

JÚLIO LEITE PARÁ

**OTIMIZAÇÃO DE ROTAS DE LOGÍSTICA REVERSA DE PNEUS
INSERVÍVEIS COM ALGORITMO GENÉTICO NA CIDADE DE
MANAUS**

MANAUS – AM

2022

JÚLIO LEITE PARÁ

**OTIMIZAÇÃO DE ROTAS DE LOGÍSTICA REVERSA DE PNEUS
INSERVÍVEIS COM ALGORITMO GENÉTICO NA CIDADE DE
MANAUS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Gestão de Processos, Sistemas e Ambiental – PPG.EGPSA, do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia – ITEGAM, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

Orientador: Dr. Manoel Henrique Reis
Nascimento

MANAUS – AM

2022

JÚLIO LEITE PARÁ

**OTIMIZAÇÃO DE ROTAS DE LOGÍSTICA REVERSA DE PNEUS
INSERVÍVEIS COM ALGORITMO GENÉTICO NA CIDADE DE
MANAUS**

Esta dissertação foi julgada e aprovada para a obtenção do título de Mestre do Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Gestão de Processos, Sistemas e Ambiental do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia – ITEGAM.

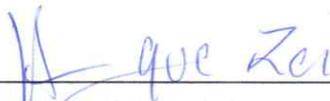
Manaus-AM, 30 de novembro de 2022.



Prof. Dr. Jandecy Cabral Leite

Coordenador do PPG.EGPSA - ITEGAM

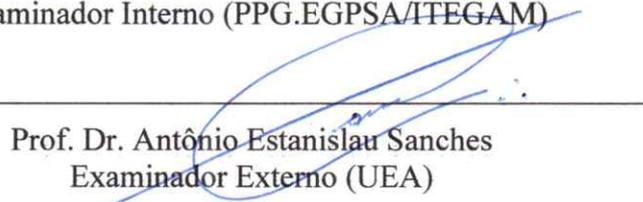
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Manoel Henrique Reis Nascimento
Orientador (PPG.EGPSA/ITEGAM)



Prof. Dr. David Barbosa de Alencar
Examinador Interno (PPG.EGPSA/ITEGAM)



Prof. Dr. Antônio Estanislau Sanches
Examinador Externo (UEA)

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Biblioteca do ITEGAM**

Pará, Julio Leite, 2022 - OTIMIZAÇÃO DE ROTAS DE LOGÍSTICA REVERSA DE PNEUS INSERVÍVEIS COM ALGORITMO GENÉTICO NA CIDADE DE MANAUS / Julio Leite Pará - 2022. 85 f., il: Colorido

Orientador: Dr(a). Manoel Henrique Reis Nascimento

Dissertação: Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia, Programa de Pós Graduação em Engenharia, Gestão de Processos, Sistemas e Ambiental (PPG-EGPSA), Manaus - AM, 2022.

1. Roteirização 2. VRP 3. Otimização de Rotas 4. Pneus Inservíveis

CDD - 1001.ed.2022.49

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai Pai **José Gilson Barboza** e minha Mãe **Clemilda Leite Barboza**, imprescindíveis na minha vida, por tudo que representam para mim e por todos os ensinamentos.

A minha esposa **Marijones Guimarães**, pelo companheiro, pelo amor, apoio, carinho, compreensão e pela sua presença em mais uma etapa de minha vida.

A minha querida filha **Sarah Guimarães**, pelo amor, carinho, e ser imprescindível na minha vida.

Ao meu irmão **Rilk Leite** por tanto carinho e pelo enlace de sua amizade.

Aos amigos **Roberto, Charles Bispo e Erika** pela amizade, pela atenção e afeto nos momentos de dificuldades.

A **Alcerlene de Souza Oliveira**, pelo incentivo, afeto e pela amizade durante toda essa jornada. Pessoa que eu tenho muito respeito, admiração, e que foi muito importante durante esses anos de mestrado.

A Profa. **Iracyane Ullman**, pela orientação, apoio inicial e compartilhar de ideais e inquietações sobre este trabalho.

Ao Prof. **Jandecy Leite**, coordenador do PPG.EGPSA – ITEGAM pelo incentivo em continuar a pesquisa.

Ao meu orientador Prof. Dr. **Manoel Henrique Reis Nascimento**, pela orientação do estudo, pela partilha de saberes e conhecimentos fundamentais no termino deste trabalho. E principalmente por ter me dado a oportunidade de prosseguir com o estudo, ao aceitar me orientar no decorrer desta jornada.

Ao Prof. Dr. **David Barbosa de Alencar** e ao Prof. Dr. **Antônio Estanislau Sanches**, pelo aceite em participar da banca examinadora de qualificação e defesa desta dissertação, pela leitura atenciosa e as contribuições primorosas à qualidade teórica do trabalho.

