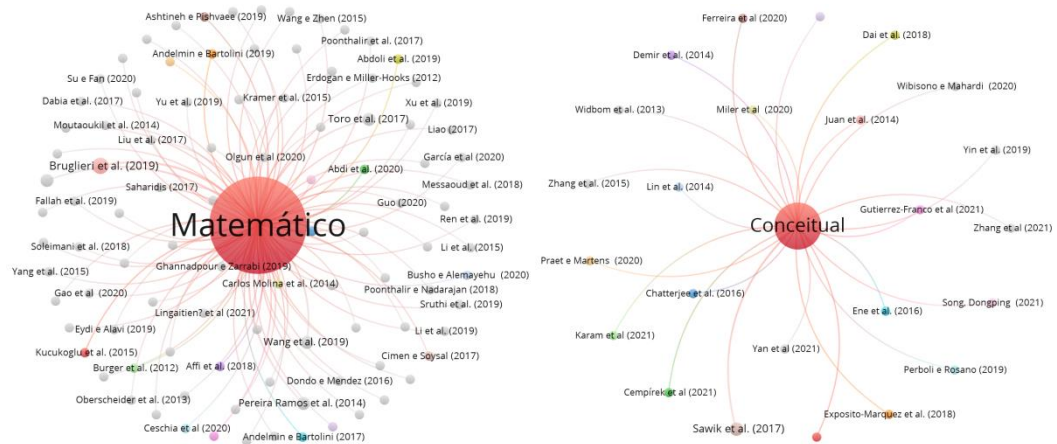
pesquisas voltadas à *green logistics* e transporte. A lista completa das pesquisas por tipo de modelo está disponível no Apêndice A.

Figura 10 - Proporção de publicações por tipo de modelo nos anos



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 11 - Publicações resultantes da pesquisa por tipo de modelo



Fonte: elaborado pela autora.

Os resultados da pesquisa apontam que, das 86 publicações analisadas, 29% trazem o conceito de VRP através de modelos conceituais e 71% trazem o VRP através de modelos matemáticos.

Os 29% que abordam modelos conceituais correspondem a 25 artigos. Destes, nove seguem a aplicação do modelo através de estudos de caso, com aplicações de modelos de roteirização às particularidades das cidades analisadas; sete utilizam o modelo de

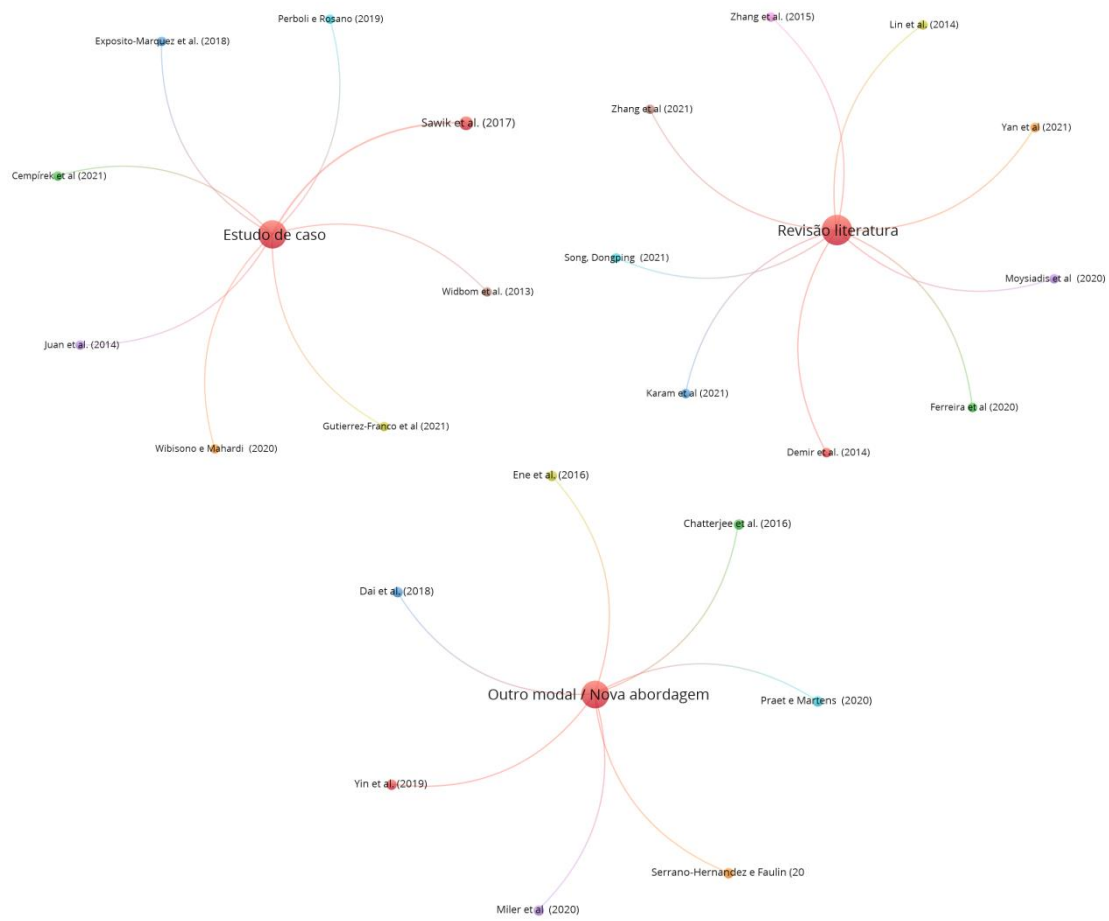
roteirização VRP aplicado a outros modos, como o ferroviário e o de drones, ou seguem nova abordagem na aplicação, como combinações de modelos de roteirização, originando modelos híbridos de análise; e nove trazem revisões da literatura sobre o tema, apontando a evolução das pesquisas segundo critérios específicos.

Dentre as aplicações dos estudos de caso, parte está voltada à otimização das rotas de entregas de mercadorias ou coletas de resíduos, com possibilidade de rastreamento em aplicativo (WIDBOM et al., 2013; SAWIK; FAULIN; PÉREZ-BERNABEU, 2017; SAWIK; FAULIN; PÉREZ-BERNABEU, 2017; EXPOSITO-MARQUEZ et al., 2018), e parte à simulações em sistemas de roteirização, voltadas à redução de custos de transporte, tempo e emissões, comparando cenários como apoio à tomada de decisões (JUAN et al., 2014; PERBOLI; ROSANO, 2019; WIBISONO; MAHARDI, 2020; CEMPÍREK et al., 2021; GUTIERREZ-FRANCO; MEJIA-ARGUETA; RABELO, 2021).

Sobre os modelos conceituais que trazem aplicações baseadas em outros modos, foram pesquisadas aplicações voltadas ao transporte público, ferroviário e veículos aéreos não tripulados, com objetivos de roteirização voltados à minimização de energia consumida, otimização no transporte de mercadorias e programação do tempo de percurso (CHATTERJEE; GREULICH; EDELKAMP, 2016; YIN et al., 2019; DAI et al., 2018). Das que sugerem novas abordagens de aplicação, foram encontradas as abordagens voltadas a implantação de sistemas telemáticos, modelo de previsão de localização de entregas, algoritmo híbrido para roteamento de veículos verdes e aplicação de impostos e pedágios verdes nos custos de roteirização (ENE et al., 2016; SERRANO-HERNANDEZ; FAULIN, 2019; MILER et al., 2020; PRAET; MARTENS, 2020).

Das pesquisas que abordaram as revisões da literatura, foram contemplam revisões voltadas à cadeia de suprimentos e colaboração no transporte de mercadorias, consumo de energia nos drones de entrega, robótica e otimizações voltadas ao roteamento verde (DEMIR; BEKTAS; LAPORTE, 2014; LIN et al., 2014; ZHANG et al., 2015; MOYSIADIS et al., 2020; FERREIRA; STEINER; CANCELIERI JUNIOR, 2020; KARAM; REINAU; ØSTERGAARD, 2021; YAN; SONG; LEE, 2021; SONG, 2021; ZHANG et al., 2021). A Figura 12 mostra as publicações por autor relacionadas aos modelos conceituais, separadas por abordagens.

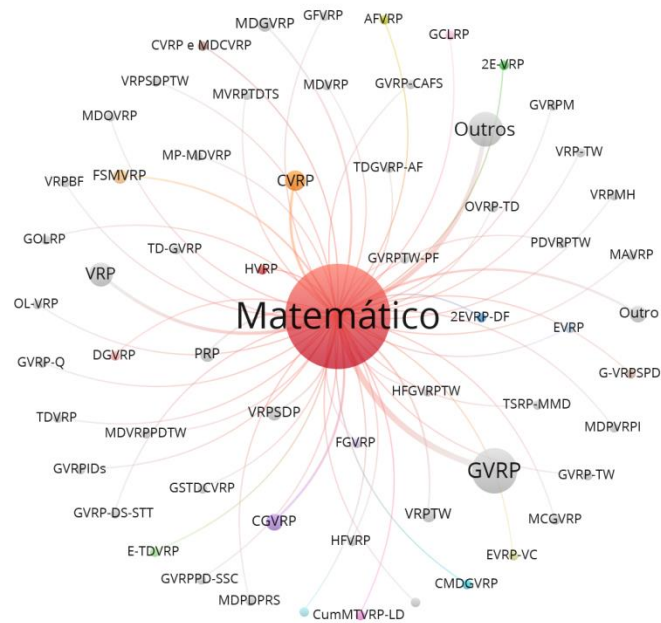
Figura 12 - Publicações resultantes dos modelos conceituais e suas principais abordagens



Fonte: elaborado pela autora.

Os modelos matemáticos, que correspondem a 71% dos artigos, somam ao todo 61 publicações. A Figura 13 mostra a variedade de modelos matemáticos abordados na literatura. A lista completa dos tipos de modelos matemáticos está disponível no Apêndice B.

Figura 13 - Tipos de modelos matemáticos com abordagens VRP



Fonte: elaborado pela autora.

Com o intuito de detalhar as características específicas dos modelos matemáticos identificados, foram realizadas as seguintes estratificações dos dados:

- Por finalidade das funções objetivo;
- Por dados e sistema de aplicação utilizado (reais ou hipotéticos; softwares utilizados na simulação);
- Por parâmetros considerados nos modelos.

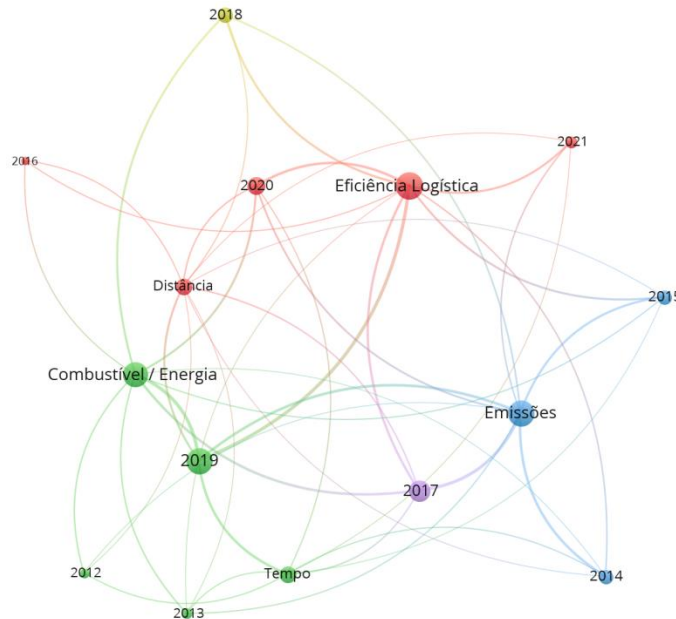
#### 4.1.1 Finalidade da função objetivo

Na estratificação de dados por finalidade das funções objetivo, foram identificados cinco objetivos principais: (i) minimização das emissões de poluentes; (ii) minimização do consumo de combustível ou energia; (iii) minimização do tempo; (iv) minimização da distância; e (v) maximização da eficiência logística.

A principal diferença entre os objetivos identificados são os parâmetros utilizados nas funções. Por exemplo, as funções objetivas que têm como foco a minimização das emissões de poluentes trazem parâmetros relacionados aos fatores de emissão e poluição ambiental, enquanto as funções com foco na minimização do consumo de combustível ou energia trazem parâmetros relacionados à mecânica do veículo e capacidade de carga.

As com foco na minimização da distância e do tempo trazem parâmetros diretos relacionados a esses dois fatores, e as com foco na maximização da eficiência logística trazem parâmetros relacionados a mão de obra, localização de depósitos, custos operacionais, nível de serviço, dentre outros. A Figura 14 reflete a quantidade proporcional de publicações por finalidade da função objetivo, ao longo dos anos de pesquisa.

Figura 14 - Proporção de publicações por finalidade da função objetivo nos anos



Fonte: elaborado pela autora.

Na análise da Figura 14, vê-se que a função objetivo com finalidade relacionada à emissões, combustível e eficiência logística apresentam maior quantidade de publicações, principalmente nos últimos anos de pesquisa, quando relacionados às finalidades de tempo e distância. Isto reforça a busca por minimização dos efeitos ambientais oriundos dos transportes através do avanço das pesquisas voltadas à otimização dos problemas de roteirização veicular.

Os objetivos analisados se tornaram mais presentes na literatura nos últimos cinco anos de pesquisa. Entre 2017 e 2021, 77% dos artigos analisados contemplaram a minimização do consumo de combustível como objetivo principal; 71% contemplaram a minimização da distância nas rotas; 79% consideraram a maximização da eficiência logística, 65% a minimização das emissões e 68% a minimização do tempo de percurso.

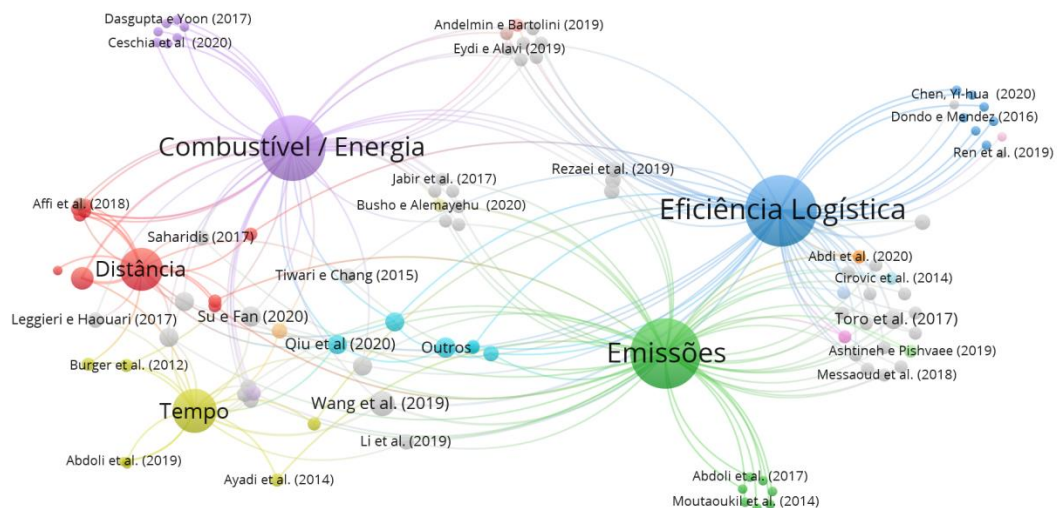
Dentre estes, 2017 e 2019 foram os anos com maior presença de publicações sobre o tema VRP, com foco principal na minimização do consumo de combustível (51%) e redução do tempo (55%). Emissões, distância e eficiência logística apresentaram 43%, 43% e

40% das publicações nestes anos, respectivamente. A redução do tempo é uma das principais abordagens dos estudos de roteirização quando analisado o conceito de menor rota, e tem relação direta com o viés ambiental quando se relaciona o tempo de exposição do fator poluente, sendo justificada a forte presença deste objetivo de pesquisa nas publicações analisadas.

O consumo de combustível é um objetivo comum tanto quando se analisa os impactos ambientais (*green logistics*), devido a relação direta com as emissões em transportes através da queima de combustíveis, quanto na busca da eficiência energética no transporte, através da relação entre consumo energia e capacidade de carregamento. Emissões tem relação direta com o *green logistics* de forma clara, porém requer maior especificidade dos parâmetros e a necessidade, muitas vezes, de conhecimento em outras áreas de pesquisa, como fatores químicos e mecânica dos veículos. Isso pode justificar a menor presença deste objetivo nas funções matemáticas analisadas.

A distância, assim como o tempo, é uma abordagem comum nos estudos de roteirização, visto a busca pelo conceito de menor rota, comum neste tipo de pesquisa. A relação da distância com o viés ambiental está na relação direta entre a velocidade e o perfil de aceleração dos veículos com os fatores de emissão de poluentes. Eficiência logística se fez menos presente nesses anos, mas ainda com bastante relevância em relação ao horizonte de tempo analisado, devido os objetivos comuns buscados nos problemas de roteirização, como localização, tipo de transporte etc. As publicações por finalidade são detalhadas na Figura 15. A lista completa das publicações por finalidades está disponível no Apêndice C.

Figura 15 - Publicações resultantes da pesquisa por finalidade das funções objetivo



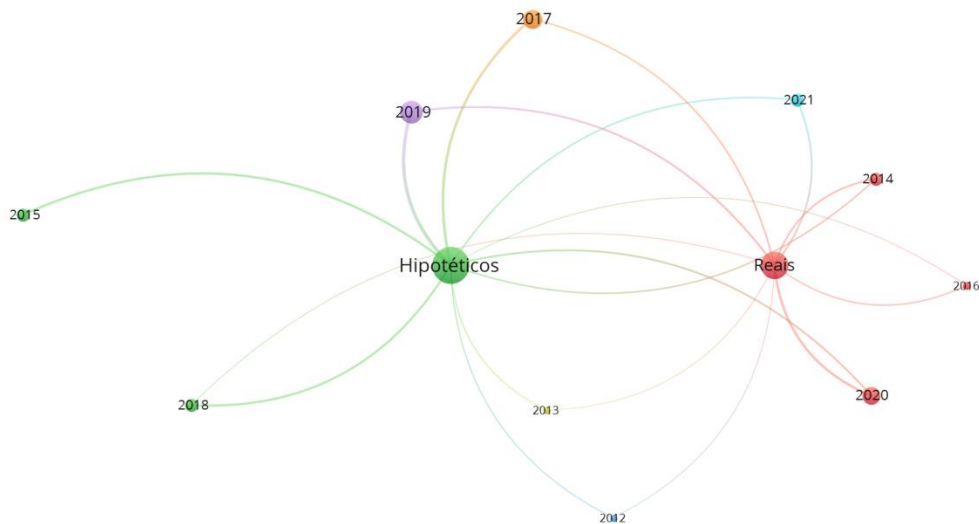
Fonte: elaborado pela autora.



#### 4.1.2 Tipo de dados e sistema de aplicação

Na estratificação por tipos de dados e sistema de aplicação das simulações VRP, foram identificados dois tipos de dados: (a) dados reais; e (b) dados hipotéticos; e, pelo menos, sete tipos diferentes de sistemas utilizados nas simulações dos dados. A Figura 16 mostra a quantidade proporcional de publicações por tipos de dados utilizados ao longo dos anos de pesquisa. As publicações que utilizam dados hipotéticos são maioria entre os artigos publicados, um total de 70 publicações, com maior presença entre os anos de 2017 e 2019, e corresponde a 65% dos trabalhos pesquisados. Os dados reais estão presentes em 35% dos artigos pesquisados, com destaque para os anos de 2019 e 2020, somando um total de 38 publicações.

Figura 16 - Publicações anuais em relação ao tipo de dados utilizado



Fonte: elaborado pela autora.

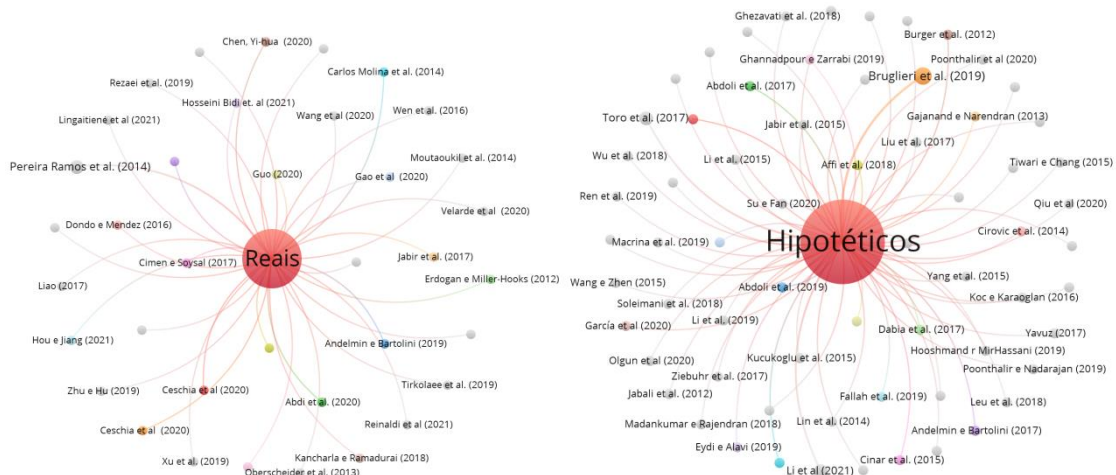
A utilização de dados reais contempla, na sua maioria, dados sobre o layout das redes de atendimento, número e tipo de veículos, bem como dados típicos de tarefas de transporte de mercadorias no ambiente urbano, como origem e destino das entregas, distância entre locais, pontos de armazenagem e tempo de viagem (GUO, 2020; WANG et al., 2020; REINALDI et al., 2021; CESCHIA; DI GASPERO; MENEGHETTI, 2020), e são utilizados nos testes dos experimentos computacionais para validação das aplicações propostas. Os dados hipotéticos são utilizados de forma genérica, na simulação de situações e condução de extensos experimentos de análise de problemas reais, por meio de estatística, resultados de pesquisa ou composições aleatórias (ZHU; FU; LI, 2021; LI; XIONG; XIE, 2021). Dados



relacionados a custos, consumo de combustível, satisfação das demandas de coleta e entrega do cliente e emissões de gases de efeito estufa são amplamente utilizados nos experimentos de forma hipotética, devido dificuldade de captura no ambiente real (OLGUN; KOÇ; ALTIPARMAK, 2021; PRAJAPATI et al., 2021).

Apesar da busca contínua em retratar a realidade da logística através da modelagem, a coleta e consolidação dos dados reais ainda é uma dificuldade presente na área de transportes e roteirização veicular, por conta do grande volume de dados, da dificuldade no rastreamento das informações, entre outras. Como medida alternativa, as pesquisas utilizam os dados hipotéticos para simular a realidade operacional, como forma de simular o modelo real de roteirização. A utilização de dados reais no processo de otimização do transporte mostra-se, portanto, uma oportunidade de pesquisa notória e relevante para a comunidade acadêmica. As publicações por tipo de dados utilizados são detalhadas na Figura 17. A lista completa das publicações por tipo de dados está disponível no Apêndice D.