*Aquele que habita no esconderijo do Altíssimo, à sombra do Onipotente
descansará. (Salmos 91:1)*

Dedicatória

Aos meus pais Maria Clemilda Leite Barboza e José Gilson Barboza, irmão Rilk Leite Pará, minha esposa Marijones Viana Guimarães, minha filha Sarah Guimarães Pará e a toda minha família que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

RESUMO

PARÁ, Júlio Leite. **OTIMIZAÇÃO DE ROTAS DE LOGISTICA REVERSA DE PNEUS INSERVÍVEIS COM ALGORITMO GENÉTICO NA CIDADE DE MANAUS**. 2022. P. 85. Dissertação do programa de pós-graduação em Engenharia, Gestão de Processos, Sistemas e Ambiental (EGPSA), Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM), Manaus, 2022.

A grande quantidade de resíduos sólidos gerados nos centros urbanos, os quais destacam-se os pneus inservíveis é um problema que pode ser otimizado com aplicação do algoritmo genético ligados a rota logística por meio de soluções de problemas de roteirização de veículos que visa reduzir a distância e conseqüentemente o custo da coleta dos pneus. Esse estudo consiste em implementar uma solução com a Metaheurística Algoritmo Genético (GA) para otimizar as rotas de coleta de resíduos sólidos (pneus inservíveis) de uma empresa coletora da cidade de Manaus, visando reduzir o custo dos caminhões coletores, desde a localização da empresa, passando pelas estações ou pontos de coleta até o galpão de armazenamento desses resíduos, considerando os dados reais da Secretaria Municipal de Limpeza Pública (SEMULSP) de Manaus. A metodologia envolveu a implementação do Algoritmo Genético (AG) na otimização das rotas de coleta executadas pelos caminhões de uma empresa coletora da cidade de Manaus, utilizou-se um computador com processador Intel® Core I5™, 8Gb de RAM e sistema operacional Windows 10, software MATLAB versão R2022a, tecnologia do Bing Maps, além de dados da empresa terceirizada (transportadora) contratada pela Secretaria Municipal de Limpeza Pública – SEMULSP fornecido por meio da Comissão Especial de Divulgação da Política de Limpeza Pública – CEDOLP. Os resultados apontaram o modelo das rotas otimizadas com o tempo total das rotas 1 e 2, considerando o tempo de parada para coleta de pneus foram de 5 horas e 48 minutos. Conclui-se que a implementação da Metaheurística Algoritmo Genético (AG) que permite a otimização de rotas de coleta de resíduos sólidos (pneus inservíveis).

Palavras-Chave: Roteirização; VRP; Otimização de Rotas; Pneus Inservíveis.

ABSTRACT

PARÁ, Júlio Leite. **REVERSE LOGISTICS ROUTES OPTIMIZATION OF SPARE TIRES WITH GENETIC ALGORITHM IN THE CITY OF MANAUS**. 2022. P. 85. Dissertation of the graduate program in Engineering, Process, Systems and Environmental Management (EGPSA), Galileo da Amazônia Institute of Technology and Education (ITEGAM), Manaus, 2022.

The large amount of solid waste generated in urban centers, which stand out the unserviceable tires, is a problem that can be optimized with the application of the genetic algorithm linked to the logistic route through solutions of vehicle routing problems that aim to reduce the distance and consequently the cost of collecting the tyres. This study consists of implementing a solution with the Metaheuristic Genetic Algorithm (GA) to optimize the solid waste collection routes (unserviceable tires) of a collection company in the city of Manaus, aiming to reduce the cost of collection trucks, from the location of the company , passing through the stations or collection points to the waste storage shed, considering the actual data from the Municipal Public Cleaning Secretariat (SEMULSP) of Manaus. The methodology involved the implementation of the Genetic Algorithm (GA) in the optimization of the collection routes performed by the trucks of a collection company in the city of Manaus, using a computer with an Intel® Core I5™ processor, 8Gb of RAM and Windows 10 operating system , MATLAB software version R2022a, Bing Maps technology, in addition to data from the outsourced company (transporter) contracted by the Municipal Public Cleaning Secretariat – SEMULSP provided through the Special Commission for Disclosure of the Public Cleaning Policy – CEDOLP. The results pointed to the model of optimized routes with the total time of routes 1 and 2, considering the stop time for tire collection was 5 hours and 48 minutes. It is concluded that the implementation of the Metaheuristic Genetic Algorithm (GA) that allows the optimization of solid waste collection routes (unserviceable tires).