Figura 17 - Publicações resultantes da pesquisa por tipos dados de aplicação

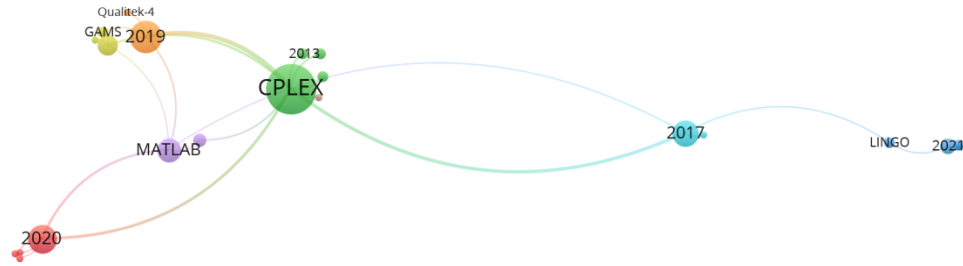


Fonte: elaborado pela autora.

Sobre o uso dos softwares de aplicação nas simulações do VRP, foi realizado o levantamento dos mais utilizados nas pesquisas. A Figura 18 mostra a quantidade proporcional de publicações ao longo dos anos.

O sistema que possui uso mais comum é o CPLEX® (IBM ILOG), um pacote de software de otimização, seguido do MATLAB® (MATrix LABoratory), software voltado para o cálculo numérico.

Figura 18 - Proporção de publicações por softwares de simulação nos anos



Fonte: elaborado pela autora.

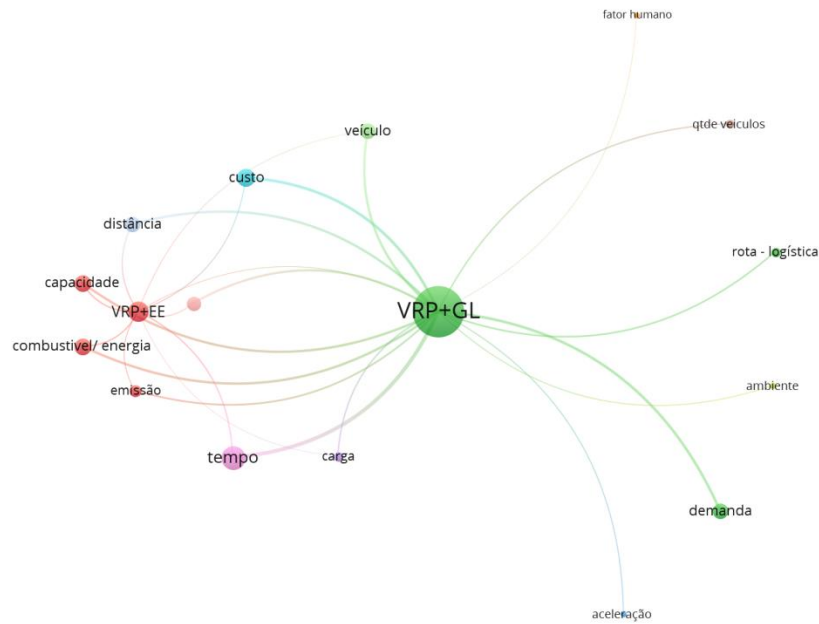
O uso de softwares e sistemas está presente em 51% das publicações que apresentaram uso de função matemática, com maior presença nas publicações dos anos de 2017, 2019 e 2020. A maior utilização de softwares e sistemas nas pesquisas dos últimos cinco anos, mostra que este tipo de ferramenta de aplicação se tornou mais adaptável aos problemas de transporte nos últimos anos, possivelmente relacionada à evolução de tecnologias no desenvolvimento destes sistemas.

No entanto, quando analisamos as 49% das publicações que não utilizam este tipo de aplicação, é levantada a hipótese de que, mesmo com a possibilidade de uso de sistemas para análise dos problemas de VRP, a especificidade das aplicações em transportes ainda é um fator limitante ao uso dos sistemas disponíveis no mercado, sendo necessário, muitas vezes, outro meio de aplicação, como a programação matemática.

#### 4.1.3 Parâmetros dos modelos

A última estratificação de dados proposta é relacionada aos parâmetros utilizados nos modelos matemáticos. A Figura 19 mostra a quantidade proporcional por temas de pesquisa. No grupo de artigos VRP+GL, os parâmetros mais utilizados nos modelos matemáticos foram: tempo (20%, 69 artigos), custo (11%, 39 artigos) e demanda (10%, 35 artigos), correspondendo juntos a 42% do total de parâmetros deste grupo de pesquisa. Os parâmetros relacionados às questões ambientais, combustível (9%, 29 artigos) e emissões (4%, 15 artigos), representam 13% dos parâmetros do grupo.

Figura 19 - Parâmetros por temas de pesquisa.



Fonte: elaborado pela autora.

O parâmetro “tempo” é comumente utilizado nos modelos de roteirização veicular de transportes visto a sua concepção, quando se busca encontrar a melhor rota baseada no menor tempo de percurso. Este é um parâmetro chave nos modelos de roteirização, visto sua relação direta com outros parâmetros, como “custo de transporte” e “demanda”.

O “custo de transporte” é um dos parâmetros mais utilizados nas pesquisas, visto estar relacionado diretamente aos problemas de roteirização veicular, principalmente quando se busca a eficiência e a competitividade no transporte. A eficiência, relação entre utilização e capacidade, reflete em custos de transporte quando se busca a utilização ótima da capacidade de carga nos veículos na rota, refletindo na redução do custo unitário do transporte e gerando maior competitividade na roteirização. A “demanda” é o principal motivo da necessidade de transporte, o parâmetro que puxa o fluxo nas roteirizações, o que justifica sua forte utilização nos modelos matemáticos pesquisados.

“Combustível” e “emissões” estão diretamente ligados aos fatores ambientais, visto suas relações de causa-efeito. A emissão no transporte é efeito direto do consumo de combustível veicular, e a busca pela melhor rota, objetivo principal dos problemas de roteirização, tem efeito direto nesses fatores. Apesar do uso da palavra-chave *green logistics* nas pesquisas deste grupo, os parâmetros relacionados aos fatores ambientais foram pouco aplicados nos modelos matemáticos, sendo o tema mais discutido de forma conceitual, na contextualização dos problemas.

No grupo de artigos VRP+EE, os parâmetros mais utilizados nos modelos matemáticos foram: capacidade (19%, 10 artigos), tempo (17%, 9 artigos) e combustível (17%, 9 artigos), correspondendo juntos a 53% do total de parâmetros deste grupo de pesquisa. Distância e velocidade aparecem na sequência, com 13% e 11% respectivamente.

Os parâmetros “capacidade” e “combustível” estão diretamente relacionados ao conceito de eficiência energética, palavra-chave utilizada na pesquisa, quando se busca a melhor relação entre capacidade ótima transportada e consumo energético na roteirização do transporte. Esta forte relação justifica a maior quantidade de utilização destes parâmetros no grupo de pesquisa.

O parâmetro “tempo”, como já comentado, é comumente utilizado nos modelos de roteirização veicular de transportes e é um parâmetro chave nos modelos de roteirização, visto sua relação direta com outros parâmetros. No caso deste grupo de pesquisa, o “tempo” tem relação direta com a eficiência energética, visto que a rota de menor tempo garante menor consumo de combustível e maior eficiência energética para os veículos que utilizam sua capacidade ótima de carga. Os parâmetros “distância” e “velocidade” também apresentam relação direta com a eficiência energética, assim como “tempo”, quando a rota de menor distância e a operação em velocidade ótima garante menor consumo de combustível. Esses parâmetros relacionados à capacidade ideal de carga transportada garantem o resultado direto na eficiência energética.

Ao realizar a comparação entre os dois temas de pesquisa VRP+GL e VRP+EE, o único parâmetro comum entre os dois temas foi “tempo”. Isso se explica pelo fato do “tempo” estar relacionado tanto ao conceito do VRP quanto ao conceito das palavras-chave complementares de ambos os temas – *green logistics* e eficiência energética.

Os demais parâmetros do grupo VRP+GL, “custo” e “demanda”, não são utilizados no grupo VRP+EE pelo fato destes parâmetros não estarem diretamente relacionados à eficiência energética no transporte, mas sim à dinâmica operacional da roteirização. Da mesma forma, “capacidade” foi amplamente utilizado no grupo VRP+EE, mas não compôs na listagem de parâmetros do grupo VRP+GL, devido estar mais relacionado à eficiência energética do transporte e menos relacionado à roteirização. Dessa forma, as diferenças apresentadas se mostram coerentes dentro do esperado de parâmetros para cada grupo de pesquisa.

Assim, pela pesquisa levantada, foi possível responder à primeira questão de pesquisa: *Como os estudos voltados às temáticas do green logistics no transporte vêm sendo desenvolvidos ao longo dos últimos anos de pesquisa?*

Através da análise detalhada dos temas de pesquisa apresentados, considerando as publicações que abordam a temática de roteirização veicular relacionada ao *green logistics* e eficiência energética, foi possível entender o mais a fundo as características das pesquisas que abordaram estas temáticas ao longo dos anos e as principais oportunidades de pesquisas existentes em cada grupo de pesquisa. A utilização dos parâmetros ambientais nos modelos VRP+GL se mostra uma oportunidade importante, visto que a relação entre o conceito ambiental e os parâmetros encontrados não apresentarem o comportamento esperado sobre esta temática, visto que a maioria dos estudos ainda utilizam parâmetros operacionais nos modelos de transporte.

A pesquisa sobre as características e parâmetros utilizados nos modelos VRP+GL e VRP+EE contribuiu para a formação de uma base de conhecimento sobre o desenvolvimento das temáticas nos últimos anos e o entendimento de suas relações. A próxima etapa deste trabalho fará o levantamento das características do TUC e do meio urbano, associando a roteirização desse transporte às emissões, com o objetivo de definir um método para classificação dos trechos urbanos críticos sob o olhar de emissões ambientais.

#### **4.2 Características do TUC e do meio urbano associadas a Emissões**

O TUC possui muitas características próprias de operação, e o seu desempenho e externalidades estão diretamente relacionados às características do meio urbano. Com o aquecimento dos mercados e o aumento das entregas de última milha, é preciso a busca pela eficiência energética na roteirização do TUC, com foco na minimização dos impactos ambientais desta roteirização. O sistema de atividades das cidades influencia e é influenciado pelo comportamento do consumidor, que gera fluxos de carga através do sistema de transportes; esse é um processo repetitivo, cíclico e dinâmico, que impacta o ambiente urbano para diversos fins (CASSIANO; BERTONCINI; OLIVEIRA, 2021).

O fluxo de entregas das mercadorias, motivado pelos desejos e necessidades da população, é essencial para o funcionamento das economias urbanas e representam um forte instrumento de desenvolvimento social no contexto das cidades; no entanto, traz consigo um grave problema em termos de externalidades negativas decorrentes do TUC, como o aumento dos congestionamentos de tráfego, a poluição ambiental e a redução da qualidade de vida das pessoas que moram e visitam as cidades, sendo responsável por elevar os custos econômicos, sociais e ambientais do transporte (PADDEU et al.,2014; RAEESI; ZOGRAFOS, 2019, CASSIANO; BERTONCINI; OLIVEIRA, 2021).

Portanto, esta etapa da pesquisa tem como objetivo mapear as características do TUC, relacionando-as às características do meio urbano, e identificar a relação entre estas e a geração de emissões causadas por este tipo de transporte. Para o levantamento destas características do TUC e do meio urbano, foi realizada uma pesquisa da literatura conforme descrita no método de pesquisa. Foram encontradas, no total, 16 publicações relacionadas à temática entre os anos de 2010 e 2021. O detalhamento da pesquisa é apresentado no tópico seguinte.

#### ***4.2.1 Levantamento das características do TUC e as emissões***

As principais características do TUC relacionadas às emissões, encontradas nas pesquisas sobre a temática, são apresentadas a seguir.

##### ***4.2.1.1 Volume de carga e características do veículo:***

As emissões, para serem mensuradas de forma realista, devem considerar a influência das condições de tráfego variáveis, a carga útil e certas características físicas e mecânicas do veículo sobre o nível de consumo de combustível de um caminhão; conforme o tamanho da carga ou a distância de viagem aumentam, a eficiência relativa do transporte de carga aumenta, minimizando as emissões (RAEESI; ZOGRAFOS, 2019; FIGLIOZZI; SAENZ; FAULIN, 2020).

##### ***4.2.1.2 Tipo de energia/combustível utilizada:***

A distância percorridas pelo veículo, o tipo de combustível e o tipo de motor têm um grande impacto na quantidade e no tipo de emissões emitidas por um veículo comercial; os veículos elétricos à bateria são uma solução potencial para que o setor de transporte reduza o impacto do carbono, apesar de não estar claro se os caminhões movidos a bateria atendem aos requisitos práticos, especialmente em termos de autonomia (FIGLIOZZI; SAENZ; FAULIN, 2020; MARTINS-TURNER et al., 2020).

Políticas de apoio para veículos elétricos (VEs) fornecem fortes incentivos para os VEs no transporte urbano de carga, que é responsável por uma quantidade significativa de CO<sub>2</sub> e emissões locais de poluentes; essas políticas associadas ao replanejamento da rede logística, introduzindo hubs adicionais entre os depósitos e as lojas, fornecendo variantes

adicionais de veículos com maior capacidade de bateria, são opções viáveis para este tipo de transporte, embora isso leve a uma redução provável da carga útil transportada (MIRHEDAYATIAN; YAN, 2018; MARTINS-TURNER et al., 2020).

#### *4.2.1.3 Idling:*

Idling é o estado em que o motor gira fora de sua faixa normal, com o veículo parado; o consumo de combustível neste estado é muito pequeno, mas não desprezível, e o mesmo pode ser dito das emissões associadas a este estado (MUÑUZURI et al., 2018). Se os veículos ficarem ociosos em uma alta porcentagem do tempo de serviço do cliente, é possível que o idling gere mais emissões do que comparado à distância real percorrida pelo veículo; portanto, de uma perspectiva de política pública, reduzir o idling desnecessário pode resultar em altos retornos que podem ser equivalentes à introdução de veículos mais limpos (FIGLIOZZI; SAENZ; FAULIN, 2020).

No tópico a seguir, é apresentado o detalhamento da pesquisa sobre as características do meio urbano que podem influenciar na incidência de emissões.

### ***4.2.2 As características do meio urbano e as emissões***

#### *4.2.2.1 Layout das cidades - distâncias:*

O projeto urbano pode reduzir significativamente as emissões por cliente, densificando as áreas de entrega, reduzindo os fatores de circuito e permitindo depósitos próximos ou dentro das áreas de entrega; dessa forma, o layout da cidade deve ser considerado no processo de decisão da distribuição de frete, especialmente para cidades em que o centro da cidade está localizado no meio da cidade (FIGLIOZZI; SAENZ; FAULIN, 2020; ANDERLUH et al., 2021).

#### *4.2.2.2 Topologia das vias urbanas:*

As características geográficas urbanas e requisitos de direção regionais têm impactos importantes nas velocidades de direção; para cada característica de saída (ou seja, extensão da jornada, custo, duração, emissões de carbono) diferentes veículos têm um

desempenho diferente dependendo do conhecimento da rede (WALKER; MANSON, 2014; MIRHEDAYATIAN; YAN, 2018).

#### *4.2.2.3 Uso do solo no entorno:*

É crescente a preocupação que o uso de veículos trazem para o meio urbano, principalmente em relação aos efeitos ambientais que causam, sendo que vários estudos atribuem as mudanças nos níveis de poluição do ar ao volume de tráfego (SUN; WILMOT; KASTURI, 1998; YUVAL; FLICSTEIN; BRODAY, 2008). O volume de tráfego está relacionado ao padrão de viagens, que é influenciado pelas variações no desenvolvimento do uso da terra, visto que a demanda de transporte deriva da necessidade das pessoas de participar de diversas atividades (SUN; WILMOT; KASTURI, 1998). Assim, estudos tem argumentado se as emissões relacionadas com o transporte podem ser reduzidas pelo ordenamento do território e política de uso do solo, uma vez que o padrão de uso do solo, que afeta a forma e a configuração urbana, é a origem dos comportamentos de viagens e tem uma estreita interação com o sistema de transporte (ZHANG; GAJPAL; APPADOO, 2018).

#### *4.2.2.4 Rotas alternativas:*

A consideração de um único caminho rodoviário determinado a priori para viajar entre visitas de caminhão consecutivas não é possível, pois na prática vários caminhos alternativos podem se tornar ótimos em termos de consumo de combustível entre um determinado par origem-destino no gráfico rodoviário subjacente, dependendo do tempo de partida do nó de origem, da carga no caminhão e do tipo de caminhão que será despachado (RAEESI; ZOGRAFOS, 2019).

#### *4.2.2.5 Horário de Tráfego:*

O aumento do congestionamento durante os períodos de pico da manhã e da tarde em áreas urbanas aumentam consideravelmente os custos de logística; as entregas fora do horário de expediente com menor tráfego consumirão menos combustível ou emitirão menos poluição por quilômetro do que as entregas durante as horas de pico (FIGLIOZZI, 2011; MIRHEDAYATIAN; YAN, 2018).



#### 4.2.2.6 Congestionamentos:

O TUC contribui para o ruído e congestionamento, que podem ser resumidos como perturbações que afetam negativamente as pessoas que vivem e trabalham perto de ruas muito movimentadas, afetados por vários fatores, como a duração do período congestionado, a porcentagem do tempo de viagem na rodovia em condições congestionadas e a diferença entre o fluxo livre, velocidades ótimas e congestionadas, impactos bastante significativos e difíceis de prever, principalmente quando relacionados às emissões que podem causar (FIGLIOZZI, 2011; ANDERLUH et al., 2021).

#### 4.2.2.7 Centros de Consolidação Urbana (CCU)

Os centros de consolidação de carga urbana (CCUs) podem fornecer uma contribuição significativa para reduzir os impactos negativos do transporte de carga para os centros das cidades, ao mesmo tempo que proporcionam uma experiência logística mais integrada e de maior valor para seus usuários; a distância, o tempo gasto pelos veículos de carga durante a circulação nas estradas, as emissões de CO<sub>2</sub> e o consumo de combustível são bastante reduzidos e diminuem também o congestionamento, o ruído e a perturbação da população (PADDEU et al., 2014; LETNIK et al., 2018).

No entanto, os locais de depósito e as velocidades de viagem podem ter consequências negativas não intencionais em termos de emissões de CO<sub>2</sub>; o estabelecimento de instalações de transporte de carga e eficiência logística em áreas urbanas tende a criar encargos substanciais para a saúde pública, devido à alta concentração de pessoas e da sua exposição às emissões do transporte, que vivem a poucos metros das rotas de transporte (FIGLIOZZI, 2011; OLAPIRIYAKUL; NGUYEN, 2019).

#### 4.2.2.8 Economia de escala

Existem importantes economias de escala, quando à medida que mais clientes são atendidos em uma determinada área, as emissões por cliente diminuem. Os elementos do desenho urbano, como área de entrega densa, tamanho e peso de entrega relativamente pequeno por cliente, fator de circuito reduzido e depósitos locais próximos ou dentro das áreas de entrega, reduzem as emissões e aumentam a viabilidade econômica dos veículos que circulam nas áreas urbanas (FIGLIOZZI; SAENZ; FAULIN, 2020).

#### *4.2.2.9 Zonas de Emissão Zero (ZEZ)*

Os quilômetros percorridos por veículos na região mais ampla aumentam com a introdução do UCC e, ao mesmo tempo, a eficiência das entregas também aumenta, quando se torna possível combinar mais remessas em um tour de ida e volta através dos UCCs; dessa forma, as emissões são reduzidas na ZEZ, mas os quilômetros percorridos pelo veículo fora da ZEZ aumenta, sendo compensado pelo aumento na eficiência logística, quando observa-se mais peso distribuído por viagem e uma diminuição no número de viagens vazias em execução (DE BOK; TAVASSZY; THOEN, 2020).

#### *4.2.2.10 Aplicação da Tarifação:*

A tarifação se mostra eficaz no controle de emissões no meio urbano quando, pelo controle do fator de carga implementado através da tarifação rodoviária de frete urbano, tem-se o potencial de melhorar os fatores de carga diários médios e reduzir as emissões em comparação com nenhum esquema implementado (TEO; TANIGUCHI; QURESHI, 2014).

#### *4.2.2.11 Busca por estacionamento:*

Em áreas urbanas, as emissões relacionadas à busca por estacionamento ou à espera durante o estacionamento podem ser bastante significativas; o estacionamento é um fator chave em áreas urbanas densas, quando veículos convencionais são utilizados (FIGLIOZZI; SAENZ; FAULIN, 2020).

No tópico a seguir, é apresentada a proposta de modelo de matriz de riscos de emissões e trechos críticos na roteirização do TUC.

### **4.3 Modelo de Matriz de Riscos de Emissões e Trechos Críticos na roteirização do TUC**

Esta etapa tem como objetivo propor um modelo conceitual de matriz de riscos de emissões para a classificação dos trechos urbanos segundo sua criticidade na roteirização do TUC no meio urbano. Para a estruturação da matriz de riscos, foram utilizadas as características levantadas nos itens anteriores, referentes ao risco de emissões do TUC e meio

urbano. Nos tópicos a seguir, foram apresentados os critérios utilizados para a estruturação conceitual da matriz de riscos, a análise de riscos associados à roteirização do TUC e a avaliação da criticidade dos riscos de emissões do TUC.

#### **4.3.1 Estruturação conceitual da matriz de riscos**

Nesta etapa, os elementos principais da matriz de riscos foram mapeados e servem como base para a estruturação análise dos riscos de emissões associadas às características do TUC e do meio urbano na roteirização. Por meio da matriz, foi possível a caracterização dos trechos em relação à criticidade das emissões, por meio da análise da probabilidade e impacto da presença das características levantadas nas etapas anteriores desta pesquisa.

Segundo Kiba-Janiak (2016), a probabilidade pode ser definida como a possibilidade de um determinado fator ocorrer em um determinado momento, e o impacto como a força de um determinado fator de risco na implementação de uma medida. Ambos podem ser definidos tanto de forma qualitativa (quase certo, possível, raro, por exemplo) como quantitativa (uma probabilidade percentual ou frequência).

Neste trabalho, os fatores foram definidos por mim de forma qualitativa, visto a característica dos fatores pesquisados. Os critérios são descritos conforme Tabelas 3 e 4 respectivamente.

Tabela 3 - Probabilidade relacionada ao risco de trechos críticos na rota do TUC

<b>Probabilidade</b>	<b>Descrição</b>
Quase certo	Muito alta probabilidade de geração de emissões pelo TUC
Provável	Alta probabilidade de geração de emissões pelo TUC
Possível	Probabilidade mediana de geração de emissões pelo TUC
Improvável	Baixa probabilidade de geração de emissões pelo TUC
Raro	Muito baixa probabilidade de geração de emissões pelo TUC

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 4 - Impactos relacionado ao risco de emissões na rota do TUC

<b>Impacto</b>	<b>Descrição</b>
Forte	Impacto muito significativo relacionado à geração de emissões pelo TUC
Alto	Impacto significativo relacionado à geração de emissões pelo TUC
Médio	Impacto mediano relacionado à geração de emissões pelo TUC
Baixo	Impacto pouco significativo relacionado à geração de emissões pelo TUC
Insignificante	Impacto não significativo relacionado à geração de emissões pelo TUC

Fonte: elaborado pela autora.

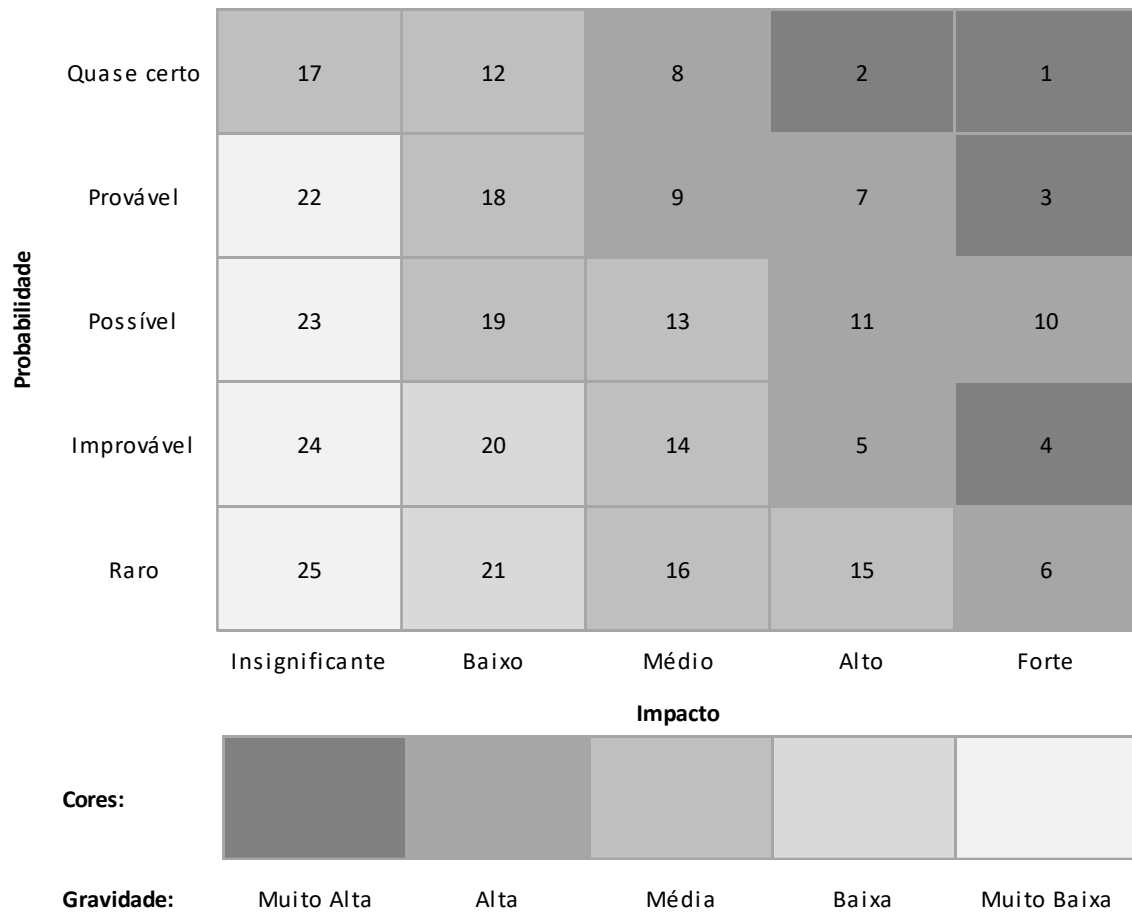
Segundo afirma Hsu, Huang, Tseng (2016), numa matriz de risco tradicional, cada par da categoria de probabilidade e impacto pode ser atribuído a uma gravidade de risco diferente. Se houver  $m$  categorias de probabilidade e  $n$  categorias de impacto, pode-se discriminar  $m \times n$  categorias de gravidade de risco distintas e diferentes. Assim, pela combinação do valor da probabilidade e do impacto, tem-se o valor da gravidade do risco que, ao ser ordenado, determina a classificação dos riscos (Tabela 5) dentro da matriz de riscos (Figura 20).

Tabela 5 - Gravidade e classificação dos riscos

<b>Probabilidade</b>	<b>Impacto</b>	<b>Gravidade</b>	<b>Classificação</b>
Quase certo	Forte	Muito Alta (MA)	1
Quase certo	Alta	Muito Alta (MA)	2
Provável	Forte	Muito Alta (MA)	3
Improvável	Forte	Muito Alta (MA)	4
Improvável	Alta	Alta (AL)	5
Raro	Forte	Alta (AL)	6
Provável	Alta	Alta (AL)	7
Quase certo	Médio	Alta (AL)	8
Provável	Médio	Alta (AL)	9
Possível	Forte	Alta (AL)	10
Possível	Alta	Alta (AL)	11
Quase certo	Baixo	Média (MD)	12
Possível	Médio	Média (MD)	13
Improvável	Médio	Média (MD)	14
Raro	Alta	Média (MD)	15
Raro	Médio	Média (MD)	16
Quase certo	Insignificante	Média (MD)	17
Provável	Baixo	Média (MD)	18
Possível	Baixo	Média (MD)	19
Improvável	Baixo	Baixa (BX)	20
Raro	Baixo	Baixa (BX)	21
Provável	Insignificante	Muito baixa (MB)	22
Possível	Insignificante	Muito baixa (MB)	23
Improvável	Insignificante	Muito baixa (MB)	24
Raro	Insignificante	Muito baixa (MB)	25

Fonte: adaptado de Kiba-Janiak, 2016.

Figura 20 - Matriz de riscos – probabilidade, impactos e gravidade



Fonte: elaborado pela autora.

Pela classificação dos riscos, é possível determinar quais ações são necessárias para controlá-los ou mitigá-los. Segundo Kiba-Janiak (2016), os fatores de risco para os quais os valores de gravidade são apontados como “muito alta” ou “alta” requerem ações corretivas e monitoramento constantes; os fatores de risco para os valores de gravidade “média” requerem ações corretivas opcionais, mas com monitoramento constante, os outros fatores de risco “baixa” ou “muito baixa” não requerem nenhuma ação corretiva, somente monitoramento esporádico.

#### 4.3.2 Análise de riscos associados às rotas do TUC

Para a análise dos riscos associados às rotas, as características do TUC e meio urbano foram avaliadas segundo os direcionadores: a “probabilidade de gerar aumento nos índices de emissões no TUC” e o “impacto do aumento dos índices de emissões no ambiente

urbano”. Com o intuito de facilitar o diagnóstico das características levantadas, foi elaborada uma listagem de perguntas-chave relacionadas a cada característica, como direcionadoras para esta etapa do método.

A Tabela 6 traz estas perguntas e as opções de respostas, seguidas de uma classificação numérica, tomando como base a pesquisa realizada nos itens 4.1 e 4.2 deste estudo. Esta classificação representa a intensidade desta característica na rota, e foi um input de informação para a próxima etapa, para a concepção da Matriz de Riscos de Emissões e Trechos Críticos.

Tabela 6 - Perguntas-chave relacionadas às características do TUC

Características	Pergunta chave	Respostas		
		3	2	1
<b>Características do TUC</b>				
Volume de carga e características do veículo	Capacidade utilizada por viagem?	Cheio	Parcial	Vazio
Tipo de energia/combustível utilizada	Tipo de combustível?	Fóssil	Misto	Elétrico
<i>Idling</i>	% de utilização?	Alto	Médio	Baixo
<b>Características do Meio Urbano</b>				
Layout das cidades - distâncias	Distâncias da rota?	Longas	Médias	Curtas
Topologia das vias urbanas	Variações no relevo?	Grandes	Médias	Baixas
Uso do solo no entorno	Variedade do uso do solo?	Alta	Média	Baixa
Rotas alternativas	Utiliza trecho alternativo?	Não	Parte	Sim
Horário de Tráfego	Tráfego em Hora-pico?	Sim	Parte	Não
Congestionamentos	Possui na rota?	Alto	Médio	Baixo
Economia de escala	Faz parte de uma EE?	Sim	Parte	Não
Centros de Consolidação Urbana (CCU)	Possui na rota?	Não	Parte	Sim
Zonas de Emissão Zero (ZEZ)	Possui na rota?	Não	Parte	Sim
Aplicação da Tarifação	Trecho com tarifação?	Não	Parte	Sim
Procura de estacionamento	Há necessidade de procura?	Sim	Parte	Não

Fonte: elaborado pela autora.

Os horários de pico, ou seja, aqueles que identificam o maior tráfego de veículos devem ser considerados conforme características de cada região. As demais informações são específicas da rota e tipo de transporte analisado.

### 4.3.3 Avaliação da criticidade dos riscos de emissões do TUC

Levantadas as probabilidades e impactos de cada característica, o próximo passo do método consiste na identificação da criticidade relacionada a cada característica através da consulta da Tabela 6, para que então seja possível determinar a classificação dos riscos de emissões associados às características do TUC e do meio urbano.

A Tabela 7 mostra um exemplo ilustrativo de resultado da análise da matriz de riscos, considerando as características aleatórias, simulando a percepção do ator logístico responsável pela rota. Com os resultados obtidos, tem-se a percepção de como cada característica do TUC e do ambiente urbano pode influenciar nas emissões associadas à rota.

Tabela 7 - Matriz de Riscos de Emissões e Trechos Críticos para o TUC

Matriz de Riscos de Emissões e Trechos Críticos	Probabilidade					Impacto					Gravidade	Classificação
	Quase certo	Provável	Possível	Improvável	Raro	Forte	Alto	Médio	Baixo	Insignificante		
<b>Características do TUC</b>												
Volume de carga e características do veículo		x					x				AL	7
Tipo de energia/combustível utilizada	x						x				MA	2
Idling				x						x	MB	24
<b>Características do Meio Urbano</b>												
Layout das cidades - distâncias				x						x	MB	24
Topologia das vias urbanas		x					x				AL	7
Uso do solo no entorno			x					x			MD	13
Rotas alternativas	x						x				MA	2
Horário de Tráfego			x					x			MD	13
Congestionamentos		x						x			AL	9
Economia de escala	x						x				MA	2
Centros de Consolidação Urbana (CCU)	x						x				MA	2
Zonas de Emissão Zero (ZEZ)	x						x				MA	2
Aplicação da Tarifação		x					x				AL	7
Procura de estacionamento				x						x	MB	24
<b>Classificação do Trecho</b>											<b>AL</b>	<b>10</b>

Fonte: elaborado pela autora.

Pelo exemplo, uma vez determinada a gravidade dos riscos através da identificação da probabilidade e impacto de cada característica, é possível obter uma classificação para cada característica, seguindo a listagem da Tabela 5, e uma classificação geral do trecho, representada pela média dos resultados das classificações individuais, conforme ilustrado na Tabela 7.

Pela análise da Tabela 7, pode-se verificar que o trecho possui uma alta gravidade associada ao risco de congestionamento e horário do tráfego, com grande variação do uso do solo e baixa opção de rotas alternativas. Sendo assim, considerando também as demais características do TUC e do meio urbano, o trecho pode ser classificado como crítico, de gravidade alta em relação ao potencial de emissões.

É importante que, para cada trecho da rota, seja aplicada a análise da Matriz de Riscos de Emissões e Trechos Críticos proposta, de forma a levantar qual a gravidade relacionada a cada trecho e quais as ações e monitoramentos necessários durante a rota. Desta maneira, entende-se que os trechos que possuem classificação de gravidade “alta” ou “muito alta”, podem ser considerados “trechos críticos” da rota, em relação ao seu potencial de geração de emissões.

Da mesma forma, os trechos classificados com criticidade “média” ou “baixa” precisam ser monitorados, para que não se tornem críticos diante das possibilidades de nova rota ou uso de rotas alternativas, por exemplo, ou devido outras variações relacionadas às características levantadas na matriz. A seguir, é realizada a análise da proposta

#### **4.4 Aplicação da Matriz de Riscos de Emissões e Trechos Críticos - Análise de eficiência da proposta**

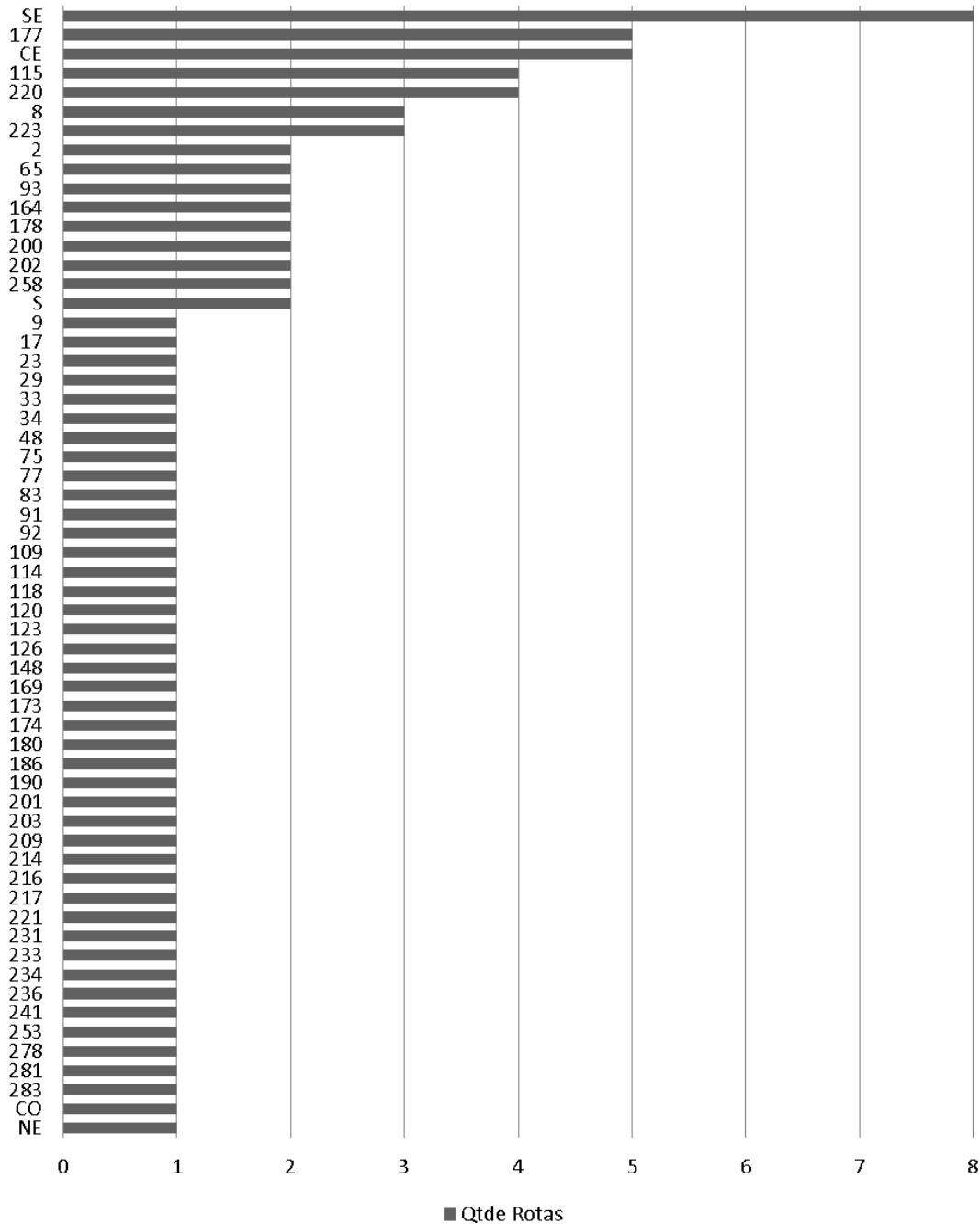
A análise das entregas de cargas urbanas é, por definição, uma tarefa complexa, devido aos sistemas multicomponentes envolvidos e às diversas interações entre eles (DABLANC, 2007). Por isso, a oferta de soluções de transporte urbano de carga para uma cidade deve sempre partir de uma visão exaustiva do cenário atual, de todos os ângulos possíveis, visto que a gestão eficiente do transporte urbano de carga deve contribuir para o desenvolvimento econômico, social e sustentabilidade ambiental da área (MUÑUZURI et al., 2018).

Para a análise da eficiência do método proposto neste trabalho, foi feita uma demonstração da aplicação do método através da análise de roteirizações do TUC. Para tal, foi utilizada uma base de dados real de transporte de carga realizada na Região Metropolitana de



Fortaleza (RMF) do ano de 2019, que contém dados sobre o processo de expedição e recebimento de produtos realizados por uma transportadora. Os dados desta base contempla o transporte de carga de variados tipos de mercadoria, de diferentes CNAE's, e utiliza como veículo principal o caminhão de carga.

Figura 21 – Quantidade das zonas de destino por finalidade do tipo expedição



Fonte: elaborado pela autora.

A primeira etapa de aplicação do modelo consiste na escolha das rotas para análise. Diante da extensão da base de dados disponível, foi necessária uma seleção dos dados para melhor aplicabilidade da proposta. Foi selecionada, para esta aplicação, os dados de expedição, cujas informações disponíveis são referentes ao ponto de destino das entregas. Os pontos de origem não foram disponibilizado, mas sim as zonas de origem. Dessa forma, utilizou-se o centróide destas zonas como ponto de referência de origem, captados através do software Qgis®, utilizando o shape da RMF disponibilizado pela Prefeitura de Fortaleza.

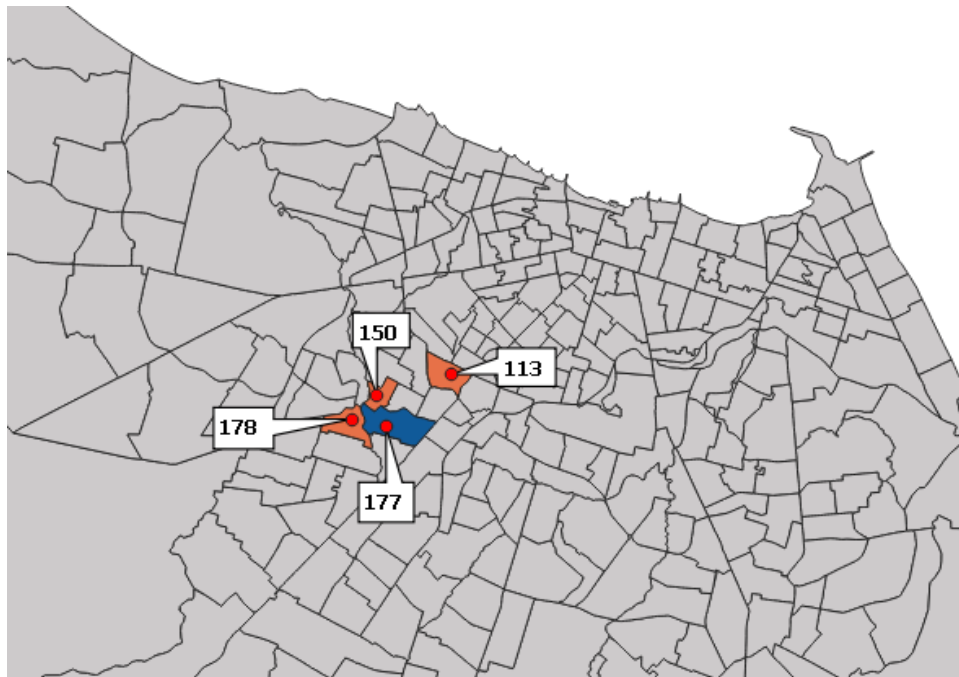
Para a escolha das rotas do experimento, foi utilizado como critério as zonas com maior intensidade de fluxo de viagens, limitadas aos municípios da RMF. A Figura 21 mostra a quantidade de rotas de expedição alocados por zona de destino, extraídas da base de dados utilizada. As duas primeiras zonas, SE e CE, estão localizadas fora da RMF e, portanto, não foram consideradas na aplicação do experimento. Dessa forma, a zona que representou maior fluxo de viagens foi a zona de destino 177, totalizando cinco viagens de expedição de meradorias. A Tabela 8 traz detalhes sobre estas rotas, e a Figura 22 mostra o mapa da RMF com a identificação das zonas de origem e destino referentes à essa zona.

Tabela 8 - Rotas utilizadas na aplicação do modelo.

<b>Rotas</b>	<b>Veículo</b>	<b>Viagem</b>	<b>Código CNAE</b>	<b>Peso total</b>	<b>Unidade</b>	<b>Volume total</b>	<b>Unidade</b>	<b>Zona de Origem</b>	<b>Zona de Destino</b>
Expedição	Caminhão	2	Farinha de trigo, óleo.	2000	Kg	2	Unidade	178	177
Expedição	Caminhão	1	Tecidos	5	Kg	15	Unidade	113	177
Expedição	Caminhão	1	Água	20	Kg	1	Unidade	150(1)	177
Expedição	Caminhão	1	Água	20	Kg	1	Unidade	150(2)	177
Expedição	Caminhão	1	Água	20	Kg	1	Unidade	150(3)	177

Fonte: elaborado pela autora.

Figura 22 - Localização das zonas de origem e destino por finalidade expedição



Fonte: elaborado pela autora.

Como base para as simulações das rotas entre os pares OD (origem-destino), foi considerada como premissa para a rota, a de caminho mínimo, adotou-se a técnica de alocação “tudo ou nada”, cujo conceito se baseia na hipótese de que, definida a melhor rota (caminho mínimo) entre uma origem e um destino, todo fluxo segue por esta rota, independentemente da capacidade da mesma (CAMPOS, 2013), para os testes de desempenho de emissões nas rotas.

As definições de rotas para cada origem/destino foram realizadas através do aplicativo Google Earth®. O resultado pode ser observado nas Figuras 23 a 27. Através da simulação das rotas, foi possível obter informações sobre o perfil das vias utilizadas por cada rota de expedição, a quilometragem total e parcial percorrida por trecho e a topologia das vias que compõem as rotas.

Figura 23 - Rota 178x177



Fonte: elaborado pela autora.

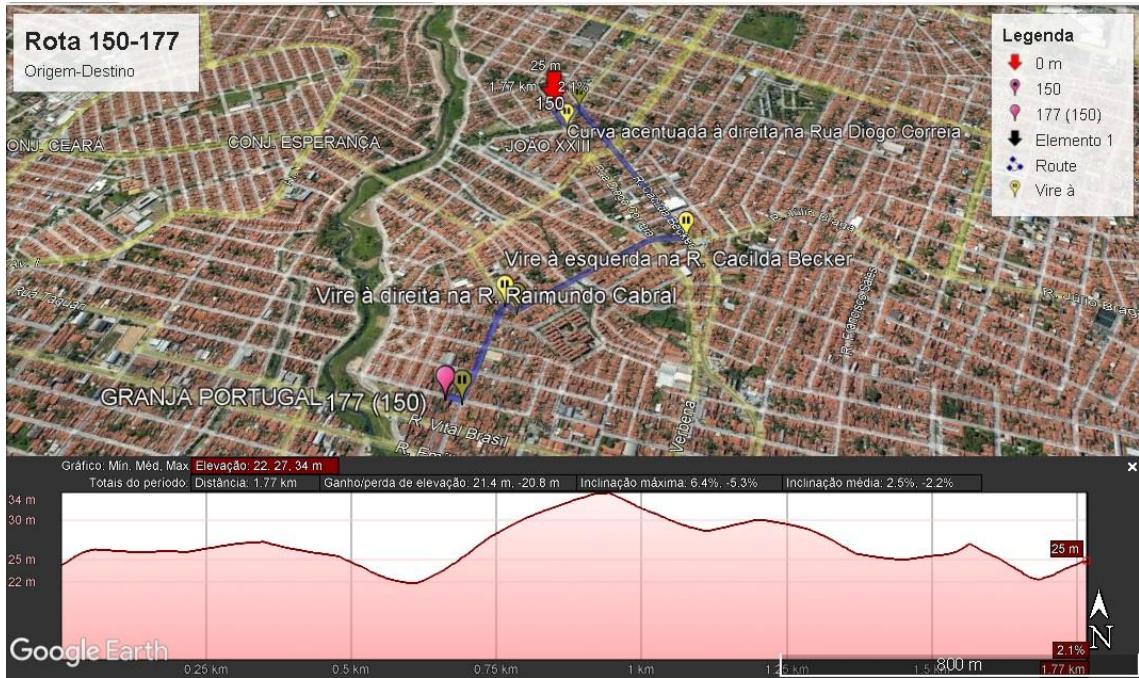
Figura 24 - Rota 113x177



Fonte: elaborado pela autora.