Keywords: Scripting; VRP; Route Optimization; Waste Tires.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Ciclo de pneus inservíveis.....	28
Figura 2.2 - Processo da Logística Reversa em Leite.....	39
Figura 2.3 - Fluxos reversos de pós-consumo.....	43
Figura 2.4 - Fluxos reversos de pós-venda.....	44
Figura 2.5 - Esquema de um Algoritmo Genético.....	57
Figura 3.1 - Fluxo do algoritmo genético.....	64
Figura 4.1 - Mapa de localização dos pontos de coletas.....	67
Figura 4.2 - Gráfico comparativo de bairros e rotas.....	71
Figura 4.3 - Gráfico comparativo de pontos de coletas e viagens.....	72
Figura 4.4 - Gráfico de iteração e distância.....	73
Figura 4.5 - Mapa das rotas otimizadas.....	73
Figura 4.6 - Resultado gerado pelo AG.....	74
Figura 4.7 - Rota 1 simulada no Google Maps.....	74
Figura 4.8 - Rota 2 simulada no Google Maps.....	75

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1 - Quantidade de pneus inservíveis destinados de forma adequada no Brasil.....	31
Gráfico 2.2 - Destinação de Pneus Inservíveis no Brasil (%).....	32

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Tecnologias para destinação de pneus inservíveis.....	29
Quadro 2.2 - Frota de veículos em 2021.....	30
Quadro 2.3 - Quantidade de pneus inservíveis destinados por região brasileira.....	32
Quadro 2.4 - Representatividade das empresas de destinação para a Região Norte.....	33
Quadro 2.5 - Localização dos ecopontos de coletas de coleta de pneus inservíveis no Amazonas cadastrados no IBAMA (2021).....	33
Quadro 2.6 - Apresentação dos Modais, características, vantagens e desvantagens.....	39
Quadro 2.7 - Benefícios ambientais e econômicos da Logística Reserva.....	41
Quadro 2.8 - Estratégias e ganhos de competitividade em logística reversa.....	43
Quadro 2.9 - Apresentação dos Modais, características, vantagens e desvantagens.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Processo Metodológico.....	62
Tabela 4.1 - Delimitação da área de coleta.....	69
Tabela 4.2 - Matriz de distancias.....	70
Tabela 4.3 - Parâmetros do GA.....	71

LISTA DE SIGLAS

ANIP	Associação Nacional da Indústria de Pneumático
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CVRP	Capacited Vehicle Routing Problem
DETRAN	DEPARTAMENTO ESTADUAL DE TRÂNSITO DO AMAZONAS
GA	Algoritmo Genético (<i>Genetic Algorithm</i>)
GPS	Global Positioning System
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MATLAB	(Inglês Matrix Laboratory) é um software de computação numérica de análise e visualização de dados.
PCC	Problema de Carteiro Chinês
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PCV	Problema de Carteiro Viajante
PRV	Problema de Roteirização de Veículos
ReciclAnip	Entidade gestora do sistema de Logística Reversa de pneus inservíveis
SEMULSP	Secretaria Municipal de Limpeza Pública
TSP	Traveling Salesman Problem

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	15
1. INTRODUÇÃO	15
1.1 JUSTIFICATIVA DA DISSERTAÇÃO	18
1.2 OBJETIVOS	19
1.3 ESCOPO DO TRABALHO	19
CAPÍTULO 2	21
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 RESÍDUOS E RESÍDUOS SÓLIDOS	21
2.2 PNEUS: TIPOS, CLASSIFICAÇÃO E DESTINAÇÃO	25
2.3 PNEUS INSERVÍVEIS NO BRASIL E NO AMAZONAS: DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO ATUAL	30
2.4 LOGÍSTICA	34
2.5 PROBLEMA DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS	49
2.6 MODELOS UTILIZADOS PARA SOLUÇÃO DO PROBLEMA DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS NO BRASIL	50
2.7 ALGORITMO GENÉTICO	54
CAPÍTULO 3	60
3. METODOLOGIA	60
3.1 MATERIAIS	60
3.2 MÉTODOS	60
CAPÍTULO 4	65
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	65
4.1 ANÁLISE DO PROBLEMA	65
4.2 ANÁLISE DO RESULTADO	68
CAPÍTULO 5	76
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	76

5.1 CONCLUSÕES	76
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	77
REFERÊNCIAS	78

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, com o aumento da competição do mercado em escala global e os avanços tecnológicos, a agilidade e eficiência na entrega e coleta de produtos, passou a exercer um papel fundamental nos processos logísticos das empresas. Nesse contexto, as empresas vêm buscando meios de otimizar os custos dos processos operacionais através dos conceitos logísticos de roteirização (VECCHI, 2016).

A roteirização é uma atividade cuja finalidade é pesquisar as melhores rotas que um veículo deve fazer através de uma malha, visando minimizar o tempo de operação e a distância percorrida pelas unidades móveis é frequentemente visualizado na tomada de decisão no planejamento logístico. Entretanto, a atuação na decisão de roteirização não está ligada apenas sobre o transporte, sua extensão do tempo em que o produto está em trânsito de influência no total de estoque da cadeia de suprimentos, além do número de embarques que um veículo pode realizar num período determinado de tempo, e também na boa escolha das rotas pode otimizar o nível do serviço fornecido ao cliente (BALLOU, 2017).