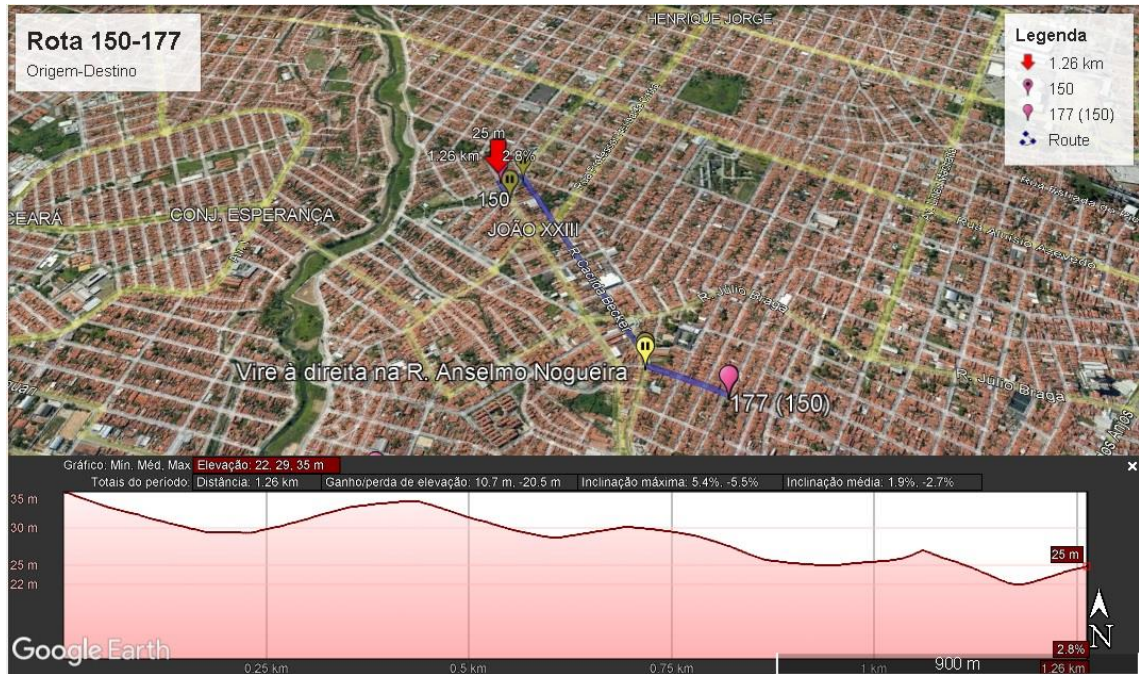


Figura 25 - Rota 150(1)x177



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 26 - Rota 150(2)x177



Fonte: elaborado pela autora.



Figura 27 - Rota 150(3)x177



Fonte: elaborado pela autora.

Na etapa seguinte, foi realizada uma análise das emissões baseadas no comportamento do uso do solo no entorno das vias que compõem as rotas, através do indicador de entropia. Esta análise é um importante direcionador sobre o potencial e tendência de geração de emissões em cada trecho analisado.

#### 4.4.1 Análise do comportamento das emissões baseado no uso do solo

Segundo Zhang, Gajpal, Appadoo (2018), as emissões de poluentes oriundas dos transportes estão relacionadas aos padrões de uso do solo, que afetam a configuração urbana impactando na geração de viagens, alterando os níveis de poluição. Os padrões de uso do solo ditam a necessidade por viagens, dado que os mesmos traduzem a maneira como as atividades estão distribuídas em uma área urbana; como cada atividade, seja de trabalho ou lazer, gera desejo por transportes, tem-se a configuração da ocorrência de viagens em um ambiente urbano (RIBEIRO et al., 2019).

Nesta etapa, foi realizada a análise do comportamento das emissões nos trechos mapeados, baseada no uso e comportamento do solo no entorno das rotas. Para a análise do comportamento das emissões nos trechos, foi utilizado o conceito de entropia, que se baseia na relação entre a diversidade do uso do solo urbano e sua influência na forma como ocorrem os deslocamentos em uma zona urbana (KOCKELMAN, 1997; SUN; WILMOT; KASTURI,

1998; BORDOLOI et al. 2013). Através do indicador de entropia, foi possível estabelecer a relação entre o comportamento do uso do solo no entorno das vias e a tendência de deslocamentos e viagens nas rotas mapeadas. O resultado foi a tendência do comportamento das emissões nestes locais, baseando-se na relação entre o valor da entropia e a quantidade de deslocamentos no trecho.

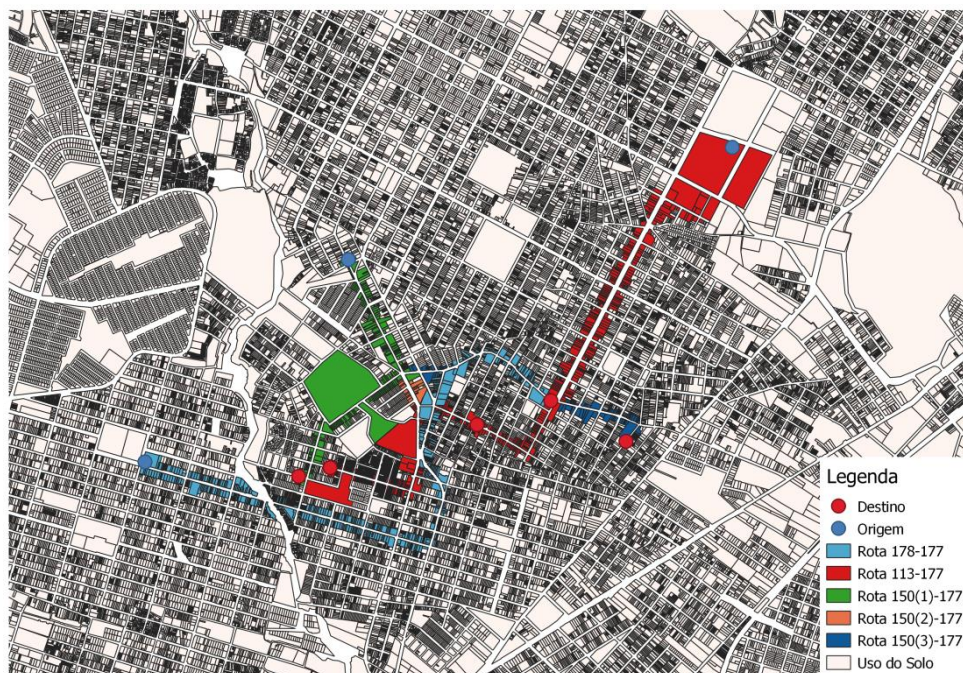
Os dados utilizados, referentes ao uso e ocupação do solo, foram obtidos a partir da base de dados do IPTU da Secretaria de Finanças do Município de Fortaleza (SEFIN) e apresentam os usos e as ocupações por lote na cidade. O cálculo de entropia foi realizado para os cinco trechos mapeados, e o resultado pode ser observado na Tabela 9. A Figura 28 mostra as rotas e a ocupação do solo nos seus entornos.

Tabela 9 - Entropia das rotas zona 177 destino

Origem	Destino	Entropia
178	177	0,58
113	177	0,69
150 (1)	177	0,60
150 (2)	177	0,65
150 (3)	177	0,73

Fonte: elaborado pela autora.

Figura 28 - Rotas e uso do solo no entorno



Fonte: elaborado pela autora.

Pela análise das entropias das rotas, as que apresentaram maior resultado do indicador foram as rotas 150(3)-177 e 113-177. Isso se explica pela maior variedade de uso do solo e maior diversidade de ocupação das áreas utilizadas no entorno destas rotas, conforme dados apresentado nas Tabelas 10 e 11. As outras rotas, 178-177 e 150(1)-177 e 150(2)-177, apresentaram valores menores de entropia, mais ainda considerados altos para o indicador. Todas as rotas, portanto, podem ser consideradas como de alto potencial de atratividade de deslocamentos, resultando numa alta tendência de geração de emissões ao longo dos trechos.

Tabela 10 - Quantidade e classificação do uso do solo por rota

Uso do Solo/Qtd	Rota 178-177		Rota 113-177		Rota 150(1)-177		Rota 150(2)-177		Rota 150(3)-177	
	Qtd	%	Qtd	%	Qtd	%	Qtd	%	Qtd	%
Residencial	292	69%	206	73%	99	83%	111	85%	171	78%
Comercial	76	18%	51	18%	14	12%	8	6%	27	12%
Misto	34	8%	16	6%	5	4%	9	7%	14	6%
Residencial e Comerc.	12	3%	10	4%	1	1%	2	2%	4	2%
Instrução	2	0%	1	0%	0	0%	0	0%	2	1%
Prestação serviços	2	0%	0	0%	0	0%	0	0%	1	0%
Religioso	2	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Fechado	1	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Industrial	1	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
<b>Total</b>	422		284		119		130		219	

Fonte: elaborado pela autora.



Tabela 11 - Área ocupada e classificação do uso do solo por rota

Uso do Solo/Área	Rota 178-177		Rota 113-177		Rota 150(1)-177		Rota 150(2)-177		Rota 150(3)-177	
	Área	%	Área	%	Área	%	Área	%	Área	%
Residencial	19.487	48%	20.470	58%	7.499	61%	8.962	68%	13.084	52%
Comercial	11.549	29%	9.199	26%	4.289	35%	2.856	22%	5.654	22%
Misto	5.618	14%	2.231	6%	436	4%	796	6%	2.969	12%
Resid. Comerc.	2.973	7%	2.745	8%	110	1%	568	4%	908	4%
Instrução	331	1%	672	2%	0	0%	0	0%	2.727	11%
Prest. serviços	92	0%	0	0%	0	0%	0	0%	62	0%
Religioso	204	1%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Fechado	43	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Industrial	79	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
<b>Total</b>	<b>40.376</b>		<b>35.316</b>		<b>12.334</b>		<b>13.182</b>		<b>25.403</b>	

Fonte: elaborado pela autora.

A partir dos dados de entropia analisados, os trechos foram confirmados como sendo de alto potencial de emissões. A próxima etapa foi da aplicação do modelo de matriz de riscos de emissões, que irá determinar quais trechos podem ser considerados como críticos em relação à potencial de emissões, baseando-se desta vez nas características de operação do TUC e do meio urbano ao longo dos trechos analisados.

#### ***4.4.2 Aplicação do modelo de Matriz de Riscos de Emissões e Trechos Críticos***

Para o início da aplicação da matriz, a primeira etapa foi o preenchimento da probabilidade e impacto relacionados às características nas rotas baseadas nas emissões, conforme as orientações apresentadas nas Tabelas 6 e 7 propostas no método.

Para o levantamento das características do TUC consideradas na matriz, relacionadas ao volume de carga e características do veículo, tipo de energia/combustível utilizada e estado de idling do veículo, foram considerados dados hipotéticos para fins de simulação, visto serem específicos do veículo e do seu modo de operação. Na aplicação do método a um caso real, esses dados são facilmente mapeados pelo planejador da rota. Portanto, a aplicação dos dados hipotéticos nesta aplicação não irá comprometer a validação do modelo proposto.

Sobre as características do meio urbano, as relacionadas à topologia das vias foram levantadas considerando a variação do relevo no trajeto da rota. Tomou-se como base de valores, para este experimento, a variação média de relevo nas zonas analisadas. As variações maiores que 20 metros foram considerados como *grande variação*, entre 20 e 10 metros como *média variação*, e os menores que 10 metros como *baixa variação* do relevo. Para a determinação das características do layout das cidades, foi considerada a distância percorrida pela rota como parâmetro para a classificação, entre sua origem e destino. As distâncias percorridas maiores que dez quilômetros foram classificadas como *longas*, entre dez e cinco quilômetros como *médias*, e as menores que cinco quilômetros como *curtas* distâncias.

Para a análise referente ao tráfego das vias, foi considerado o horário de pico estabelecido para a cidade de Fortaleza. Segundo Pinheiro (2012), os horários de pico na cidade são verificados nos picos da manhã (06h30 – 08h30), meio dia (11h30 – 13h30) e final da tarde (17h30 – 19h30). Diante disso, a simulação das rotas foi realizada entre os horários de 17:30 e 18:00, o que permitiu a verificação da influência das variantes do tráfego no desempenho da rede viária.

Para a simulação do tráfego, foram utilizados dados do *Google Trânsito*, disponíveis no aplicativo Google Maps®. Esta ferramenta estabelece uma escala de condições de tráfego baseada em quatro cores, do mais rápido ao mais lento (Figura 29), e esta escala foi considerada na determinação da premissa de congestionamento no modelo de aplicação da matriz. Entende-se que, quanto mais lento o tráfego, maior a probabilidade de emissões veiculares. Apesar das limitações desta ferramenta em termos de representatividade do cenário real de tráfego, os dados obtidos atendem as expectativas desta aplicação.

Figura 29 - Escala de tráfego do Google Tráfego



Fonte: Google Maps®.

Na determinação do nível do congestionamento das vias, considerou-se como parâmetro a proporção de trechos com tráfego lento ao longo da rota. Em caso de trechos lentos em mais de 50% da rota, considerou-se congestionamento alto; entre 30% e 50% da rota, considerou-se congestionamento médio; e abaixo de 30% como baixo congestionamento. As referentes ao uso do solo no entorno foram classificadas tomando como base o resultado

do indicador de entropia das rotas, que reflete a variação do uso e ocupação do solo no trecho analisado, calculado na etapa anterior.

Em relação às rotas alternativas, foram consideradas as opções de rotas sugeridas para o trecho, na simulação realizada no Google Trânsito. As rotas que apresentaram mais que três sugestões de rotas foram classificadas com probabilidade *rara*; as que apresentaram até três sugestões foram classificadas como *possível*; as que apresentaram pelo menos duas sugestões de rotas foram classificadas como *provável*, e as que apresentaram somente uma opção de rota, como *quase certo*.

As características relacionadas à Economia de Escala, Centro de Consolidação Urbana (CCU), Zonas de Emissão Zero (ZEZ), Aplicação de Tarifação e Procura de estacionamento são mais específicas do centro urbano em análise, e deve seguir a realidade do local como parâmetros para classificação. As análises dos trechos são apresentadas nas Tabela 12 a 16, conforme abaixo.

Tabela 12 - Matriz de Riscos de Emissões e Trechos Críticos para a rota 178x177

Matriz de Riscos de Emissões e Trechos Críticos para a rota 178x177	Probabilidade					Impacto					Gravidade	Classificação
	Quase certo	Provável	Possível	Improvável	Raro	Forte	Alto	Médio	Baixo	Insignificante		
<b>Características do TUC</b>												
Volume de carga e características do veículo		x					x				AL	9
Tipo de energia/combustível utilizada	x					x					MA	2
Idling				x					x		MB	24
<b>Características do Meio Urbano</b>												
Layout das cidades - distâncias				x					x		MB	24
Topologia das vias urbanas		x				x					AL	7
Uso do solo no entorno			x				x				MD	13
Rotas alternativas			x				x				MD	13
Horário de Tráfego			x						x		MD	19
Congestionamentos			x						x		MD	19
Economia de escala		x					x				AL	9
Centros de Consolidação Urbana (CCU)	x					x					MA	2
Zonas de Emissão Zero (ZEZ)	x					x					MA	2
Aplicação da Tarifação		x				x					AL	7
Procura de estacionamento			x				x				MD	13
<b>Classificação do Trecho</b>											<b>MD</b>	<b>12</b>

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 13 - Matriz de Riscos de Emissões e Trechos Críticos para a rota 113x177

Matriz de Riscos de Emissões e Trechos Críticos para a rota 113x177	Probabilidade					Impacto					Gravidade	Classificação
	Quase certo	Provável	Possível	Improável	Raro	Forte	Alto	Médio	Baixo	Insignificante		
<b>Características do TUC</b>												
Volume de carga e características do veículo			x						x		MD	19
Tipo de energia/combustível utilizada	x						x				MA	2
Idling			x					x			MD	13
<b>Características do Meio Urbano</b>												
Layout das cidades				x						x	MB	24
Topologia das vias urbanas			x					x			MD	13
Uso do solo no entorno	x					x					MA	1
Rotas alternativas			x					x			MD	13
Horário de Tráfego		x						x			AL	7
Congestionamentos		x						x			AL	7
Economia de escala			x						x		MD	13
Centros de Consolidação Urbana (CCU)	x							x			MA	2
Zonas de Emissão Zero (ZEZ)	x							x			MA	2
Aplicação da Tarifação		x						x			AL	7
Procura de estacionamento	x						x				MA	1
<b>Classificação do Trecho</b>											<b>AL</b>	<b>9</b>

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 14 - Matriz de Riscos de Emissões e Trechos Críticos para a rota 150(1)x177

Matriz de Riscos de Emissões e Trechos Críticos para a rota 150(1)x177	Probabilidade					Impacto					Gravidade	Classificação
	Quase certo	Provável	Possível	Improvável	Raro	Forte	Alto	Médio	Baixo	Insignificante		
<b>Características do TUC</b>												
Volume de carga e características do veículo			x						x		MD	19
Tipo de energia/combustível utilizada	x						x				MA	2
Idling				x						x	MB	24
<b>Características do Meio Urbano</b>												
Layout das cidades				x						x	MB	24
Topologia das vias urbanas			x					x			MD	13
Uso do solo no entorno			x				x				MD	11
Rotas alternativas			x					x			MD	13
Horário de Tráfego		x					x				AL	7
Congestionamentos				x						x	MB	24
Economia de escala				x						x	BX	20
Centros de Consolidação Urbana (CCU)	x						x				MA	2
Zonas de Emissão Zero (ZEZ)	x						x				MA	2
Aplicação da Tarifação		x					x				AL	7
Procura de estacionamento				x						x	MB	24
<b>Classificação do Trecho</b>											<b>MD</b>	<b>14</b>

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 15 - Matriz de Riscos de Emissões e Trechos Críticos para a rota 150(2)x177

Matriz de Riscos de Emissões e Trechos Críticos para a rota 150(2)x177	Probabilidade					Impacto					Gravidade	Classificação
	Quase certo	Provável	Possível	Improvável	Raro	Forte	Alto	Médio	Baixo	Insignificante		
<b>Características do TUC</b>												
Volume de carga e características do veículo			x						x		MD	19
Tipo de energia/combustível utilizada	x						x				MA	2
Idling				x						x	MB	24
<b>Características do Meio Urbano</b>												
Layout das cidades				x						x	MB	24
Topologia das vias urbanas			x					x			MD	13
Uso do solo no entorno	x					x					AL	7
Rotas alternativas	x						x				MA	2
Horário de Tráfego		x					x				AL	7
Congestionamentos				x						x	MB	24
Economia de escala				x					x		BX	20
Centros de Consolidação Urbana (CCU)	x						x				MA	2
Zonas de Emissão Zero (ZEZ)	x						x				MA	2
Aplicação da Tarifação		x					x				AL	7
Procura de estacionamento	x					x					AL	7
<b>Classificação do Trecho</b>											<b>MD</b>	<b>12</b>

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 16 - Matriz de Riscos de Emissões e Trechos Críticos para a rota 150(3)x177

Matriz de Riscos de Emissões e Trechos Críticos para a rota 150(3)x177	Probabilidade					Impacto					Gravidade	Classificação
	Quase certo	Provável	Possível	Improável	Raro	Forte	Alto	Médio	Baixo	Insignificante		
<b>Características do TUC</b>												
Volume de carga e características do veículo			x						x		MD	19
Tipo de energia/combustível utilizada	x						x				MA	2
Idling			x					x			MD	13
<b>Características do Meio Urbano</b>												
Layout das cidades				x						x	MB	24
Topologia das vias urbanas			x					x			MD	13
Uso do solo no entorno	x					x					MA	1
Rotas alternativas			x					x			MD	13
Horário de Tráfego		x					x				AL	7
Congestionamentos		x							x		MD	18
Economia de escala				x					x		BX	20
Centros de Consolidação Urbana (CCU)	x						x				MA	2
Zonas de Emissão Zero (ZEZ)	x						x				MA	2
Aplicação da Tarifação		x					x				AL	7
Procura de estacionamento	x					x					MA	1
<b>Classificação do Trecho</b>											<b>AL</b>	<b>11</b>

Fonte: elaborado pela autora.

A partir das análises, foi possível identificar e classificar as rotas 113x177 e 150(3)x177 como de gravidade alta, sendo estas rotas consideradas com maior potencial de emissões devido maior presença de “trechos críticos”. Os fatores que se destacam nestes trechos e os tornam críticos em relação aos demais analisados são: alta variação do uso e ocupação do solo em ambas as rotas, medidas através do indicador de entropia; alta procura por estacionamento, diretamente relacionada à alta variação do uso do solo; ambas as rotas operando em horário de pico de tráfego.

Figura 30 – Trechos críticos da rota 113-177



A rota 113x177 ainda enfrentou trânsito lento em vários trechos da rota, principalmente nas saídas dos estabelecimentos comerciais e cruzamentos de vias, elevando o impacto no congestionamento e o nível de criticidade dos trechos na rota. Os trechos destacados em laranja na Figura 30 podem ser considerados, portanto, seguindo os critérios analisados, como os trechos críticos da rota.

As demais rotas apresentaram classificação média de criticidade, indicando que são potenciais em relação à presença de trechos críticos e precisam ser monitorados, principalmente quando se considera que várias das características analisadas podem variar de acordo com o trecho, carga transportada e horário de tráfego analisado e simulado. Desta forma, pode-se concluir que os resultados da aplicação foram condizentes com os esperados para a análise.



## 5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

### 5.1 Conclusões

O grande desafio dos modelos de rotas do transporte de cargas na atualidade é o de conciliar a eficiência do transporte na rota (relacionado à custos, prazo e atendimento) a um melhor desempenho ambiental em termos de redução das emissões de gases poluentes nas rotas de transporte. Essa é uma questão cada vez mais forte quando se trata do tema logística, principalmente quando é trazido à tona o impacto ambiental gerado pelas atividades de transporte e seus impactos nas questões climáticas do planeta. Não existe mais espaço para o planejamento do sistema de transporte considerar apenas sua eficiência operacional, e essa mudança de abordagem depende tanto de uma mudança de atitude das empresas de planejamento logístico e de rotas quanto do poder público em relação às políticas de transporte aplicados nas cidades.