O primeiro estudo na literatura científica sobre roteirização pertence a Dantzig & Ramser (1959) intitulado de “Problema de Despacho de Caminhão” ao formularem o problema da roteirização de veículos (*Vehicle Routing Problem – VRP*), motivados por uma aplicação real de distribuição de combustível a postos de venda, cujo o problema consistia no atendimento de um conjunto de consumidores por intermédio de uma frota de veículos, que partem de um ou mais pontos denominados depósitos (CACCALANO; CUNHA 2015).

Clarke e Wright (1964) desenvolveram originalmente um método ou abordagem heurística (método das economias) para resolver o problema de roteamento de veículos; Arpini; Rosa (2015) estudaram o planejamento da logística de suprimento de plataformas Offshore por meio de um modelo matemático 2L-CVRP com frota heterogênea e equilíbrio náutico; Rodrigues et al (2017) abordou a otimização para um problema de roteirização e programação de navios petroleiros, estudando um problema de roteirização e programação de navios para cabotagem de petróleo, motivado pela operação real de uma empresa no litoral brasileiro, a partir da abordagem de otimização, composta por um modelo de programação linear inteira

mista e uma heurística baseada em programação matemática, conhecida como heurísticas *relax-and-fix*.

Pinto et al (2019) abordou o planejamento tático de rotas marítimas para suprimento de plataformas de produção de petróleo, que propõe um modelo matemático baseado no Problema de Roteamento de Veículos Periódico (PRVP) para definição da frota de barcos necessária e de um plano semanal de viagens para cada barco da frota visando o atendimento às demandas das plataformas ao menor custo. O modelo foi testado com instâncias baseadas em dados reais da Bacia Póguar, sendo utilizado o solver CPLEX para resolvê-las.

Gonçalves; Canal; Canal (2020) realizaram uma simulação de rotas para reduzir as distâncias percorridas em serviços de entrega, empregando a heurística *Traveling Salesman Problem* (TSP) ou o Problema do Caixeiro Viajante (PCV), implementada por intermédio de um Software de modelagem de otimização para programação linear. Moro et al (2018) também utilizaram técnicas da pesquisa operacional e o Problema do Caixeiro Viajante (PCV) empregando a abordagem Heurísticas através das heurísticas do Vizinho mais Próximo.

Tormen; Pansera; Kripka (2018), identificaram três estudo de caso, um sobre Otimização das rotas para veículos de manutenção do sistema de iluminação pública na cidade de Passo Fundo (RS) em que aplicou-se o método do Problema do Caixeiro Viajante (PCV), a fim de se determinar os roteiros ótimos e ilustrar a importância dos métodos de otimização para resolução de problemas reais um outro sobre abordagem de roteamento de veículos com procedimentos exatos e heurísticos sob uma óptica ambiental, como alternativas de roteirização otimizada de transporte coletivo privado para uma indústria química, do município de Curitiba-PR, Brasil; Da Silva; Ferreira; Steiner (2019) utilizaram o modelo matemático das P-Mediana e as heurísticas dos Savings de Clarke & Wright, Iterated Local Search (ILS), Busca Tabu (BT) e Simulated Annealing (SA) de forma comparativa com o uso das técnicas heurísticas.

Assim, a roteirização de veículos consiste em uma das histórias de maior aplicação da Pesquisa Operacional, face aos inúmeros trabalhos publicados desde então nas suas muitas variações, nos mais diversos aspectos presentes nas aplicações reais, tanto na forma de objetivos como na forma de restrições, justificando diversas classificações dos tipos de problemas (ASSAD, 1988 *apud* CACCALANO; CUNHA, 2015).

Atualmente a roteirização de veículos vem sendo estudada e aplicada nos sistemas aeroviário, ferroviário, metroviário e rodoviários. Sobre os modelos de roteirização rodoviária,

estes vem sendo desenvolvidos através de métodos, modelagens matemáticas, uso de algoritmos e sistemas computacionais.

O modelo de roteirização rodoviária vem sendo incorporados inclusive na definição das rotas de coleta de resíduos sólidos urbanos (BERNARDO; LIMA, 2017, MORO et al, 2018, CORREA et al, 2018, SILVA, LINS; XAVIER, 2020, SHIRABAYASHI et al 2020). De acordo com Melquiades (2015) os problemas de gerenciamento de resíduos fizeram com que os pesquisadores começassem a desenvolver novos modelos matemáticos – computacionais, visando contribuir no processo de gestão dos resíduos sólidos gerados nas cidades médias e de grande porte. Nesse cenário, destacam-se os Problemas de Roteirização de Veículos (VRP) ou *Vehicle Routing Problem (VRP)* e suas variantes que pertencem a uma ampla categoria de problemas, conhecida como problemas de otimização combinatória, que permitem otimizar rotas para a coleta de resíduos sólidos (VECCHI, 2016).

Daí a importância da roteirização para coleta de resíduos sólidos, especialmente pneus inservíveis, pois quando se trata da coleta de pneus inservíveis na especificidade da gestão dos Serviços de Limpeza Urbana, esses estudos são escassos. Assim a roteirização é importante para otimizar o custo, podendo inclusive ser bem aplicado na definição das rotas de coletas de pneus inservíveis.

Por isso, neste trabalho desenvolveu-se uma solução implementado com a Metaheurística Algoritmo Genético (GA) para otimizar as rotas de coleta de resíduos sólidos (pneus inservíveis) de uma empresa coletora da cidade de Manaus.

No país, estados e municípios essa atividade é executada por meio de empresas coletoras associadas à ReciclAnip e por empresas coletoras dos resíduos de responsabilidade das prefeituras, porém a maioria delas contrata empresas terceirizadas para a realização desse serviço. Essa operação inclui a coleta dos resíduos nas residências e/ou órgãos públicos e o transporte desses resíduos até o seu destino final (VECCHI, 2016).

Na cidade de Manaus, Estado do Amazonas, o serviço de coleta de pneus inservíveis, é realizado por meio de entidades como: associações, cooperativas, grupos independentes, núcleo de catadoras e pela empresa terceirizada (transportadora) contratada pela Secretaria Municipal de Limpeza Pública – SEMULSP do referido município. O serviço de coleta de pneus inservíveis retornou para Secretaria Municipal de Limpeza Urbana no mês de julho/2021,

coletando diariamente uma média de (125) pneus, totalizando aproximadamente 3.000 pneus mensalmente.

Tal realidade, pressupõe uma otimização de rotas para coleta de pneus inservíveis na cidade de Manaus, mas bem estruturada. Nesse sentido, a otimização de rotas através da solução do problema de roteirização de veículos tem grande importância para o desempenho e otimização de um processo logístico para alcançar um número significativo de pontos de coletas ou descarte de pneus. Dessa forma, essa dissertação propõem um modelo de roteirização que otimize as rotas de coleta executadas pelo caminhão de uma empresa coletora de pneus inservíveis na cidade de Manaus, Amazonas.

1.1 JUSTIFICATIVA DA DISSERTAÇÃO

Esta pesquisa emergiu de inquietações pessoais, acadêmicas e profissionais na relação com o objeto de estudo, abordando a otimização da roteirização de pneus inservíveis na cidade de Manaus:

- Do ponto de vista teórico por contribuir para a participação das instituições de ensino na produção de ciência e tecnologia no país, mostrando possibilidades viáveis para a roteirização do processo de coleta urbana de pneus inservíveis. Além de gerar conhecimento sobre o tema, construindo informações e ampliando o debate científico.
- Do ponto de vista prático: contribui para que empresas coletoras ou centros de triagem de pneumáticos e fabricantes disponham de um direcionamento sobre roteirização para coleta de pneus, o que resultará em tomadas de decisões mais coerentes para o seu gerenciamento.
- Do ponto de vista da logística urbana na cidade de Manaus: este estudo se torna importante devido à ausência de estudos sobre essa temática nessa cidade.

Assim, esta dissertação justifica-se pela contribuição para solução do problema roteirização de coleta de pneus inservíveis nesta cidade.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

Implementar uma solução com a Metaheurística Algoritmo Genético (GA) para otimizar as rotas de coleta de resíduos sólidos (pneus inservíveis).

1.2.2 Específicos

- Compreender soluções para o problema de roteirização de veículos, especialmente aplicações para rotas de coleta de resíduos sólidos (pneus inservíveis);
- Identificar um modelo conceitual para roteirização de coleta de pneus inservíveis adequando para a realidade de Manaus;
- Modelar o problema de otimização da roteirização, buscando encontrar melhores resultados, utilizando algoritmo genético;
- Aplicar o modelo escolhido, considerando os dados de Manaus, em um ambiente de simulação;

1.3 ESCOPO DO TRABALHO

Para atingir os objetivos da pesquisa, esta dissertação encontra-se organizada em 4 capítulos, incluindo este de caráter introdutório que enfatiza a contextualização do problema de pesquisa; os objetivos geral e específicos; assim como a justificativa do estudo.

O Capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica sobre o tema investigado, abordando a os problemas de roteirização, com ênfase em resíduos sólidos, especialmente pneus inservíveis.