A cada ano, crescem as pesquisas e estudos voltados à eficiência ambiental nos transportes. Através da pesquisa da literatura realizada neste trabalho, pode-se observar esse crescimento e a forma como o tema ambiental foi abordado nas pesquisas e estudos relacionados às rotas. Como resultado, foi possível verificar que os modelos matemáticos são os mais utilizados nas aplicações de análises de rotas, com o uso predominante de dados hipotéticos, e que a maior parte dos modelos ainda tem como finalidade principal a minimização dos fatores operacionais (tempo, distância), estando as finalidades redução das emissões e consumo de combustível, mais diretamente relacionadas às externalidades ambientais no transporte, em segundo ou terceiro lugar em relação à percentual de utilização nos estudos analisados. Quando analisados os parâmetros, assim como as finalidades, os relacionados a tempo, custo e demanda são os mais utilizados, estando os parâmetros combustível e emissões com menor percentual de utilização nos modelos. Isso mostra que ainda existe uma lacuna em relação aos parâmetros e finalidades ambientais aplicadas aos modelos de rotas.

Sobre a aplicação dos modelos de rotas, foram identificados abordagens direcionadas às aplicações matemáticas, principalmente com aplicação de algoritmos, otimização e simulações. Os modelos conceituais, no entanto, foram pouco identificados nas pesquisas, tendo um baixo percentual de aplicação quando comparados aos modelos matemáticos. Isso se explica, em parte, pelas características dos problemas de rotas, muitas vezes complexas devido a grande quantidade de variáveis que exercem influência no mesmo

sistema de transportes, e por isso exigem meios de aplicação mais robustos, com utilização de recursos computacionais, para se chegar ao objetivo esperado.

Por outro lado, alguns problemas podem ser solucionados ou minimizados através de aplicações conceituais, a maioria das vezes mais simples que os matemáticos mas com similar potencial de resolução e mitigação dos problemas de transportes. Outras vantagens dos modelos conceituais é sua aplicabilidade a diferentes tipos de ambientes e situações, dos mais simples aos mais complexos. No caso das emissões de poluentes no TUC, se viu uma grande oportunidade de aplicação deste tipo de modelo. Através da pesquisa da literatura realizada para o levantamento dos estudos e pesquisas sobre o TUC e meio urbano relacionado às emissões, foi possível concluir que a literatura aborda várias características que influenciam a geração de emissões pelos transportes, características relacionadas tanto ao transporte de cargas quanto ao meio urbano. Relacionar essas características dentro de um modelo de aplicação conceitual foi a forma que este trabalho propôs para mensurar o potencial de riscos de emissões na rota do TUC e direcionar ações para mitigar os potenciais impactos em relação às emissões.

O modelo conceitual proposto, ao relacionar as características do TUC e do meio urbano às emissões de poluentes, determina os parâmetros de classificação e as probabilidades e impactos relacionados às características levantadas como insumo para identificar os potenciais riscos de emissão de poluentes e a criticidade dos trechos da rota. Este modelo foi concebido através de vasta leitura e pesquisa sobre outros modelos de matriz de riscos, aplicadas a outras temáticas, e posterior adequação do seu conceito ao problema de rotas, voltada à criticidade dos trechos e seu potencial de emissão. O modelo foi, então, aplicado a um caso hipotético de rotas do TUC, utilizando uma base de dados reais. Foram consideradas as características reais dos trechos na rota, analisadas mediante proposta do modelo de matriz de riscos. Para validação do resultado, foi realizada a aplicação do conceito de entropia adaptada aos trechos em análise, que avalia a influência que o uso e utilização do solo no entorno do trecho exerce sobre a ocorrência dos deslocamentos no trecho. Ao se comparar as duas aplicações – matriz de riscos de emissões e trechos críticos com a entropia no trecho – foi possível observar resultados convergentes, evidenciando que o modelo proposto tem fundamento e potencial de aplicabilidade, atingindo os objetivos almejados em sua concepção.

Este trabalho alcançou todos os objetivos propostos e contribuiu, de forma geral, para o entendimento e preenchimento de parte das lacunas de pesquisas identificadas, visto que ainda existe um longo caminho de estudos e pesquisa a serem realizadas para eliminação

das lacunas identificadas nesta pesquisa. Além disso, este trabalho contribui para as linhas de pesquisa e temas de estudos relacionadas ao modo de transporte rodoviário, mais especificamente ao transporte urbano de carga, como contribuição para pesquisas em andamento e como insumo para novas pesquisas relacionadas ao tema. Este trabalho também gera contribuição às equipes de rotas e planejamento urbano, quanto à disponibilidade do método para aplicação em diferentes realidades urbanas, com potencial de geração de resultados concretos relacionados às emissões pelo modo de transporte de cargas ou demais modos de transporte, mediante adaptação do modelo.

## **5.2 Sugestões para trabalhos futuros**

Este trabalho tem como limitação o estudo do potencial de emissões e classificação de trechos críticos de forma específica para o transporte urbano de cargas. Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se, que sejam considerados outros modos de transporte, como veículos de passeio e motocicletas, de forma a avaliar outros potenciais de riscos de emissões originados pelo sistema de transportes.

Outra sugestão seria a aplicação deste mesmo modelo em outros centros urbanos, partindo da premissa que os centros urbanos das diferentes regiões variam, principalmente em relação às características das vias e entornos. Além disso, a aplicação em outros ambientes de operação, como rodovias, se estendendo a outras regiões do país, também pode ser uma oportunidade de pesquisa para a identificação do potencial risco de emissões pelo transporte de cargas em outros modelos de operação.

A comparação do método proposto neste trabalho, com outros métodos de classificação de trechos em relação ao seu potencial de emissões, seja para o transporte de cargas ou outro modo de transporte, será um desdobramento importante. Essa comparação poderá trazer contribuição para a discussão sobre a temática de geração de emissões pelo transporte, além do levantamento de novas propostas de classificação dos trechos críticos em relação às emissões.

## REFERÊNCIAS

- ABDI, A.; ABDI, A.; AKBARPOUR, N.; AMIRI, A. S.; HAJIAGHAEI-KESHTELI, M.. Innovative approaches to design and address green supply chain network with simultaneous pick-up and split delivery. **Journal of Cleaner Production**, v. 250, p. 119437, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619343070>. Acesso em: 30 mar. 2021.
- ABDOLI, B.; MIRHASSANI, S. A.; HOOSHMAND, F.. Model and algorithm for bi-fuel vehicle routing problem to reduce GHG emissions. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 27, p. 21610-21624, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-017-9740-8>. Acesso em:30 jun. 2021.
- \_\_\_\_\_. On different formulations of green vehicle routing problem. **Journal of Information and Optimization Sciences**, v. 40, n. 4, p. 883-903, 2019. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02522667.2018.1460137>. Acesso em:30 mar. 2021.
- AFFI, M.; DERBEL, H.; JARBOUI, B.. Variable neighborhood search algorithm for the green vehicle routing problem. **International Journal of Industrial Engineering Computations**, v. 9, n. 2, p. 195-204, 2018. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Variable-neighborhood-search-algorithm-for-the-Affi-Derbel/5f29250c7c96e8c18e887119ad4b08bc9935f96d>. Acesso em:20 jun. 2021.
- AKYELKEN, N. Green Logistics: Improving the Environmental Sustainability of Logistics. **Transport Reviews**, v. 31, p. 547-548, 2011. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01441647.2010.537101>. Acesso em:30 mar. 2021.
- ANDELMIN, J.; BARTOLINI, E.. An exact algorithm for the green vehicle routing problem. **Transportation Science**, v. 51, n. 4, p. 1288-1303, 2017. Disponível em: <https://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/trsc.2016.0734>. Acesso em:30 mar. 2021.
- \_\_\_\_\_. A multi-start local search heuristic for the Green Vehicle Routing Problem based on a multigraph reformulation. **Computers and Operations Research**, v. 109, p. 43-63, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0305054819301017>. Acesso em:20 jun. 2021.
- ANDERLUH, A.; NOLZ, P. C.; HEMMELMAYR, V. C.; CRAINIC, T. G.. Multi-objective optimization of a two-echelon vehicle routing problem with vehicle synchronization and ‘grey zone’ customers arising in urban logistics. **European Journal of Operational Research**, v. 289, p. 940-958, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221719306289>. Acesso em:30 mar. 2022.
- ASHTINEH, H.; PISHVAEE, M. S.. Alternative fuel vehicle-routing problem: A life cycle analysis of transportation fuels. **Journal of Cleaner Production**, v. 219, p. 166-182, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619303798>. Acesso em:30 mar. 2021.

AYADI, R.; ELIDRISSI, A. E.; BENADADA, Y.; EL HILALI ALAOUI, A. Evolutionary algorithm for a Green vehicle routing problem with multiple trips. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON LOGISTICS OPERATIONS MANAGEMENT*, 2014, Morocco.

**Proceedings** [...]. Morocco: IEEE, 2014, p. 148-154. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6887432>. Acesso em:20 jun. 2021.

BORDOLOI, R.; MOTE, A.; SARKAR, P. P.; MALLIKARJUNA, C.. Quantification of Land Use Diversity in The Context of Mixed Land Use. **Procedia Social and Behavioral Sciences**, v. 104, p. 563-572, 2013. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042813045412>. Acesso em:30 mar. 2021.

BRITO, J.; CARBONE, S.; MONTEIRO DOS SANTOS, D. A.; DOMINUTTI, P.; DE OLIVEIRA ALVES, N.; RIZZO, L.; ARTAXO, P.. Disentangling vehicular emission impact on urban air pollution using ethanol as a tracer. **Scientific Reports**, v. 8, p. 1-11, 2018.

Disponível em: <https://observatorio.fm.usp.br/handle/OPI/28269>. Acesso em:30 mar. 2021.

BRUGLIERI, M.; MANCINI, S.; PISACANE, O.. More efficient formulations and valid inequalities for the Green Vehicle Routing Problem. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 105, p. 283-296, 2019. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0968090X1930779X>. Acesso em:20 mar. 2021.

\_\_\_\_\_. The green vehicle routing problem with capacitated alternative fuel stations.

**Computers and Operations Research**, v. 112, p. 1-12, 2019. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0305054819301935>. Acesso em:20 abr. 2021.

BRUGLIERI, M.; MANCINI, S.; PEZZELLA, F.; PISACANE, O.. A Path-based solution approach for the Green Vehicle Routing Problem. **Computers and Operations Research**, v. 103, p. 109-122, 2019. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0305054818302855>. Acesso em:20 mar. 2021.

BURGER, M.; SCHUTTER, B. D.; HELLENDORRN, J. Micro-Ferry Scheduling Problem with Time Windows. *In: THE AMERICAN CONTROL CONFERENCE*, 2012, Canada.

**Proceedings** [...]. Canada: IEEE, 2012, p. 3998-4003. Disponível em:

<https://ieeexplore.ieee.org/document/6315112>. Acesso em:20 mar. 2021.

BUSHO, S. W.; ALEMAYEHU, D.. Applying 3D-eco routing model to reduce environmental footprint of road transports in Addis Ababa City. **Environmental Systems Research**, Environ Syst Res 9, v. 17, p. 1-22, 2020. Disponível em:

<https://environmentalsystemsresearch.springeropen.com/articles/10.1186/s40068-020-00179-0>. Acesso em:20 jun. 2021.

CAMPOS, V. B. G.. **Planejamento de transportes: conceitos e modelos**. Rio de Janeiro: Interciência, 2013.

CASSIANO, D.R.; BERTONCINI, B.V.; OLIVEIRA, L.K.. A Conceptual Model Based on the Activity System and Transportation System for Sustainable Urban Freight Transport. **Sustainability**, v. 13, n. 10:5642, p. 1-13, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/10/5642>. Acesso em:20 mai. 2022.

CEMPÍREK, V.; STOPKA, O.; MEŠKO, P.; DOČKALÍKOVÁ, I.; TVRDOŇ, L.. Design of distribution centre location for small e-shop consignments using the clark-wright method. **Transportation Research Procedia**, p. 224-233, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146521001897>. Acesso em:20 mar. 2022.

CESCHIA, S.; DI GASPERO, L.; MENEGHETTI, A.. Extending and solving the refrigerated routing problem. **Energies**, v. 13, n. 23:6214, p. 1-24, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/23/6214>. Acesso em:20 mar. 2021.

CHATTERJEE, R.; GREULICH, C.; EDELKAMP, S.. Optimizing Last Mile Delivery Using Public Transport with Multi-Agent Based Control. *In: CONFERENCE ON LOCAL COMPUTER NETWORKS*, 41., 2016, Dubai. **Proceedings** [...]. Dubai: IEEE, 2016, p. 205-212. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/313802562\\_Optimizing\\_Last\\_Mile\\_Delivery\\_Using\\_Public\\_Transport\\_with\\_Multi-Agent\\_Based\\_Control](https://www.researchgate.net/publication/313802562_Optimizing_Last_Mile_Delivery_Using_Public_Transport_with_Multi-Agent_Based_Control). Acesso em:20 mai. 2021.

CHEN, Y.. Intelligent algorithms for cold chain logistics distribution optimization based on big data cloud computing analysis. **Journal of Cloud Computing**, J Cloud Comp v. 9, n. 37, p. 1-12, 2020. Disponível em: <https://journalofcloudcomputing.springeropen.com/articles/10.1186/s13677-020-00174-x>. Acesso em:30 mar. 2021.

ÇIMEN, M.; SOYSAL, M.. Time-dependent green vehicle routing problem with stochastic vehicle speeds: An approximate dynamic programming algorithm. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 54, p. 82-98, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1361920916305284>. Acesso em:20 jun. 2021.

CINAR, D.; GAKIS, K.; PARDALOS, P. M. Reduction of CO2 Emissions in Cumulative Multi-Trip Vehicle Routing Problems with Limited Duration. **Environmental Modeling and Assessment**, v. 20, n. 4, p. 273-284, 2015. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10666-014-9434-2>. Acesso em:20 mar. 2021.

ĆIROVIĆ, G.; PAMUČAR, D.; BOŽANIĆ, D.. Green logistic vehicle routing problem: Routing light delivery vehicles in urban areas using a neuro-fuzzy model. **Expert Systems with Applications**, v. 41, n.9, p. 4245-4258, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417414000177>. Acesso em:20 mar. 2021.

CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. DA. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO*, 8., 2011, Porto Alegre. **Anais** [...]. Porto Alegre: CBGDP, 2011, p. 1-12. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2205710/mod\\_resource/content/1/Roteiro%20para%](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2205710/mod_resource/content/1/Roteiro%20para%20)

20revis%C3%A3o%20bibliogr%C3%A1fica%20sistem%C3%A1tica.pdf. Acesso em:20 jun. 2020.

DABIA, S.; DEMIR, E.; VAN WOENSEL, T.. An exact approach for a variant of the pollution-routing problem. **Transportation Science**, v. 51, n. 2, p. 607-628, 2017. Disponível em: <https://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/trsc.2015.0651>. Acesso em:20 mar. 2021.

DABLANC L. Goods transport in large European cities: Difficult to organize, difficult to modernize. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, p. 280–285, 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0965856406000590>. Acesso em:20 mar. 2021.

DABLANC, L. Freight Transport for Development Toolkit. **Urban Freight**. In: The World Bank. Washington, D.C.: 2009. Disponível em: <https://documents.worldbank.org/pt/publication/documents-reports/documentdetail/863741468333611288/freight-transport-for-development-toolkit-urban-freight>. Acesso em:20 mar. 2021.

DAI, R.; FOTEDAR, S.; RADMANESH, M.; KUMAR, M.. Quality-aware UAV coverage and path planning in geometrically complex environments. **Ad Hoc Networks**, v. 73, p. 95-105, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S157087051830043X>. Acesso em:20 abr. 2021.

DASGUPTA, R.; YOON, S.. Energy-efficient deadline-aware data-gathering scheme using multiple mobile data collectors. **Sensors (Switzerland)**, v. 17 (4), p. 1-23, 2017. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/17/4/742>. Acesso em:20 mar. 2021.

DE BOK, M.; TAVASSZY, L.; THOEN, S.. Application of an empirical multi-agent model for urban goods transport to analyze impacts of zero emission zones in the Netherlands. **Transport Policy**, v. 124, p. 119-127, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967070X19307383>. Acesso em:20 mar. 2021.

DELOACH, J.W., **Enterprise-wide Risk Management: Strategies for Linking Risk and Opportunities**. London: Financial Times Prentice-Hall, 2000. 234p.

DEMIR, E.; BEKTAS, T.; LAPORTE, G.. A review of recent research on green road freight transportation. **European Journal of Operational Research**, v. 237, n. 3, p. 775-793, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221713010175>. Acesso em:20 mar. 2021.

DEMIR, E; WOENSEL, T V.. Mathematical Modeling of CO<sub>2</sub> e Emissions in One-to-one Pickup and Delivery Problems. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND ENGINEERING MANAGEMENT, 2013, Bangkok. **Annals [...]**. Bangkok: IEEE, 2013, p. 63-67. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6962375>. Acesso em:20 set. 2021.

DONDO, R. G.; MÉNDEZ, C. A. Operational planning of forward and reverse logistic activities on multi-echelon supply-chain networks. **Computers and Chemical Engineering**,

v. 88, p. 170-184, 2016. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0098135416300515>. Acesso em:20 mar. 2021.

EGLESE R.W., BLACK D. Optimizing the routing of vehicles. *In: Green Logistics: Improving the Environmental Sustainability of Logistics*. 1. ed. London: Kogan Page, 2010, p. 215-228. Disponível em: [https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/ip/logistik/document%20\(9\).pdf](https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/ip/logistik/document%20(9).pdf). Acesso em:20 mar. 2021.

ENE, S.; KÜÇÜKOĞLU, I.; AKSOY, A.; ÖZTÜRK, N.. A hybrid metaheuristic algorithm for the green vehicle routing problem with a heterogeneous fleet. **International Journal of Vehicle Design**, v. 71, p. 75-102, 2016. Disponível em: <https://www.inderscience.com/info/inarticle.php?artid=78771>. Acesso em:20 set. 2021.

ERDOĞAN, S.; MILLER-HOOKS, E.. A Green Vehicle Routing Problem. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 48, n. 1, p. 100-114, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1366554511001062>. Acesso em:20 mar. 2021.

EXPOSITO-MARQUEZ, A.; EXPOSITO-IZQUIERDO, C.; BRITO-SANTANA, J.; MORENO-PEREZ, J. A.. Solving an Eco-efficient Vehicle Routing Problem for Waste Collection with GRASP. *In: INTELLIGENT DISTRIBUTED COMPUTING XII, STUDIES IN COMPUTATIONAL INTELLIGENCE*, v. 798, 2018, Cham. **Annals [...]**. Cham: Springer, 2018, p. 215-224. Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-99626-4\\_19](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-99626-4_19). Acesso em:20 mar. 2021.

EYDI, A.; ALAVI, H.. Vehicle Routing Problem in Reverse Logistics with Split Demands of Customers and Fuel Consumption Optimization. **Arabian Journal for Science and Engineering**, v. 44, n. 3, p. 2641-2651, 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13369-018-3311-2>. Acesso em:20 mar. 2021.

FALLAH, M.; TAVAKKOLI-MOGHADDAM, R.; SALAMATBAKHSH-VARJOVI, A.; ALINAGHIAN, M.. A green competitive vehicle routing problem under uncertainty solved by an improved differential evolution algorithm. **International Journal of Engineering, Transactions A: Basics**, v. 32, n. 7, p. 976, 981, 2019. Disponível em: [https://www.ije.ir/article\\_91331.html](https://www.ije.ir/article_91331.html). Acesso em:20 jun. 2021.

FERREIRA, J. C.; STEINER, M. T. A.; CANGIOLIERI JUNIOR, O.. Multi-objective optimization for the green vehicle routing problem: A systematic literature review and future directions. **Cogent Engineering**, v. 7, n. 1, p. 1-33, 2020. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23311916.2020.1807082>. Acesso em:20 mar. 2021.

FIGLIOZZI, M. A.. The impacts of congestion on time-definitive urban freight distribution networks CO<sub>2</sub> emission levels: Results from a case study in Portland, Oregon. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 19, n. 5, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0968090X10001634> p. 766-778, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0968090X10001634>. Acesso em:20 mar. 2021.



FIGLIOZZI, M.; SAENZ, J.; FAULIN, J.. Minimization of urban freight distribution lifecycle CO2e emissions: Results from an optimization model and a real-world case study. **Transport Policy**, v. 86, p. 60-68, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0967070X17303426>. Acesso em:20 mar. 2021.

FU, J.; JENELIUS, E. Transport efficiency of off-peak urban goods deliveries: A Stockholm pilot study. **Case Studies on Transport Policy**, v. 6, n. 1, p. 156–166, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213624X17300147>. Acesso em:20 abr. 2021.

GAJANAND, M. S.; NARENDRAN, T. T.. Green route planning to reduce the environmental impact of distribution. **International Journal of Logistics Research and Applications**, v. 16, n. 5, p. 410-432, 2013. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13675567.2013.831400>. Acesso em:20 mar. 2021.

GAO, J.; CHEN, H.; DAVE, K.; CHEN, J.; JIA, D.. Fuel economy and exhaust emissions of a diesel vehicle under real traffic conditions. **Energy Science and Engineering**, p. 1781-1792, 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ese3.632>. Acesso em:20 out. 2021.

GARCÍA, J.; YEPES, V.; MARTÍ, J. V.. A hybrid k-means cuckoo search algorithm applied to the counterfort retaining walls problem. **Mathematics**, p.1-22, 2020. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/340551667\\_A\\_Hybrid\\_k-Means\\_Cuckoo\\_Search\\_Algorithm\\_Applied\\_to\\_the\\_Counterfort\\_Retaining\\_Walls\\_Problem](https://www.researchgate.net/publication/340551667_A_Hybrid_k-Means_Cuckoo_Search_Algorithm_Applied_to_the_Counterfort_Retaining_Walls_Problem). Acesso em:20 mar. 2021.

GHANNADPOUR, S. F.; ZARRABI, A.. Multi-objective heterogeneous vehicle routing and scheduling problem with energy minimizing. **Swarm and Evolutionary Computation**, v. 44, p. 728-747, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210650217301475>. Acesso em:20 mar. 2021.

GHEZAVATI, V. R.; SAHIHI, A.; BARZEGAR, A. Using an the intelligent self-modifier of probability of section approach to study the revenue influence of the pricing scheme of recyclable items in a green vehicle routing problem. **Simulation**, v. 94, n.4, p. 359-372, 2018. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0037549717714332>. Acesso em:20 mar. 2021.

GUO, K.. Research on location selection model of distribution network with constrained line constraints based on genetic algorithm. **Neural Computing and Applications**, p. 1679-1689, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00521-019-04257-y>. Acesso em:20 abr. 2021.

GUTIERREZ-FRANCO, E.; MEJIA-ARGUETA, C.; RABELO, L.. Data-driven methodology to support long-lasting logistics and decision making for urban last-mile operations. **Sustainability (Switzerland)**, p. 1-33, 2021. Disponível em: <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/136669>. Acesso em:20 mar. 2022.

HOSSEINI-NASAB, H.; LOTFALIAN, P. Green routing for trucking systems with classification of path types. **Journal of Cleaner Production**, v. 146, p. 228–233, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965261631023X>. Acesso em:20 mar. 2021.

HOOSHMAND, F.; MIRHASSANI, S. A.. Time dependent green VRP with alternative fuel powered vehicles. **Energy Systems**, v. 10, n. 3, p. 721-756, 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12667-018-0283-y>. Acesso em:20 mar. 2021.