O Capítulo 3 apresenta os materiais e métodos adotados na investigação, destacando a os procedimentos metodológicos, a definição do problema de pesquisa, o modelo escolhido proposto e detalhamento das atividades para sua elaboração. O Capítulo 4 apresenta a aplicação da pesquisa a partir do modelo escolhido, considerando os resultados dos testes computacionais. O Capítulo 5 traz as considerações finais do estudo, destacando a síntese dos principais resultados da pesquisa na sua relação com os objetivos delineados no trabalho; bem como apresentará reflexões tecidas a partir deles; e ainda destacará sugestões e direcionamentos para possíveis pesquisas futuras sobre o tema investigado. E por fim, são apresentadas as referências utilizadas que deram subsídios teóricos e metodológicos ao desenvolvimento do estudo, assim como os apêndices e anexos.

CAPÍTULO 2

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta o referencial teórico construído sobre o tema investigado, abordando sobre resíduos e resíduos sólidos, pneus: tipos, classificação e destinação, pneus inservíveis no Brasil e no Amazonas: diagnóstico da situação atual, logística reversa, logística, logística de rotas, logística de transporte problema de roteirização de veículos e modelos utilizados para solução do problema de roteirização de veículos no Brasil.

2.1 RESÍDUOS E RESÍDUOS SÓLIDOS

Os resíduos sempre estiveram presentes no ciclo de vida dos organismos vivos, desde os seres mais simples (que geram excrementos por conta de suas funções vitais) até os mais complexos (que geram resíduos por sua ação sobre o meio ambiente. Entretanto, resíduos sólidos é um conceito que emergiu com o desenvolvimento econômico e a rápida urbanização acelerada pela Revolução Industrial nos séculos XVIII e XIX, com a produção dos mercados em detrimento do capital, alterou a dinâmica populacional, promovendo mudanças ambientais e desequilíbrio ecológicos com o descarte inadequados de resíduos sólidos (PEREIRA, 2019).

De acordo com a definição da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 10004) que classifica os resíduos sólidos estes são resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004).

Na lei 12. 305/ 2010 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos-PNRS ampliou-se essa definição de resíduos sólidos, incluindo os gases como aponta o Art. II, artigo 3º, item XVI, que resíduos sólidos são material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividade humana em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigando a proceder, nos estados sólidos ou semissólidos, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede

pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010).

A PNRS (2010) ainda acrescenta que o Art. II, artigo 3º, item V que os resíduos sólidos depois de esgotados todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, são dejetos, pois não apresentam outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

Dessa forma, percebe-se que os resíduos sólidos e seu descarte acompanham o processo da evolução humana, da ciência, tecnologia e dos modos de produção, no entanto as legislações ambientais e a gestão de resíduos sólidos encontram-se em estágios em cada país. No Brasil, o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado vindo sendo formulado desde a Constituição federal de 1988.

Art 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (BRASIL, 1988).

A Gestão de Resíduos Sólidos no Brasil como um conjunto de ações, que integram comportamentos, procedimentos e propósitos, que objetivam a eliminação dos impactos ambientais negativos associados à produção e à destinação do lixo, ganhou força com a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (AMORIM, 2015). De acordo com Nascimento e Borghetti (2018, p.34).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos no Brasil surgiu no ano de 1989, quando foi apresentado o Projeto de Lei do Senado Federal n. 354/89, que dispunha sobre o acondicionamento, a coleta, o tratamento, o transporte e a destinação final dos resíduos de serviços de saúde. Essa proposta é entendida como a primeira iniciativa, na esfera federal, para a elaboração da Política Nacional de Resíduos Sólidos. (NASCIMENTO e BORGHETTI, 2018, p.34).

Entretanto, em 2010, com a Lei nº12. 305, de 2 de agosto que foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos; que altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e dá outras providências. A PNRS é considerada um marco muito importante entre as legislações ambientais, pois proíbi o descarte de produtores no lixo comum, altamente agressivos ao meio ambiente, e instituí a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos por meio da logística reversa.

No Brasil informações encontradas no Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos – SINIR do Ministério do Meio Ambiente enfatiza que Logística Reversa estabelecida pela Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS instituída pela Lei nº 12.305/2010, introduz a Logística Reversa e o princípio da Responsabilidade Compartilhada pelo Ciclo de Vida dos Produtos.

A Lei, em linhas gerais, segue na direção das diretrizes europeias sobre o tema. Um dos objetivos citados é o de implantar a gestão integrada de resíduos sólidos. A grande novidade é a introdução da logística reversa que amplia as responsabilidades do setor produtivo no processo de gestão dos resíduos sólidos, tendendo, inclusive, a uma ampliação nas parcerias com os municípios (NASCIMENTO e BORGHETTI, 2018).

Esta lei define em seu Capítulo II, Art3º, item XII - que,

XII - logística reversa: instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

O Art. 9 das PNRS estabelece a hierarquia de manejo dos resíduos sólidos, disciplinando a sequência lógica de não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010), como se pode observar na figura a seguir:

A PNRS segue o princípio da Responsabilidade Compartilhada pelo Ciclo de Vida dos Produtos, que deve acontecer em parceria com municípios, Consumidores, comerciantes distribuidores importadores, fabricantes para o reaproveitamento e reciclagem dos resíduos sólidos, para que estes tenham uma destinação ambientalmente adequada (SINIR, 2021). Tal pressuposto pode ser mais bem perceptível no Capítulo III “DAS RESPONSABILIDADES DOS GERADORES E DO PODER PÚBLICO”, Seção II “Da Responsabilidade Compartilhada” da referida Lei nº 12.305/2010.

Art. 30. É instituída a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, a ser implementada de forma individualizada e encadeada, abrangendo os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, os consumidores e os titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, consoante as atribuições e procedimentos previstos nesta Seção.

Parágrafo único. A responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos tem por objetivo:

I - compatibilizar interesses entre os agentes econômicos e sociais e os processos de gestão empresarial e mercadológica com os de gestão ambiental, desenvolvendo estratégias sustentáveis;

II - promover o aproveitamento de resíduos sólidos, direcionando-os para a sua cadeia produtiva ou para outras cadeias produtivas;

III - reduzir a geração de resíduos sólidos, o desperdício de materiais, a poluição e os danos ambientais;

IV - incentivar a utilização de insumos de menor agressividade ao meio ambiente e de maior sustentabilidade;

V - estimular o desenvolvimento de mercado, a produção e o consumo de produtos derivados de materiais reciclados e recicláveis;

VI - propiciar que as atividades produtivas alcancem eficiência e sustentabilidade;

VII - incentivar as boas práticas de responsabilidade socioambiental. (BRASIL, 2010).

Analisando a responsabilidade compartilhada estabelecidas pela referida Lei, fica evidente que a Política Nacional de Resíduos Sólidos, [...] abrange todos os tipos de resíduos sólidos e define diretrizes, princípios e instrumentos fundamentais, como ciclo de vida do produto e logística reversa, buscando a coordenação entre produção e consumo consciente, com a responsabilidade compartilhada na destinação dos resíduos. Cada integrante da cadeia produtiva e os órgãos governamentais possuem funções específicas no manejo e controle adequado dos resíduos sólidos. (NASCIMENTO e BORGHETTI, 2018).

Ainda segundo os estudos de Nascimento e Borghetti (2018) a Política Nacional de Resíduos Sólidos, propõem uma responsabilidade que deve ser compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, e, portanto, [...] representa, em última análise, um regime solidário de complexas atribuições que são desempenhadas de forma individualizada e encadeada por todos aqueles que participam, em maior ou menor grau, do processo produtivo, desde a fabricação do produto até a sua destinação final(NASCIMENTO e BORGHETTI, 2018).

Nesse sentido, fica explícita a aplicabilidade da logística reversa como ferramenta de reciclagem e reaproveitamento de produtos e retorno ao setor produtivo. A figura a seguir representa, de forma simplificada, o fluxo dos resíduos passíveis de logística reversa, seguindo o princípio da Responsabilidade Compartilhada pelo Ciclo de Vida dos Produtos estabelecido pela PNRS.

Apesar da importância da PNRS que determina a logística reversa de diversos resíduos sólidos na busca de alternativas que possibilitem a mudança de hábitos em toda a sociedade brasileira e na mudança sociocultural em gestão de resíduos sólidos, pois através da logística reversa aplicável aos processos de gestão de resíduos sólidos se torna um instrumento essencial ao desenvolvimento sustentável no Brasil, Nascimento e Borghetti (2018) relatam que à Política Nacional de Resíduos Sólidos vem recebendo críticas, sobretudo no que diz respeito de

enumerar as incumbências dos Estados não é citada a questão da capacitação técnica do ente municipal, deixando subentendido que é papel do Governo Federal.

Diante do exposto entende-se que a PNRS é de extrema relevância para a implementação, estruturação do Sistema de Logística Reversa em âmbito nacional, entretanto os desafios para a sua efetivação ainda são é uma questão desafiadora para poder público no âmbito federal, estadual e municipal e toda a sociedade, pela preservação do meio ambiente e saúde pública.

2.2 PNEUS: TIPOS, CLASSIFICAÇÃO E DESTINAÇÃO

No que diz respeito à classificação dos pneus, o IBAMA (2021) por meio do Relatório de Pneumáticos: Resolução Conama nº 416/092020 (ano-base 2019), publicado em 2021, os define e os classifica em:

- **PNEU OU PNEUMÁTICO:** Componente de um sistema de rodagem, constituído de elastômeros, produtos têxteis, aço e outros materiais que, quando montado em uma roda de veículo e contendo fluído (s) sobre pressão, transmite tração dada a sua aderência ao solo, sustenta elasticamente a carga do veículo e resiste à pressão provocada pela reação do solo;
- **PNEU NOVO:** Pneu, de qualquer origem, que não sofreu qualquer uso nem foi submetido a qualquer tipo de reforma e não apresenta sinais de envelhecimento nem deteriorações, classificado na posição 40.11 da Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM);
- **PNEU USADO:** Pneu que foi submetido a qualquer tipo de uso e/ou desgaste, classificado na posição 40.12 da NCM, englobando os pneus reformados e os inservíveis;
- **PNEU INSERVÍVEL:** Pneu usado que apresenta danos irreparáveis em sua estrutura, não se prestando mais à rodagem ou à reforma.