HOSSEINI BIDI, A.; MOVAHEDI, Z.; MOVAHEDI, Z.. A fog-based fault-tolerant and QoE-aware service composition in smart cities. **Transactions on Emerging Telecommunications Technologies**, p. 1-20, 2021. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ett.4326>. Acesso em:20 fev. 2022.

HOU, C.; JIANG, H.. Methodology of emergency medical logistics for multiple epidemic areas in public health emergency. **PLoS ONE**, v. 16, n. 7, 2021. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0253978>. Acesso em:20 mar. 2022.

HSU, W. K. K.; HUANG, S. H. S.; TSENG, W. J.. Evaluating the risk of operational safety for dangerous goods in airfreights – A revised risk matrix based on fuzzy AHP. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, p. 235-247, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1361920915301814>. Acesso em:20 mar. 2021.

ISO 31000:2009. Risk Management: Principles and Guidelines. **Standards Australia**, Sydney, 2009. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/43170.html>. Acesso em:20 mar. 2021.

JABALI, O.; VAN WOENSEL, T.; DE KOK, A. G.. Analysis of travel times and CO2 emissions in time-dependent vehicle routing. **Production and Operations Management**, v. 21, n. 6, p. 1060-1074, 2012. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1937-5956.2012.01338.x>. Acesso em:20 mar. 2021.

JABIR, E.; PANICKER, V. V.; SRIDHARAN, R. Multi-objective Optimization Model for a Green Vehicle Routing Problem. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 189, p. 33-39, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042815019825>. Acesso em:20 jun. 2021.

\_\_\_\_\_. Design and development of a hybrid ant colony-variable neighbourhood search algorithm for a multi-depot green vehicle routing problem. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 57, p. 422-457, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1361920917301864>. Acesso em:20 mar. 2021.

JUAN, A. A.; FAULIN, J.; PÉREZ-BERNABEU, E.; JOZEFOWIEZ, N.. Horizontal Cooperation in Vehicle Routing Problems with Backhauling and Environmental Criteria. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 111, p. 1133-1141, 2014. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042814001499>. Acesso em:20 set. 2021.

KALENOJA, H.; KALLIONPÄÄ, E.; RANTALA, J.. Indicators of energy efficiency of supply chains. **International Journal of Logistics Research and Applications**, v. 14, n. 2, p. 77-95, 2011. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/233291817\\_Indicators\\_of\\_energy\\_efficiency\\_of\\_supply\\_chains](https://www.researchgate.net/publication/233291817_Indicators_of_energy_efficiency_of_supply_chains). Acesso em:20 mar. 2021.

KANCHARLA, S. R.; RAMADURAI, G.. Incorporating driving cycle based fuel consumption estimation in green vehicle routing problems. **Sustainable Cities and Society**, v. 40, p. 214-221, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670717312805>. Acesso em:20 abr. 2021.

KARAM, A.; REINAU, K. H.; ØSTERGAARD, C. R.. Horizontal collaboration in the freight transport sector: barrier and decision-making frameworks. **European Transport Research Review**, v. 13, n. 53, 2021. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/354721177\\_Horizontal\\_collaboration\\_in\\_the\\_freight\\_transport\\_sector\\_barrier\\_and\\_decision-making\\_frameworks](https://www.researchgate.net/publication/354721177_Horizontal_collaboration_in_the_freight_transport_sector_barrier_and_decision-making_frameworks). Acesso em:20 jan. 2022.

KAWTUMMACHAI, R.; SHOHDOHJI, T.. Suitable Gvrp Algorithm Selection for Fuel Consumption Minimization in a Practical Product Distribution Case Study. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL MANAGEMENT*, 2016, Hiroshima. **Annals** [...]. Hiroshima: ICIM, 2016, p. 1-7. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/308692963\\_suitable\\_gvrp\\_algorithm\\_selection\\_for\\_fuel\\_consumption\\_minimization\\_in\\_a\\_practical\\_product\\_distribution\\_case\\_study](https://www.researchgate.net/publication/308692963_suitable_gvrp_algorithm_selection_for_fuel_consumption_minimization_in_a_practical_product_distribution_case_study). Acesso em:20 mar. 2021.

KIBA-JANIAK, M.. Risk Management in the Field of Urban Freight Transport. **Transportation Research Procedia**, p. 165-178, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146516306317>. Acesso em:20 mar. 2021.

KOCKELMAN, K. M.. Travel behavior as function of accessibility, land use mixing, and land use balance: Evidence from San Francisco Bay Area. **Transportation Research Record**, p. 116-125, 1997. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.3141/1607-16> Area. Acesso em:20 mai. 2021.

KOÇ, Ç.; KARAOGLAN, I.. The green vehicle routing problem: A heuristic based exact solution approach. **Applied Soft Computing Journal**, v. 39, p. 154-164, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1568494615007085>. Acesso em:20 jun. 2021.

KRAMER, R.L; SUBRAMANIAN, A.; VIDAL, T.; CABRAL, L. D. A. F. A matheuristic approach for the Pollution-Routing Problem. **European Journal of Operational Research**, v. 243, p. 523-539, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221714009928>. Acesso em:20 mar. 2021.

KÜÇÜKOĞLU, İ.; ENE, S.; AKSOY, A.; ÖZTÜRK, N.. A memory structure adapted simulated annealing algorithm for a green vehicle routing problem. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 5, p. 3279-3297, 2015. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-014-3253-5>. Acesso em:20 mar. 2021.

KUMAR, M.; KUMAR, D.. Green logistics optimization model for forward and reverse logistics using genetic algorithm. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND ENGINEERING MANAGEMENT*, 2015, Singapore. **Annals [...]**. Singapore: IEEE, 2015, p. 717-720. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7385741>. Acesso em:20 mai. 2021.

LEU, J. D.; KRISCHKE, A.; LEE, Y. P.; LEE, L. J. H.; HUANG, Y. W.. A Green Vehicle Routing Method for the Regional Logistics Center. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND ENGINEERING MANAGEMENT*, 2019, Bangkok. **Annals [...]**. Bangkok: IEEE, 2019, p. 71-75. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8607739>. Acesso em:20 mar. 2021.

LEGGIERI, V.; HAOUARI, M.. A practical solution approach for the green vehicle routing problem. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 104, p. 97-112, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1366554517302880>. Acesso em:20 set. 2021.

LETNIK, T.; FARINA, A.; MENCINGER, M.; LUPI, M.; BOŽIČNIK, S.. Dynamic management of loading bays for energy efficient urban freight deliveries. **Energy**, p. 916-928, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544218311903>. Acesso em:20 mar. 2021.

LI, J.; ENSAFIAN, H.; BELL, M. G.H.; GEERS, D. G.. Deploying autonomous mobile lockers in a two-echelon parcel operation. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 128, p. 1-24, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0968090X2100173X>. Acesso em:20 jan. 2022.

LI, H.I; LV, T.; LI, Y.. The tractor and semitrailer routing problem with many-to-many demand considering carbon dioxide emissions. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 34, p. 68-82, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136192091400145X>. Acesso em:20 mar. 2021.

LI, Y.; SOLEIMANI, H.; ZOHAL, M.. An improved ant colony optimization algorithm for the multi-depot green vehicle routing problem with multiple objectives. **Journal of Cleaner Production**, v. 227, p. 1161-1172, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619308790>. Acesso em:20 out. 2021.

LI, J.; WANG, D.; ZHANG, J.. Heterogeneous fixed fleet vehicle routing problem based on fuel and carbon emissions. **Journal of Cleaner Production**, v. 201, p. 896-908, 2018.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652618324119>. Acesso em:20 mar. 2021.

LI, H.; XIONG, K.; XIE, X.. Multiobjective Contactless Delivery on Medical Supplies under Open-Loop Distribution. **Mathematical Problems in Engineering**, p. 1-7, 2021. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/mpe/2021/9986490/>. Acesso em:20 jan. 2022.

LIAO, T. Y.. On-Line Vehicle Routing Problems for Carbon Emissions Reduction. **Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering**, v. 32, n. 12, p. 1047-1063, 2017. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/320378058\\_On-Line\\_Vehicle\\_Routing\\_Problems\\_for\\_Carbon\\_Emissions\\_Reduction](https://www.researchgate.net/publication/320378058_On-Line_Vehicle_Routing_Problems_for_Carbon_Emissions_Reduction). Acesso em:20 mar. 2021.

LIIMATAINEN, H.; STENHOLM, P.; TAPIO, P.; MCKINNON, A.. Energy efficiency practices among road freight hauliers. **Energy Policy**, v. 50, p. 833–842, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421512007318>. Acesso em:20 mai. 2021.

LIIMATAINEN, H.; NYKÄNEN, L.; ARVIDSSON, N.; HOVI, I. B.; JENSEN, T. C.; ØSTLI, V.. Energy efficiency of road freight hauliers-A Nordic comparison. **Energy Policy**, v. 67, p. 378–387, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421513012044>. Acesso em:20 mai. 2021.

LIIMATAINEN, H.; PÖLLÄNEN, M.. The impact of sectoral economic development on the energy efficiency and CO2 emissions of road freight transport. **Transport Policy**, v. 27, p. 150–157, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0967070X13000085>. Acesso em:20 mar. 2021.

LIN, C.; CHOY, K. L.; HO, G. T. S.; CHUNG, S. H.; LAM, H. Y.. Survey of Green Vehicle Routing Problem: Past and future trends. **Expert Systems with Applications**, v. 41, n. 4, p. 1118-1138, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095741741300609X>. Acesso em:20 set. 2021.

LIN, C.; CHOY, K. L.; HO, G. T. S.; NG, T. W.. A Genetic Algorithm-based optimization model for supporting green transportation operations. **Expert Systems with Applications**, v. 41, n. 7, p. 3284-3296, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417413009524>. Acesso em:20 mar. 2021.

LINGAITIENĖ, O.; MERKEVIČIUS, J.; DAVIDAVIČIENĖ, V.. The model of vehicle and route selection for energy saving. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 4528, p. 1-20, 2021. Disponível em: <https://vb.vgtu.lt/object/elaba:92569181/>. Acesso em:20 jan. 2022.

LIU, X.; QI, M.; CHENG, C.. Green vehicle routing problem with path flexibility. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND ENGINEERING MANAGEMENT, 2017, Singapore. Annals [...].* Singapore: IEEE, 2017, p.

1037-1041. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8290050>. Acesso em:20 mar. 2021.

LOVINS, A. B. Energy Efficiency, Taxonomic Overview. **Encyclopedia of Energy**, v. 2, p. 383-401, 2004. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/255664003\\_Energy\\_Efficiency\\_Taxonomic\\_Overview](https://www.researchgate.net/publication/255664003_Energy_Efficiency_Taxonomic_Overview). Acesso em:20 mar. 2021.

MACRINA, G.; LAPORTE, G.; GUERRIERO, F.; DI PUGLIA PUGLIESE, L.. An energy-efficient green-vehicle routing problem with mixed vehicle fleet, partial battery recharging and time windows. **European Journal of Operational Research**, v. 276, n. 3, p. 971-982, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037722171930102X>. Acesso em:20 mar. 2021.

MADANKUMAR, S.; RAJENDRAN, C.. Mathematical models for green vehicle routing problems with pickup and delivery: A case of semiconductor supply chain. **Computers and Operations Research**, v. 89, p. 183-192, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0305054816300636>. Acesso em:20 mar. 2021.

MAJIDI, S.; HOSSEINI-MOTLAGH, S. M.; YAGHOUBI, S.; JOKAR, A.. Fuzzy green vehicle routing problem with simultaneous pickup-delivery and time windows. **RAIRO - Operations Research**, v. 51, n. 4, p. 1151-1176, 2017. Disponível em: <https://www.rairo-ro.org/articles/ro/abs/2017/04/ro160108/ro160108.html>. Acesso em:20 mar. 2021.

MARTINS-TURNER, K.; GRAHLE, A.; NAGEL, K.; GÖHLICH, D.. Electrification of Urban Freight Transport - A Case Study of the Food Retailing Industry. **Procedia Computer Science**, p. 757-763, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050920306177>. Acesso em:20 mar. 2021.

MCKINNON, A.C. Chapter 12: Freight transport and logistics. *In*: STANLEY, J.; HENSHER, D. A. (Ed). **A Research Agenda for Transport Policy**, Cheltenham, Edward Elgar Publishing, 2019, p. 99–107.

MCKINNON, A.C.; CULLINANE, S.; BROWNE, M.; WHITEING, A.. **Green Logistics: Improving the Environmental Sustainability of Logistics**. London: Kogan Page, 2010. 1.ed. Disponível em: [https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/ip/LOGISTIK/document%20\(9\).pdf](https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/ip/LOGISTIK/document%20(9).pdf). Acesso em:20 mar. 2021.

MESSAOUD, E.; EL BOUZEKRI EL IDRISSE, A.; ALAOUI, A. E.. The green dynamic vehicle routing problem in sustainable transport. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON LOGISTICS OPERATIONS MANAGEMENT, v. 4, 2018, France. **Proceedings** [...]. France: IEEE, 2018, p. 1-6. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8378096>. Acesso em:20 mar. 2021.

MILER, R. K.; KISIELEWSKI, M. J.; BRZOZOWSKA, A.; KALINICHENKO, A.. Efficiency of Telematics Systems in Management of Operational Activities in Road Transport

Enterprises. **Energies**, v. 13, n. 4906, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/18/4906>. Acesso em:20 mar. 2021.

MIRHEDAYATIAN, S. M.; YAN, S.. A framework to evaluate policy options for supporting electric vehicles in urban freight transport. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, p. 22-38, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1361920917305576>. Acesso em:20 mar. 2021.

MOLINA, J. C.; EGUIA, I.; RACERO, J.; GUERRERO, F.. Multi-objective Vehicle Routing Problem with Cost and Emission Functions. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 160, p. 254-263, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042814062387>. Acesso em:20 jun. 2021.

MOUTAOUKIL, A.; NEUBERT, G.; DERROUCHE, R.. A Comparison of Homogeneous and Heterogeneous Vehicle Fleet Size in Green Vehicle Routing Problem. **IFIP Advances in Information and Communication Technology**, v. 439, p. 450-457, 2014. Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-44736-9\\_55](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-44736-9_55). Acesso em:20 jun. 2021.

MOYSIADIS, V.; TSOLAKIS, N.; KATIKARIDIS, D.; SØRENSEN, C. G.; PEARSON, S.; BOCHTIS, D.. Mobile robotics in agricultural operations: A narrative review on planning aspects. **Applied Sciences (Switzerland)**, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/10/3453>. Acesso em:20 mar. 2021.

MUÑUZURI, J.; CORTÉS, P.; ONIEVA, L.; GUADIX, J.. Application of supply chain considerations to estimate urban freight emissions. **Ecological Indicators**, p. 35-44, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1470160X17308208>. Acesso em:20 mar. 2021.

NAIK, N.; GRACE, P.; JENKINS, P.; NAIK, K.; SONG, J.. An Evaluation of Potential Attack Surfaces Based on Attack Tree Modelling and Risk Matrix Applied to Self-Sovereign Identity. **Computers & Security**, v. 120, n. 102808, p. 1-17, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167404822002024>. Acesso em:10 mar. 2022.

NAVARRO, C.; ROCA-RIU, M.; FURIÓ, S.; ESTRADA, M. Designing New Models for Energy Efficiency in Urban Freight Transport for Smart Cities and its Application to the Spanish Case. **Transportation Research Procedia**, v. 12, p. 314–324, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146516000697>. Acesso em:20 mar. 2021.

NORMASARI, N. M. E.; YU, V. F.; BACHTIYAR, C.; SUKOYO. A simulated annealing heuristic for the capacitated green vehicle routing problem. **Mathematical Problems in Engineering**, p. 1-18, 2019. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/mpe/2019/2358258/>. Acesso em:20 mar. 2021.

NORRMAN, A.; JANSSON, U.. Ericsson's proactive supply chain risk management approach after a serious sub-supplier accident. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, p. 434–456, 2004. Disponível em:

<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/09600030410545463/full/html>. Acesso em:20 mar. 2021.

NOVAK, J.D.; CAÑAS, A.J.. The Theory Underlying Concept Maps and How to Construct and Use Them. **Florida Institute for Human and Machine Cognition**, Parana, Brazil, Vol. 5, No. 1, pp.9–29, 2008. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/215439441\\_The\\_Theory\\_Underlying\\_Concept\\_Maps\\_and\\_How\\_to\\_Construct\\_Them](https://www.researchgate.net/publication/215439441_The_Theory_Underlying_Concept_Maps_and_How_to_Construct_Them). Acesso em:20 mar. 2021.

OBERSCHIEDER, M.; ZAZGORNİK, J.; HENRIKSEN, C. B.; GRONALT, M.; HIRSCH, P.. Minimizing driving times and greenhouse gas emissions in timber transport with a near-exact solution approach. **Scandinavian Journal of Forest Research**, v. 28 (5), p. 493-506, 2013. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02827581.2012.758309>. Acesso em:20 mar. 2021.

OLAPIRIYAKUL, S.; NGUYEN, T. T.. Land use and public health impact assessment in a supply chain network design problem: A case study. **Journal of Transport Geography**, p. 70-81, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0966692318304927>. Acesso em:20 mai. 2021.

OLGUN, B.; KOÇ, Ç.; ALTIPARMAK, F.. A hyper heuristic for the green vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery. **Computers and Industrial Engineering**, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036083522030680X>. Acesso em:10 mar. 2022.

OLIVEIRA, C. M.; D'AGOSTO, M. A.. **Guia de Referências em Sustentabilidade**. 1. ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Transporte Sustentável (IBTS), 2017, 113p. Disponível em: <http://plvb.org.br/wp-content/uploads/2018/07/Guia-de-Referencias-em-Sustentabilidade-2.pdf>. Acesso em:20 mar. 2021.

OLIVEIRA, C. M.; D'AGOSTO, M. A.; MELLO, A. L. D.; ASSUMPÇÃO, F. .C.; GONÇALVES, F. S.; GONÇALVES, D. N. S.. Identificando os desafios e as boas práticas para o transporte urbano de cargas, por meio de uma revisão bibliográfica sistemática. **Transportes**, 2016, p. 9-19. Disponível em: <https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/1137>. Acesso em:20 abr. 2021.

OLIVEIRA, L. K. de (org). **A logística urbana no Brasil: A inserção do transporte urbano de mercadorias nas políticas públicas**. 1. ed. Rio de Janeiro: PoD Editora, 2019, 134p. Disponível em: <https://podeditora.com.br/wp-content/uploads/2019/04/Livro-A-logistica-urbana-no-Brasil-site.pdf>. Acesso em:20 mar. 2021.

PADDEU, D.; FADDA, P.; FANCELLO, G.; PARKHURST, G.; RICCI, M.. Reduced Urban traffic and emissions within Urban consolidation centre schemes: The case of Bristol. **Transportation Research Procedia**, p. 508-517, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146514001951>. Acesso em:20 mar. 2021.



PERBOLI, G.; ROSANO, M.. Parcel delivery in urban areas: Opportunities and threats for the mix of traditional and green business models. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 99, 2019, p. 19-36. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0968090X19300221>. Acesso em:20 abr. 2021.

PIECYK, M. **Analysis of long-term freight transport, logistics and related CO2 trends on a business-as-usual basis**. PhD Thesis (Doctor of Philosophy) - Heriot-Watt University, Edinburgh, 2010, p. 377. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/29824742.pdf>. Acesso em:20 mar. 2021.

PINHEIRO, K. AMC lista vias de maior fluxo em Fortaleza; Saiba como fugir delas. **Diário do Nordeste**, Fortaleza, 13 de jan. de 2012.

POONTHALIR, G.; NADARAJAN, R.. A Fuel Efficient Green Vehicle Routing Problem with varying speed constraint (F-GVRP). **Expert Systems with Applications**, v. 100, p. 131-144, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417418300678>. Acesso em:20 mar. 2021.

\_\_\_\_\_. Green vehicle routing problem with queues. **Expert Systems with Applications**, v. 138, p. 112823, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417419305251>. Acesso em:20 mar. 2021.

POONTHALIR, G.; NADARAJAN, R.; GEETHA, S. CO<sub>2</sub> and Idling Emission Estimation for Vehicle Routing Problem with Mid Way Halts. **Advances in Intelligent Systems and Computing**, v. 527, p. 167-176, 2017. Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-47364-2\\_17](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-47364-2_17). Acesso em:20 jun. 2021.

POONTHALIR, G.; NADARAJAN, R.; SENTHIL KUMAR, M.. Hierarchical optimization of green routing for mobile advertisement vehicle. **Journal of Cleaner Production**, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620307083>. Acesso em:20 abr. 2021.

PRAET, S.; MARTENS, D.. Efficient Parcel Delivery by Predicting Customers' Locations. **Decision Sciences**, p. 1202-1231, 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/deci.12376>. Acesso em:20 mar. 2021.

PRAJAPATI, D.; ZHOU, F.; ZHANG, M.; CHELLADURAI, H.; PRATAP, S.. Sustainable logistics network design for multi-products delivery operations in B2B e-commerce platform. **Sadhana - Academy Proceedings in Engineering Sciences**, p. 1-13, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12046-021-01624-1>. Acesso em:10 mar. 2022.

QAZI, A.; AKHTAR, P.. Risk matrix driven supply chain risk management: Adapting risk matrix based tools to modelling interdependent risks and risk appetite. **Computers and Industrial Engineering**, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360835218303747>. Acesso em:20 mar. 2021.

QIAN, J.; EGGLESE, R.. Finding Least Fuel Emission Paths in a Network with Time-Varying Speeds. **Networks**, v. 63 (1), p. 96-106, 2014. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/42413711.pdf>. Acesso em:20 abr. 2021.

QIU, F.; ZHANG, G.; CHEN, P. K.; WANG, C.; PAN, Y.; SHENG, X.; KONG, D.. A novel multi-objective model for the cold chain logistics considering multiple effects. **Sustainability (Switzerland)**, p. 1-28, 2020. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/348631236\\_A\\_Novel\\_Multi-Objective\\_Model\\_for\\_the\\_Cold\\_Chain\\_Logistics\\_Considering\\_Multiple\\_Effects](https://www.researchgate.net/publication/348631236_A_Novel_Multi-Objective_Model_for_the_Cold_Chain_Logistics_Considering_Multiple_Effects). Acesso em:20 mar. 2021.

RABBANI, M.; TAHAEI, Z.; FARROKHI-ASL, H.; SARAVI, N. A.. Using meta-heuristic algorithms and hybrid of them to solve multi compartment Vehicle Routing Problem. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND ENGINEERING MANAGEMENT*, 2017, Singapore. **Annals [...]**. Singapore: IEEE, 2017, p. 1022-1026. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8290047>. Acesso em:20 jun. 2021.

RAEESI, R.; ZOGRAFOS, K. G.. The multi-objective Steiner pollution-routing problem on congested urban road networks. **Transportation Research Part B: Methodological**, p. 457-485, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0191261518305514>. Acesso em:20 mar. 2021.

RAMOS, T. R. P.; GOMES, M. I.; BARBOSA-PÓVOA, A. P.. Economic and environmental concerns in planning recyclable waste collection systems. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 62, p. 34-54, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1366554513001968>. Acesso em:20 mai. 2021.

\_\_\_\_\_. Planning a sustainable reverse logistics system: Balancing costs with environmental and social concerns. **Omega (United Kingdom)**, v. 48, p. 60-74, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0305048313001175.pdf>. Acesso em:20 mar. 2021.

REINALDI, M.; REDI, A. A. N. P.; PRAKOSO, D. F.; WIDODO, A. W.; WIBISONO, M. R.; SUPRANARTHA, A.; LIPERDA, R. I.; NADLIFATIN, R.; PRASETYO, Y. T.; SAKTI, S.. Solving the two echelon vehicle routing problem using simulated annealing algorithm considering drop box facilities and emission cost: A case study of reverse logistics application *in: Indonesia*. **Algorithms Journal**, v. 14, n. 259, 2021, p. 1-17. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-4893/14/9/259>. Acesso em:10 jan. 2022.

REN, X. Y.; CHEN, C. F.; XIAO, Y. L.; DU, S. C.. Path optimization of cold chain distribution with multiple distribution centers considering carbon emissions. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 17 (4), p. 9437-9453, 2019. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20193372040>. Acesso em:10 mar. 2021.

REZAEI, N.; EBRAHIMNEJAD, S.; MOOSAVI, A.; NIKFARJAM, A.. A green vehicle routing problem with time windows considering the heterogeneous fleet of vehicles: Two metaheuristic algorithms. **European Journal of Industrial Engineering**, v. 13 (4), p. 507-

535, 2019. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/330401626\\_A\\_green\\_vehicle\\_routing\\_problem\\_with\\_time\\_windows\\_considering\\_the\\_heterogeneous\\_fleet\\_of\\_vehicles\\_Two\\_metaheuristic\\_algorithms](https://www.researchgate.net/publication/330401626_A_green_vehicle_routing_problem_with_time_windows_considering_the_heterogeneous_fleet_of_vehicles_Two_metaheuristic_algorithms). Acesso em:20 mar. 2021.

RIBEIRO, J. P.; CASSIANO, D. R.; BERTONCINI, B. V.; CASTELO BRANCO, V. T. F.; SOUSA, F. F. L. M.; QUINTANILHA, W. F. L.; CAVALCANTE, R. M.; SANTIAGO, I. S.; FERNANDES, G. M.. Compreensão da formação de NO<sub>2</sub> proveniente das operações de transporte urbano e suas relações com agentes causais. **Transportes**, p. 209-223, 2019. Disponível em: <https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/1728>. Acesso em:20 mai. 2021.

ROYAL SOCIETY. **Analysis, Perception and Management**. London, 1992.

RUGE, Dr.. Risk Matrix as Tool for Risk Assessment in the Chemical Process Industries. **Probabilistic Safety Assessment and Management**, p. 2693-2698, 2004. Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-0-85729-410-4\\_431](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-0-85729-410-4_431). Acesso em:10 mar. 2021.

SAHARIDIS, G. K. D.. Environmental Externalities Score: a new emission factor to model green vehicle routing problem. **Energy Systems**, v. 8 (4), p. 673-691, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12667-015-0147-7>. Acesso em:20 mar. 2021.

SARGENT, R. G.. Verification and validation of simulation models. *In*: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2010, Baltimore. **Proceedings [...]**. Baltimore: IEEE, 2010, p. 166-183. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5679166>. Acesso em:10 mar. 2021.

SAWIK, B.; FAULIN, J.; PÉREZ-BERNABEU, E.. Multi-Criteria Optimization for Fleet Size with Environmental Aspects. **Transportation Research Procedia**, v. 27, p. 61-68, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146517309535>. Acesso em:10 mai. 2021.

\_\_\_\_\_. A Multicriteria Analysis for the Green VRP: A Case Discussion for the Distribution Problem of a Spanish Retailer. **Transportation Research Procedia**, v. 22, p. 305-313, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146517301722>. Acesso em:20 mar. 2021.

SBIHI, A.; EGGLESE, R. W. Combinatorial optimization and Green Logistics. **Annals of Operations Research**, p. 159–175, 2010. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10288-007-0047-3>. Acesso em:10 mar. 2021.

SERRANO-HERNÁNDEZ, A.; FAULÍN, J.. Internalizing negative externalities in vehicle routing problems through green taxes and green tolls. **SORT : statistics and operations research transactions**, v. 43 (1), p. 75-94, 2019. Disponível em: <https://raco.cat/index.php/SORT/article/view/356182>. Acesso em:20 mar. 2021.

SHUKLA, S.; ZIA, H. Energy efficiency in India: Policies and their impacts. **Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy**, v. 11, n. 10, p. 982–989, 2016. Disponível em:

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15567249.2013.799245?journalCode=uesb20>. Acesso em:10 mai. 2021.

SOLEIMANI, H.; CHAHARLANG, Y.; GHADERI, H.. Collection and distribution of returned-remanufactured products in a vehicle routing problem with pickup and delivery considering sustainable and green criteria. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 960-970, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652617324241>. Acesso em:20 mar. 2021.

SONG, D.. A Literature Review, Container Shipping Supply Chain: Planning Problems and Research Opportunities. **Logistics**, p. 41, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2305-6290/5/2/41>. Acesso em:20 jan. 2022.

SRUTHI, A.; ANBUUDAYASANKAR, S. P.; JEYAKUMAR, G.. Energy efficient green vehicle routing problem. **International Journal of Information Systems and Supply Chain Management**, v. 12, n. 4, p. 27-41, 2019. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/336185016\\_Energy-Efficient\\_Green\\_Vehicle\\_Routing\\_Problem](https://www.researchgate.net/publication/336185016_Energy-Efficient_Green_Vehicle_Routing_Problem). Acesso em:10 mar. 2021.

SU, Y.; FAN, Q. M.. The Green Vehicle Routing Problem from a Smart Logistics Perspective. **IEEE Access**, v. 8, n. 2, p. 839-846, 2020. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8939408>. Acesso em:20 mar. 2021.

SUN, X.; WILMOT, C. G.; KASTURI, T.. Household travel, household characteristics, and land use: An empirical study from the 1994 Portland activity-based travel survey. **Transportation Research Record**, p. 10-17, 1998. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.3141/1617-02>. Acesso em:10 mar. 2021.

SUPATTANANON, N.; AKARARUNGRUANGKUL, R.. The Modified Particle Swarm Optimization for a Special Case of the Assignment Problem: A Case Study in Chicken Transportation. **Mathematical Problems in Engineering**, p. 1-15, 2020. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/mpe/2020/5716985/>. Acesso em:20 jun. 2021.

TEO, J. S.E.; TANIGUCHI, E.; QURESHI, A. G.. Evaluation of Load Factor Control and Urban Freight Road Pricing Joint Schemes with Multi-agent Systems Learning Models. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, p. 62-74, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042814014943>. Acesso em:20 set. 2021.

TIRKOLAEI, E. B.; HADIAN, S.; WEBER, G. W.; MAHDAVI, I.. A robust green traffic-based routing problem for perishable products distribution. **Computational Intelligence**, v. 36, n. 1, p. 80-101, 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/coin.12240>. Acesso em:10 mar. 2021.

TIWARI, A.; CHANG, P. C.. A block recombination approach to solve green vehicle routing problem. **International Journal of Production Economics**, v. 164, p. 379-387, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925527314003533>. Acesso em:20 mar. 2021.

TORO, E. M.; FRANCO, J. F.; ECHEVERRI, M. G.; GUIMARÃES, F. G.; GALLEGO RENDÓN, R. A. Green open location-routing problem considering economic and environmental costs. **International Journal of Industrial Engineering Computations**, v. 8, n. 2, p. 203-216, 2016. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/310620363\\_Green\\_open\\_location-routing\\_problem\\_considering\\_economic\\_and\\_environmental\\_costs](https://www.researchgate.net/publication/310620363_Green_open_location-routing_problem_considering_economic_and_environmental_costs). Acesso em: 20 mar. 2021.

\_\_\_\_\_. A multi-objective model for the green capacitated location-routing problem considering environmental impact. **Computers and Industrial Engineering**, v. 110, p. 114-125, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360835217302176>. Acesso em: 10 mar. 2021.

TURKENSTEEN, M. The accuracy of carbon emission and fuel consumption computations in green vehicle routing. **European Journal of Operational Research**, v. 262, n. 2, p. 647-659, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221717303387>. Acesso em: 10 mar. 2021.

VELARDE, J. M.; GARCÍA, S.; LÓPEZ, M.; BUENO-SOLANO, A.. Implementation of a mathematical model to improve sustainability in the handling of transport costs in a distribution network. **Sustainability (Switzerland)**, p. 1-10, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/1/63>. Acesso em: 20 set. 2021.

WALKER, G.; MANSON, A.. Telematics, urban freight logistics and low carbon road networks. **Journal of Transport Geography**, p. 74-81, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0966692314000672>. Acesso em: 10 mar. 2021.

WANG, Y.; ASSOGBA, K.; FAN, J.; XU, M.; LIU, Y.; WANG, H.. Multi-depot green vehicle routing problem with shared transportation resource: Integration of time-dependent speed and piecewise penalty cost. **Journal of Cleaner Production**, v. 232, p. 12-29, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619318864>. Acesso em: 20 mar. 2021.

WANG, C. N.; DANG, T. T.; LE, T. Q.; KEWCHAROENWONG, P.. Transportation optimization models for intermodal networks with fuzzy node capacity, detour factor, and vehicle utilization constraints. **Mathematics Journal**, Switzerland, v. 8, n. 12, p. 1-27, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2227-7390/8/12/2109>. Acesso em: 20 set. 2021.

WANG, Z.; LENG, L.; WANG, S.; LI, G.; ZHAO, Y.. A Hyperheuristic Approach for Location-Routing Problem of Cold Chain Logistics considering Fuel Consumption. **Computational Intelligence and Neuroscience**, p. 1-17, 2020. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/cin/2020/8395754/>. Acesso em: 20 mar. 2021.

WANG, L.; LU, J.. A memetic algorithm with competition for the capacitated green vehicle routing problem. **Journal of Automatica Sinica**, v. 6, n. 2, p. 516-526, 2019. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8651901>. Acesso em: 10 mar. 2021.

- WANG, Y.; RAN, L.; GUAN, X.; ZOU, Y.. Multi-Depot Pickup and Delivery Problem with Resource Sharing. **Journal of Advanced Transportation**, 2021. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/352067627\\_Multi-Depot\\_Pickup\\_and\\_Delivery\\_Problem\\_with\\_Resource\\_Sharing](https://www.researchgate.net/publication/352067627_Multi-Depot_Pickup_and_Delivery_Problem_with_Resource_Sharing). Acesso em: 10 mar. 2022.
- WANG, R.; WANG, J.. Risk Analysis of Out-drum Mixing Cement Solidification by HAZOP and Risk Matrix. *In: ANNALS OF NUCLEAR ENERGY*, v. 147, n. 107679, 2020, Elsevier. **Anais [...]**. Elsevier: 2020, p. 1-10. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306454920303777>. Acesso em: 20 mar. 2021.
- WANG, C.; ZHEN, W. H.. The Hybrid TS-SS Algorithm for Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pick-Up. *In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMPUTATIONAL INTELLIGENCE AND DESIGN*, v. 2, Hangzhou, 2015. **Proceedings [...]**. Hangzhou: 2015, p. 562-565. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7469198>. Acesso em: 10 mar. 2021.
- WANG, R.; ZHOU, J.; YI, X.; PANTELOUS, A. A.. Solving the green-fuzzy vehicle routing problem using a revised hybrid intelligent algorithm. **Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing**, v. 10, p. 321-332, 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12652-018-0703-9>. Acesso em: 20 mar. 2021.
- WEN, T.; ZHANG, Z.; WONG, K. K. L. Multi-objective algorithm for blood supply via unmanned aerial vehicles to the wounded in an emergency situation. **PLoS ONE**, v. 11, n. 5, p. 1-22, 2016. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0155176>. Acesso em: 10 mar. 2021.
- WESSBERG, N.; MOLARIUS, R.; SEPPÄLÄ, J.; KOSKELA, S.; PENNANEN, J.. Environmental risk analysis for accidental emissions. **Journal of Chemical Health and Safety**, p. 24-31, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1871553207000588>. Acesso em: 20 mar. 2021.
- WIBISONO, R. E.; MAHARDI, P.. Analysis on Calculation of Vehicle Operating Cost (VOC) before and after Flyover & Road Widening Operation at Gedangan Intersection in Sidoarjo Regency. **Journal of Physics: Conference Series**, n. 1569, 2020. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1569/4/042017/meta>. Acesso em: 20 mar. 2021.
- WIDBOM, T.; LEPPANIEMI, J.; RANTANEN, P.; SILLBERG, P.; SOINI, J.. Pilot System for Transport Confirmation With Location Awareness. *In: GIS OSTRAVA 2013 - GEOINFORMATICS FOR CITY TRANSFORMATION TENTH INTERNATIONAL SYMPOSIUM*, 2013, Ostrava. **Proceedings [...]**. Ostrava: 2013, p. 231-242. Disponível em: <https://researchportal.tuni.fi/en/publications/pilot-system-for-transport-confirmation-with-location-awareness>. Acesso em: 10 mar. 2021.
- WU, C. Y.; VISUTARROM, T.; CHIANG, T. C.. Green Vehicle Routing Problem: The Tradeoff between Travel Distance and Carbon Emissions. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONTROL, AUTOMATION, ROBOTICS AND VISION*, v. 15, 2018,

Singapore. **Proceeding** [...]. Singapore: IEEE, 2018, p. 1659-1664. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8581240>. Acesso em:20 mar. 2021.

WU, C.; ZHOU, L.; JIN, J.; NING, S.; ZHANG, Z.; BAI, L.. Regional water resource carrying capacity evaluation based on multi-dimensional precondition cloud and risk matrix coupling model. **Science of the Total Environment**, n. 136324, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004896971936320X>. Acesso em:20 mar. 2021.

XU, Z.; ELOMRI, A.; POKHAREL, S.; MUTLU, F.. A model for capacitated green vehicle routing problem with the time-varying vehicle speed and soft time Windows. **Computers and Industrial Engineering**, v. 137, n. 106011, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360835219304693>. Acesso em:20 mar. 2021.

YANG, B.; HU, Z. H.; WEI, C.; LI, S. Q.; ZHAO, L.; JIA, S.. Routing with time-windows for multiple environmental vehicle types. **Computers and Industrial Engineering**, v. 89, p. 150-161, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360835215000480>. Acesso em:10 mar. 2021.

YAN, H.; SONG, M. J.; LEE, H. Y.. A systematic review of factors affecting food loss and waste and sustainable mitigation strategies: A logistics service providers' perspective. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 20, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/20/11374>. Acesso em:20 mai. 2022.

YAO, Y.; CAO, Q.; VASILAKOS, A. V. EDAL: An energy-efficient, delay-aware, and lifetime-balancing data collection protocol for heterogeneous wireless sensor networks. **Transactions on Networking**, v. 23, n. 3, p. 810-823, 2015. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6757018>. Acesso em:10 mar. 2021.

YAVUZ, M.. An Iterated Beam Search Algorithm for the Green Vehicle Routing Problem. **Networks**, v. 69, n. 3, p. 126-135, 2017. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/net.21737>. Acesso em:20 mar. 2021.

YIN, J.; YANG, L.; ZHOU, X.; TANG, T.; GAO, Z.. Balancing a one-way corridor capacity and safety-oriented reliability: A stochastic optimization approach for metro train timetabling. **Naval Research Logistics**, v. 66, n. 4, p. 297-320, 2019. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/nav.21847>. Acesso em:20 mar. 2021.

YU, Y.; WANG, S.; WANG, J.; HUANG, M.. A branch-and-price algorithm for the heterogeneous fleet green vehicle routing problem with time windows. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 122, p. 511-527, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0191261518308944>. Acesso em:10 mar. 2021.

YUVAL; FLICSTEIN, B.; BRODAY, D. M.. The impact of a forced reduction in traffic volumes on urban air pollution. **Atmospheric Environment**, p. 428-440, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1352231007008679>. Acesso em:10 jun. 2021.

ZHANG, S.; CAMPBELL, A. M.; EHMKE, J. F.. Impact of congestion pricing schemes on costs and emissions of commercial fleets in urban áreas. **Networks**, v. 73, n. 4, p. 466-489, 2019. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/net.21872>. Acesso em:20 mai. 2021.

ZHANG, J.; CAMPBELL, J. F.; SWEENEY, D. C.; HUPMAN, A. C.. Energy consumption models for delivery drones: A comparison and assessment. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 90, n. 102668, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1361920920308531>. Acesso em:20 mar. 2022.

ZHANG, S.; GAJPAL, Y.; APPADOO, S. S.. A meta-heuristic for capacitated green vehicle routing problem. *In: ANNALS OF OPERATIONS RESEARCH*, v. 269, n 1-2, 2018, Elsevier. **Annals** [...]. Elsevier: 2018, p. 753-771. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10479-017-2567-3>. Acesso em:20 mar. 2021.

ZHANG, S.; LEE, C. K.M.; CHAN, H. K.; CHOY, K. L.; WU, Z.. Swarm intelligence applied in green logistics: A literature review. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 37, p. 154-169, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0952197614002218>. Acesso em:20 mar. 2021.

ZHANG, S.; LEE, C. K.M.; CHOY, K. L.; HO, W.; IP, W. H.. Design and development of a hybrid artificial bee colony algorithm for the environmental vehicle routing problem. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 31, p. 85-99, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1361920914000509>. Acesso em:10 mar. 2021.

ZHANG, W.; ZHANG, M.; ZHANG, W.; ZHOU, Q.; ZHANG, X.. What influences the effectiveness of green logistics policies? A grounded theory analysis. **Science of the Total Environment**, v. 714, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720302412>. Acesso em:20 mar. 2021.

ZHOU, F.; HE, Y.; ZHOU, L.. Last Mile Delivery with Stochastic Travel Times Considering Dual Services. **IEEE Access**, v. 7, p. 159013-159021, 2019. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8887148>. Acesso em:10 mar. 2021.

ZHOU, Y.; LEE, G. M. A lagrangian relaxation-based solution method for a green vehicle routing problem to minimize greenhouse gas emissions. **Sustainability (Switzerland)**, v. 9, n. 5, 2017. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/9/5/776>. Acesso em:20 mar. 2021.

ZHU, S.; FU, H.; LI, Y.. Optimization research on vehicle routing for fresh agricultural products based on the investment of freshness-keeping cost in the distribution process. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 14, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/14/8110>. Acesso em:10 mar. 2022.

ZHU, L.; HU, D.. Study on the vehicle routing problem considering congestion and emission factors. **International Journal of Production Research**, v. 57, n. 19, p. 6115-6129; 2019.



Disponível em:

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207543.2018.1533260?journalCode=tprs20>.

Acesso em:20 mar. 2021.

ZIEBUHR, M.; BUER, T.; KOPFER, H.. A column generation-based heuristic for a green vehicle routing problem with an unlimited heterogeneous fleet. *In: SYMPOSIUM SERIES ON COMPUTATIONAL INTELLIGENCE*, 2018, Honolulu. **Proceedings** [...]. Honolulu: IEEE, 2017, p. 1-8. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8285433>. Acesso em:20 mai. 2021.

ZULVIA, F. E.; KUO, R. J.; NUGROHO, D. Y.. A many-objective gradient evolution algorithm for solving a green vehicle routing problem with time windows and time dependency for perishable products. **Journal of Cleaner Production**, v. 242, n. 118428, 2020. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619332986>. Acesso em:20 mar. 2021.

**APÊNDICE A – PESQUISA POR TIPO DE MODELO**

Ano	Autores	Grupo		Tipo de Modelo	
		VRP + GL	VRP + EE	Matemático	Conceitual
2012	Jabali, Van Woensel, De Kok (2012)	x		x	
2012	Burger, Schutter, Hellendoorn (2012)		x	x	
2013	Oberscheider et al. (2013)	x		x	
2013	Gajanand, Narendran (2013)	x		x	
2013	Demir, Van Woensel (2013)	x		x	
2013	Widbom et al. (2013)		x		x
2014	Lin et al. (2014)	x		x	
2014	Demir, Bektas, Laporte (2014)	x			x
2014	Ramos, Gomes, Barbosa-Póvoa (2014)	x		x	
2014	Zhang et al. (2014)	x		x	
2014	Ćirović, Pamučar, Božanić (2014)	x		x	
2014	Lin et al. (2014)	x			x
2014	Molina et al. (2014)	x		x	
2014	Juan et al. (2014)	x			x
2014	Ramos, Gomes, Barbosa-Póvoa (2014)	x		x	
2014	Qian, Eglese (2014)	x		x	
2015	Jabir; Panicker; Sridharan (2015)	x		x	
2015	Kucukoglu et al. (2015)	x		x	
2015	Kramer et al. (2015)	x		x	
2015	Zhang et al. (2015)	x			x
2015	Yang et al. (2015)	x		x	
2015	Cinar, Gakis, Pardalos (2015)	x		x	
2015	Kumar, Kumar (2015)	x		x	
2015	Wang, Zhen (2016)	x		x	
2015	Li, Lv, Li (2015)		x	x	
2016	Wen, Zhang, Wong (2016)	x		x	
2016	Dondo, Mendez (2016)	x		x	
2016	Chatterjee, Greulich, Edelkamp (2016)		x		x
2017	Toro et al. (2017)	x		x	
2017	Andelmin, Bartolini (2017)	x		x	
2017	Dabia, Demir, Van Woensel (2017)	x		x	
2017	Toro et al. (2017)	x		x	
2017	Abdoli et al. (2017)	x		x	
2017	Poonthlir, Nadarajan, Geetha	x		x	

(2017)			
2017	Sawik, Faulin, Pérez-Bernabeu (2017)	x	x
2017	Liao (2017)	x	x
2017	Sawik, Faulin, Pérez-Bernabeu (2017)	x	x
2018	Soleimani, Chaharlang, Ghaderi (2018)	x	x
2018	Leu et al. (2019)	x	x
2018	Exposito-Marquez et al. (2018)	x	x
2018	Dai et al. (2018)		x
2019	Abdoli et al. (2019)	x	x
2019	Xu et al. (2019)	x	x
2019	Sruthi, Anbuudayasankar, Jeyakumar (2019)	x	x
2019	Perboli, Rosano (2019)	x	x
2019	Ghannadpour, Zarrabi (2019)	x	x
2019	Wang et al. (2019)	x	x
2019	Zhang, Campbell, Ehmke (2019)	x	x
2019	Ashtineh, Pishvae (2019)	x	x
2019	Eydi, Alavi (2019)	x	x
2019	Ren et al. (2019)	x	x
2019	Serrano-Hernandez, Faulin (2019)	x	x
2019	Yin et al. (2019)		x
2020	Poonthalir, Nadarajan, Senthil Kumar (2020)	x	x
2020	Ferreira, Steiner, Canciglieri Junior (2020)	x	x
2020	Ceschia, Di Gaspero, Meneghetti (2020)	x	x
2020	Qiu et al. (2020)	x	x
2020	Guo (2020)	x	x
2020	Supattananon, Akararungruangkul (2020)	x	x
2021	Olgun, Koç, Altiparmak (2021)	x	x
2020	Wang et al. (2020)	x	x
2020	García, Yepes, Martí (2020)		x
2020	Wibisono, Mahardi (2020)		x
2020	Busho, Alemayehu (2020)		x
2020	Miler et al. (2020)		x
2020	Praet, Martens (2020)		x
2020	Ceschia, Di Gaspero, Meneghetti (2020)		x
2020	Gao et al. (2020)		x
2020	Velarde et al. (2020)		x
2020	Chen (2020)		x

2020	Moysiadis et al. (2020)	x	x
2021	Cempírek et al. (2021)	x	x
2021	Reinaldi et al. (2021)	x	x
2021	Zhu, Fu, Li (2021)	x	x
2021	Li et al. (2021)	x	x
2021	Li, Xiong, Xie (2021)	x	x
2021	Karam, Reinau, Østergaard (2021)	x	x
2021	Yan, Song, Lee (2021)	x	x
2021	Gutierrez-Franco, Mejia-Argueta, Rabelo (2021)	x	x
2021	Wang et al. (2021)	x	x
2021	Hou, Jiang (2021)	x	x
2021	Prajapati et al. (2021)	x	x
2021	Song (2021)	x	x
2021	Zhang et al. (2021)	x	x
2021	Lingaitienė, Merkevičius, Davidavičienė (2021)	x	x
2021	Hosseini Bidi; Movahedi; Movahedi (2021)	x	x

## APÊNDICE B – TIPOS DE MODELOS MATEMÁTICOS

<b>Autores</b>	<b>Modelo</b>	<b>Descrição</b>
Abdi et al. (2020)	GVRP	Green Vehicle Routing Problem
Abdoli et al. (2017)	VRPBF	vehicle routing problem with bi-fuel vehicles
Abdoli et al. (2019)	GVRP	Green Vehicle Routing Problem
Affi, Derbel, Jarboui (2018)	GVRP	Green vehicle routing problem
Andelmin e Bartolini (2017)	GVRP	Green vehicle routing problem
Andelmin e Bartolini (2019)	GVRP	Green vehicle routing problem
Ashtineh e Pishvae (2019)	AFVRP	Alternative Fuel Vehicle-Routing Problem
Ayadi et al. (2014)	GVRPM	Green Vehicle Routing Problem with multiple trips
Bruglieri, Mancini, Pisacane (2019)	GVRP	Green Vehicle Routing Problem
Bruglieri et al. (2019)	GVRP	Green Vehicle Routing Problem
Bruglieri, Mancini, Pisacane (2019)	GVRP-CAFS	G-VRP with Capacitated AFSs (Alternative Fuel Stations)
Burger, Schutter, Hellendoorn (2012)	VRP-TW	Vehicle routing problem with time-windows
Busho e Alemayehu (2020)	-	Modelo que considera a inclinação das vias no cálculo de emissões e consumo de combustível
Molina et al. (2014)	HVRP	Fixed Heterogeneous Fleet VRP
Ceschia, Di Gaspero, Meneghetti (2020)	VRP	Roteamento como um VRP estendido
Ceschia, Di Gaspero, Meneghetti (2020)	VRP	Modelo voltado ao Problema de Roteamento Refrigerado (RRP)
Chen (2020)	-	Algoritmos inteligentes para otimização da distribuição logística da cadeia de frio
Çimen e Soysal (2017)	GSTDCV RP	Stochastic Time Dependent Capacitated Vehicle Routing Problem
Cinar, Gakis, Pardalos (2015)	CumMTV RP-LD	cumulative multi-trip vehicle routing problem with limited duration
Ćirović, Pamučar, Božanić (2014)	-	Routing of light delivery vehicles by logistics operators
Dabia, Demir, Van Woensel (2017)	PRP	Pollution-routing problem
Dasgupta, Yoon (2017)	VRPTW	VRP with time windows
Demir, Van Woensel (2013)	PDVRPT W	Pickup and delivery pollution-routing problem
Dondo, Mendez (2016)	-	Modelo de distribuição e recuperação, levando em consideração a logística verde
Erdogan, Miller-Hooks (2012)	GVRP	Green Vehicle Routing Problem
Eydi, Alavi (2019)	VRP	Vehicle routing problem
Fallah et al. (2019)	VRP	Vehicle Routing Problem

Gajanand, Narendran (2013)	CVRP	Capacitated vehicle routing problem
Gao et al. (2020)	-	Efeito de acidente de trânsito no consumo de combustível
García, Yepes, Martí (2020)	-	Modelo de cálculo de emissões na construção civil
Ghannadpour, Zarrabi (2019)	VRPTW	Vehicle routing problem with time windows
Ghezavati, Sahihi, Barzegar (2018)	GVRP	Green vehicle routing problem
Guo (2020)	-	Modelo de seleção de localização de rede de distribuição com restrições de linha com base em algoritmo genético
Hooshmand, MirHassani (2019)	TDGVRP-AF	Time-dependent Green Vehicle Routing Problem alternative fuel
Hosseini Bidi; Movahedi; Movahedi (2021)	-	Modelo baseado na composição de serviço tolerante a falhas e ciente de QoE baseada em neblina em cidades inteligentes
Hou, Jiang (2021)	-	Modelo de distribuição aborda uma rede hipotética de logística médica de emergência
Jabali, Van Woensel, De Kok (2012)	E-TDVRP	Emissions based Time-Dependent Vehicle Routing Problem
Jabir; Panicker; Sridharan (2015)	MDVRP	Multi Depot Vehicle Routing Problem
Jabir; Panicker; Sridharan (2017)	CMDGVRP	Capacitated multi-depot green vehicle routing problem
Kancharla, Ramadurai (2018)	CVRP e MDCVRP	Constrained VRP with homogeneous fleet, and Multi-Depot CVRP with homogeneous and heterogeneous fleets
Kawtummachai, Shohdohji (2016)	CVRP	Capacitated Vehicle Routing Problem
Koç, Karaoglan (2016)	GVRP	Green Vehicle Routing Problem
Kramer et al. (2015)	PRP	Pollution-RoutingProblem
Kucukoglu et al. (2015)	GVRPTW	Green vehicle routing problem with time windows
Kumar, Kumar (2015)	VRPSDPTW	Vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick up with time window (full and partial)
Leggieri, Haouari (2017)	GVRP	Green vehicle routing problem
Leu et al. (2019)	FSMVRP	Fleet Size multi-vehicle routing problem
Li et al. (2021)	2E-VRP	Problema de roteamento de veículos de dois níveis
Li, Xiong, Xie (2021)	MDOVRP	Problema de Roteamento de Veículos Abertos Multidépósito Multiobjetivo
Li, Lv, Li (2015)	TSRP-MMD	Tractor and semitrailer routing problem with many-to-many demand
Li, Soleimani, Zohal (2019)	MDGVRP	Multi-depot green vehicle routing problem
Liao (2017)	OL-VRP	On-line VRP
Lin et al. (2014)	VRPSDP	Capacitated Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pickup

Lingaitienė, Merkevičius, Davidavičienė (2021)	-	Modelo de Seleção de Veículo e Rota para Economia de Energia
Liu, Qi, Cheng (2018)	GVRPTW-PF	Green capacitated vehicle routing problem with path flexibility and time window
Macrina et al. (2019)	GVRP	Green Vehicle Routing Problem
Madankumar, Rajendran (2018)	GVRPPD-SSC	Green Vehicle Routing Problems with Pickups and Deliveries in a Semiconductor Supply Chain
Majidi et al. (2017)	FGVRP-SPDTW	Fuzzy green vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery and time windows
Messaoud, El Bouzekri El Idrissi, Alaoui (2018)	DGVRP	Dynamic Green Vehicle Routing Problem
Moutaoukil, Neubert, Derrouiche (2014)	FSMVRP	Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem
Normasari et al. (2019)	CGVRP	Capacitated green vehicle routing problem
Oberscheider et al. (2013)	MDVRPP-DTW	Multi-depot vehicle routing problem with pickup and delivery and time windows
Olgun, Koç, Altıparmak (2021)	G-VRPSPD	Problema de roteamento de veículos verdes com coleta e entrega simultâneas (G-VRPSPD)
Ramos, Gomes, Barbosa-Póvoa (2014)	MDPVRP-I	Multi-depot periodic vehicle routing problem with inter-depot routes
Ramos, Gomes, Barbosa-Póvoa (2014)	MP-MDVRP	Multi-product, multi-depot vehicle routing problem
Poonthalir, Nadarajan (2018)	FGVRP	Fuel efficient Green Vehicle Routing Problem
Poonthalir, Nadarajan (2019)	GVRP-Q	Green Vehicle Routing Problem with Queues
Poonthalir, Nadarajan, Senthil Kumar (2020)	MAVRP	Problema de roteamento de veículos de anúncio para celular
Poonthalir; Nadarajan; Geetha (2017)	VRPMH	Vehicle Routing Problem with Mid way Halts
Prajapati et al. (2021)	-	Modelo que aborda problema integrado de seleção de fornecedores, roteamento de veículos e transporte com fatores de sustentabilidade (econômico e ambiental)
Qian, Eglese (2014)	TDVRP	Time-dependent network VRP
Qiu et al. (2020)	VRP	Modelo para solução de um problema de roteamento de localização verde com logística de cadeia de frio (GLRPCCL)
Rabbani et al. (2018)	MCGVRP	Multi-compartment green vehicle routing problem
Reinaldi et al. (2021)	2EVRP-DF	Modelo de otimização de programação linear inteira é proposto, representando um problema de roteirização de veículos de dois escalões com uma facilidade de drop box (2EVRP-DF)
Ren et al. (2019)	-	Modelo para o custo mínimo de distribuição multi-DC e janela de tempo flexível
Rezaei et al. (2019)	GVRP-TW	Green vehicle routing problem with time windows constraint
Saharidis (2017)	GVRP	Green vehicle routing problem

Soleimani, Chaharlang, Ghaderi (2018)	GVRP	Green vehicle routing problem
Sruthi, Anbuudayasankar, Jeyakumar (2019)	CVRP	Capacitated Vehicle Routing Problem
Su, Fan (2020)	GVRP	Green Vehicle Routing Problem
Supattananon e Akararungruangkul (2020)	-	Método é chamado de otimização de enxame de partículas modificadas (PSO modificado).
Tirkolaee et al. (2020)	GVRPIDs	Green vehicle routing problem with intermediate depots
Tiwari, Chang (2015)	GVRP	Green Vehicle Routing Problem
Toro et al. (2017)	GCLRP	Green Capacitated Location-Routing Problem
Toro et al. (2017)	GOLRP	Green Open Location Routing Problem
Velarde et al. (2020)	VRP	Modelo que um mesmo cliente pode ser visitado mais de uma vez para atender a demanda.
Wang, Lu (2019)	CGVRP	Capacitated green vehicle routing problem
Wang, Zhen (2016)	VRPSDP	Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pick-up
Wang et al. (2020)	-	Modelos de otimização de transporte para redes intermodais com capacidade de nó Fuzzy, fator de desvio e restrições de utilização de veículos
Wang et al. (2021)	MDPDPRS	Otimização do problema de coleta e entrega em vários depósitos com compartilhamento de recursos
Wang et al. (2019)	MDGVRP	Multiple Depot Green Vehicle Routing Problem
Wang et al. (2019)	GFVRP	Green-fuzzy vehicle routing problem
Wen; Zhang; Wong (2016)	CVRP	Capacitated Vehicle Routing Problem
Wu, Visutarrorn, Chiang (2018)	GVRP	Green vehicle routing problem
Xu et al. (2019)	GVRP	Green vehicle routing problem
Yang et al. (2015)	HFVRP	Heterogeneous fleet vehicle routing problem
Yao et al. (2015)	OVRP-TD	Ppen vehicle routing problems with time deadlines
Yavuz (2017)	GVRP	green vehicle routing problem
Yu et al. (2019)	HFGVRP TW	Heterogeneous fleet green vehicle routing problem with time windows
Zhang et al. (2014)	EVRP	Environmental vehicle routing problem
Zhang, Gajpal, Appadoo (2018)	CGVRP	Capacitated green vehicle routing problem
Zhang, Campbell, Ehmke (2019)	MVRPTD TS	VRP problem with multiple vehicles and time-dependent travel speeds.
Zhou, Lee (2017)	GVRP	Green vehicle routing problem
Zhou, He, Zhou (2019)	GVRP-DS-STT	Green vehicle routing problem considering dual services with stochastic travel times
Zhu, Hu (2019)	TD-GVRP	Time-dependent green vehicle routing problem
Zhu, Fu, Li (2021)	-	Modelo de otimização de roteamento de veículos para produtos agrícolas frescos
Ziebuhr; Buer; Kopfer (2018)	EVRP-VC	Emission vehicle routing problem with vehicle classes
Zulvia; Kuo; Nugroho (2020)	GVRP	Green Vehicle Routing Problem



**APÊNDICE C – LISTA DE PUBLICAÇÕES POR FINALIDADE**

Autores	Objetivo do modelo de otimização				
	Combustível	Tempo	Distância	Emissões	Eficiência Logística
Abdi et al. (2020)				X	X
Abdoli et al. (2017)				X	
Abdoli et al. (2019)		X			
Affi; Derbel; Jarboui (2018)	X		X		
Andelmin e Bartolini (2017)				X	X
Andelmin e Bartolini (2019)	X				X
Ashtineh e Pishvae (2019)				X	X
Ayadi et al. (2014)		X		X	
Bruglieri, Mancini, Pisacane (2019)	X		X		
Bruglieri et al. (2019)	X		X		
Bruglieri, Mancini, Pisacane (2019)		X	X		
Ćirović, Pamučar, Božanić (2014)				X	X
Burger, Schutter, Hellendoorn (2012)	X	X			
Molina et al. (2014)				X	
Cimen e Soysal (2017)	X	X		X	
Cinar, Gakis, Pardalos (2015)	X				
Dabia, Demir, Van Woensel (2017)	X	X			X
Dasgupta, Yoon (2017)					
Demir, Van Woensel (2013)	X				X
Erdogan, Miller-Hooks (2012)	X		X		
Eydi, Alavi (2019)	X				X
Fallah et al. (2019)	X			X	
Gajanand, Narendran (2013)	X	X	X	X	
Ghannadpour, Zarrabi (2019)	X	X	X		X
Ghezavati, Sahihi, Barzegar (2018)					X
Hooshmand, MirHassani (2019)	X			X	
Jabali, Van Woensel, De Kok (2012)	X	X		X	
Jabir; Panicker; Sridharan (2015)				X	X
Dondo, Mendez (2016)					X
Jabir; Panicker; Sridharan (2017)	X			X	
Kancharla, Ramadurai (2018)	X				
Kawtummachai, Shohdohji	X		X		

(2016)					
Koç, Karaoglan (2016)	x				
Kramer et al. (2015)				x	x
Kucukoglu et al. (2015)	x			x	
Kumar, Kumar (2015)				x	x
Leggieri, Haouari (2017)	x	x	x		
Leu et al. (2019)				x	x
Li, Lv, Li (2015)				x	
Li, Soleimani, Zohal (2019)		x		x	x
Liao (2017)				x	x
Lin et al. (2014)				x	x
Liu, Qi, Cheng (2018)	x			x	x
Macrina et al. (2019)	x				x
Madankumar, Rajendran (2018)	x				x
Majidi et al. (2017)	x			x	
Messaoud, El Bouzekri El Idrissi, Alaoui (2018)				x	x
Moutaoukil, Neubert, Derrouiche (2014)				x	
Normasari et al. (2019)	x		x		
Oberscheider et al. (2013)	x	x		x	
Ramos, Gomes, Barbosa-Póvoa (2014)					
Ramos, Gomes, Barbosa-Póvoa (2014)			x	x	
Poonthalir, Nadarajan (2018)	x				x
Poonthalir, Nadarajan (2019)		x			x
Poonthalir; Nadarajan; Geetha (2017)				x	x
Qian, Eglese (2014)				x	
Rabbani et al. (2018)				x	x
Rezaei et al. (2019)	x			x	x
Saharidis (2017)	x		x	x	
Soleimani, Chaharlang, Ghaderi (2018)	x			x	x
Sruthi, Anbuudayasankar, Jeyakumar (2019)	x		x		
Su, Fan (2020)	x	x	x	x	x
Tirkolaee et al. (2020)	x	x		x	x
Tiwari, Chang (2015)			x	x	x
Toro et al. (2017)				x	x
Toro et al. (2017)				x	x
Wang, Lu (2019)					x
Wang, Zhen (2016)					x
Wang et al. (2019)		x		x	x
Wang et al. (2019)	x	x		x	x

Wen; Zhang; Wong (2016)			x		x
Wu, Visutarrom, Chiang (2018)			x	x	
Xu et al. (2019)	x			x	
Yang et al. (2015)				x	x
Yao et al. (2015)					
Yavuz (2017)			x		
Yu et al. (2019)				x	
Zhang et al. (2014)				x	x
Zhang, Gajpal, Appadoo (2018)	x				x
Zhang, Campbell, Ehmke (2019)		x			
Zhou, Lee (2017)				x	
Zhou, He, Zhou (2019)					x
Ren et al. (2019)					x
Zhu, Hu (2019)	x				x
Ziebuhr; Buer; Kopfer (2018)	x				
Zulvia; Kuo; Nugroho (2020)				x	x
Poonthalir, Nadarajan, Senthil Kumar (2020)			x	x	
Ceschia, Di Gaspero, Meneghetti (2020)	x				
Qiu et al. (2020)	x	x	x		x
Guo (2020)					x
Supattananon e Akararungruangkul (2020)	x		x		x
Olgun, Koç, Altiparmak (2021)	x				x
Wang et al. (2020)					x
Reinaldi et al. (2021)				x	x
Zhu, Fu, Li (2021)				x	x
Li et al. (2021)					x
Li, Xiong, Xie (2021)				x	x
Wang et al. (2021)					x
Hou, Jiang (2021)		x			
Prajapati et al. (2021)	x				
García, Yepes, Martí (2020)	x			x	
Busho e Alemayehu (2020)	x			x	
Ceschia, Di Gaspero, Meneghetti (2020)	x				
Gao et al. (2020)	x				
Velarde et al. (2020)					x
Chen (2020)					x
Lingaitienė, Merkevičius, Davidavičienė (2021)					x
Hosseini Bidi; Movahedi; Movahedi (2021)		x	x		

## APÊNDICE D – LISTA DE PUBLICAÇÕES POR TIPO DE DADOS

<b>Autores</b>	<b>Real</b>	<b>Hipotético</b>
Abdi et al. (2020)	x	
Abdoli et al. (2017)		x
Abdoli et al. (2019)		x
Affi, Derbel, Jarboui (2018)		x
Andelmin e Bartolini (2017)		x
Andelmin e Bartolini (2019)	x	
Ashtineh e Pishvae (2019)	x	
Ayadi et al. (2014)		x
Bruglieri, Mancini, Pisacane (2019)		x
Bruglieri et al. (2019)		x
Bruglieri, Mancini, Pisacane (2019)		x
Burger, Schutter, Hellendoorn (2012)		x
Busho e Alemayehu (2020)	x	
Molina et al. (2014)	x	
Ceschia, Di Gaspero, Meneghetti (2020)	x	
Ceschia, Di Gaspero, Meneghetti (2020)	x	
Chatterjee, Greulich, Edelkamp (2016)		
Chen (2020)	x	
Cimen e Soysal (2017)	x	
Cinar, Gakis, Pardalos (2015)		x
Ćirović, Pamučar, Božanić (2014)		x
Dabia, Demir, Van Woensel (2017)		x
Dai et al. (2018)		
Demir, Van Woensel (2013)		x
Demir, Bektas, Laporte (2014)		
Dondo, Mendez (2016)	x	
Ene et al. (2016)		
Erdogan, Miller-Hooks (2012)	x	
Exposito-Marquez et al. (2018)		
Eydi, Alavi (2019)		x
Fallah et al. (2019)		x
Gajanand, Narendran (2013)		x
Gao et al. (2020)	x	
García, Yepes, Martí (2020)		x
Ghannadpour, Zarrabi (2019)		x
Ghezavati, Sahihi, Barzegar (2018)		x
Guo (2020)	x	
Hooshmand, MirHassani (2019)		x
Hosseini Bidi; Movahedi; Movahedi (2021)	x	
Hou, Jiang (2021)	x	
Jabali, Van Woensel, De Kok (2012)		x
Jabir, Panicker, Sridharan (2015)		x

Jabir, Panicker, Sridharan (2017)	x	
Juan et al. (2014)		
Kancharla, Ramadurai (2018)	x	
Kawtummachai, Shohdohji (2016)	x	
Koç, Karaoglan (2016)		x
Kramer et al. (2015)		x
Kucukoglu et al. (2015)		x
Kumar, Kumar (2015)		x
Leggieri, Haouari (2017)		x
Leu et al. (2019)		x
Li et al. (2021)		x
Li, Xiong, Xie (2021)		x
Li, Lv, Li (2015)		x
Li, Soleimani, Zohal (2019)		x
Liao (2017)	x	
Lin et al. (2014)		x
Lin et al. (2014)		
Lingaitienė, Merkevičius, Davidavičienė (2021)	x	
Liu, Qi, Cheng (2018)		x
Macrina et al. (2019)		x
Madankumar, Rajendran (2018)		x
Majidi et al. (2017)		x
Messaoud, El Bouzekri El Idrissi, Alaoui (2018)		x
Moutaoukil, Neubert, Derrouiche (2014)	x	
Normasari et al. (2019)		x
Oberscheider et al. (2013)	x	
Olgun, Koç, Altiparmak (2021)		x
Perboli, Rosano (2019)		
Ramos, Gomes, Barbosa-Póvoa (2014)	x	
Ramos, Gomes, Barbosa-Póvoa (2014)	x	
Poonthalir, Nadarajan (2018)		x
Poonthalir, Nadarajan (2019)		x
Poonthalir, Nadarajan, Senthil Kumar (2020)		x
Poonthalir; Nadarajan; Geetha (2017)		x
Prajapati et al. (2021)		x
Qian, Eglese (2014)	x	
Qiu et al. (2020)		x
Rabbani et al. (2018)	x	
Reinaldi et al. (2021)	x	
Ren et al. (2019)		x
Rezaei et al. (2019)	x	
Saharidis (2017)	x	
Sawik, Faulin, Pérez-Bernabeu (2017)		
Sawik, Faulin, Pérez-Bernabeu (2017)		
Serrano-Hernandez, Faulin (2019)		
Soleimani, Chaharlang, Ghaderi (2018)		x

Sruthi, Anbuudayasankar, Jeyakumar (2019)		X
Su, Fan (2020)		X
Supattananon, Akararungruangkul (2020)		X
Tirkolaee et al. (2020)	X	
Tiwari, Chang (2015)		X
Toro et al. (2017)		X
Toro et al. (2017)		X
Velarde et al. (2020)	X	
Wang, Lu (2019)		X
Wang, Zhen (2016)		X
Wang et al. (2020)	X	
Wang et al. (2021)	X	
Wang et al. (2019)	X	
Wang et al. (2019)	X	
Wen; Zhang; Wong (2016)	X	
Widbom et al. (2013)		
Wu, Visutarrom, Chiang (2018)		X
Xu et al. (2019)	X	
Yang et al. (2015)		X
Yavuz (2017)		X
Yin et al. (2019)		
Yu et al. (2019)		X
Zhang et al. (2014)		X
Zhang et al. (2015)		
Zhang, Gajpal, Appadoo (2018)		X
Zhang, Campbell, Ehmke (2019)		X
Zhou, Lee (2017)		X
Zhou, He, Zhou (2019)		X
Zhu, Hu (2019)	X	
Zhu, Fu, Li (2021)		X
Ziebuhr; Buer; Kopfer (2018)		X
Zulvia; Kuo; Nugroho (2020)	X	