Na mesma direção, no que tange aos pneus inservíveis, a Resolução nº 416, de 30 de setembro de 2009 do Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA, classifica os pneus inservíveis como aqueles que sofreram danos irreparáveis em sua estrutura e não mais suportam processo de reforma que lhe permita condição de rodagem adicional (BRASIL, 2009).

Quanto à classificação de resíduos de pneus gerados no Brasil, Lagarinhos (2011), enfatiza que há uma grande variedade de pneus, cuja vida útil varia de acordo com o tipo, conforme informações a seguir:

- Trator: 10 a 12 anos;
- Transbordo Canavieiro: 4 a 5 anos, dependendo do tamanho e do serviço prestado;
- Empilhadeiras: 4.000 a 5.000 horas;
- Automóveis: Até 80.000 km, mas podem ser reformados uma única vez;
- Ônibus e Caminhões: Até 200.000 km, mas podem ser reformados de duas a três vezes;
- Motos: 30.000 km;
- Aviões: 200 pousos e decolagens, dependendo da frequência de uso e quantidade de escalas;
- Agrícolas: 8.000 a 10.000 horas.

Há muitas informações e indicadores disponíveis sobre os resíduos de pneus gerados no Brasil, dentre as quais, destacam-se os seguintes dados:

- Considerando as vendas totais, que incluem reposição (16%), vendas pelas montadoras (24%) e exportação (60%), foram vendidos entre 55 e 77 milhões de unidades de pneus por ano, entre os anos de 2006 e 2020, (ANIP, 2021);
- Os dados do Relatório de Pneumáticos: Resolução Conama nº 416/092020 (ano-base 2019), publicado em 2021, mostram que em 2019 a meta de destinação nacional era de 601.996,27 toneladas de pneus, porém a efetiva quantidade de pneus destinados para cumprimento da meta nacional foi de 585.391,08 toneladas, ou seja, 97,24% dos pneus inservíveis foram destinados corretamente, contra 2,76% sem destinação (IBAMA 2021);
- O percentual, no mercado de reposição, por unidade produzida ou importada revela que foi realizada a reposição de pneus novos para 71,59% pneus inservíveis destinados corretamente e para 28,41% sem destinação (IBAMA, 2021).

Apesar da meta de reposição nacional de 601.996,27 toneladas, o volume de produção de pneus continua crescendo a cada ano e os pneus descartados nem sempre passam pelo processo

de logística reversa, entretanto há pontos de coletas que utilizam esses resíduos, separando àqueles que têm condições para voltar ao mercado através do processo de recauchutagem ou reforma, daqueles que não têm condições de recuperação (pneus inservíveis), os quais são encaminhados às empresas que trabalham diretamente com o reaproveitamento desse material em suas diferentes destinações.

Atualmente as empresas estão cada vez mais buscando formas de otimização e reaproveitamento dos recursos disponíveis, visando à competitividade mercadológica (VILLELA; SILVA, 2019). Assim, cada empresa é voltada para uma logística reversa específica de acordo com a matéria-prima utilizada, como a logística reversa do pneu, que tem como grande desafio a mudança do conceito de resíduo para matéria-prima secundária, como por exemplo: combustível alternativo para indústria de cimento, resíduos triturados para o coprocessamento com a rocha de xisto pirobetuminoso e queima em caldeiras na indústria de papel, entre outras, tornando a cadeia da reciclagem de pneus um negócio autossustentável. Os estudos de Floriani; Furlanetto; Sehnem (2016) mostram que os pneus inservíveis coletados no Brasil recebem vários destinos e seu ciclo de vida apresenta etapas claras e definidas, delineando as responsabilidades de toda a cadeia produtiva, como segue:

- Fábrica: Responsável direto por toda a cadeia de suprimento do produto, inclusive sua logística reversa;
- Loja: Trabalha de forma integrada, como elo para fechamento do ciclo e correta destinação;
- Reforma: Oportuniza uma extensão da vida útil do pneu, com a recapagem e inserção deste novo agente ao processo;
- Trituração: Trituração dos compostos de borracha para posterior reutilização como matéria-prima reciclada;
- Coprocessamento: Aproveitamento do material triturado e transformação em novos produtos;
- Destinação: Pode ser efetuada a partir do material triturado ou coprocessado, envolve a reutilização do produto de forma ambientalmente adequada.

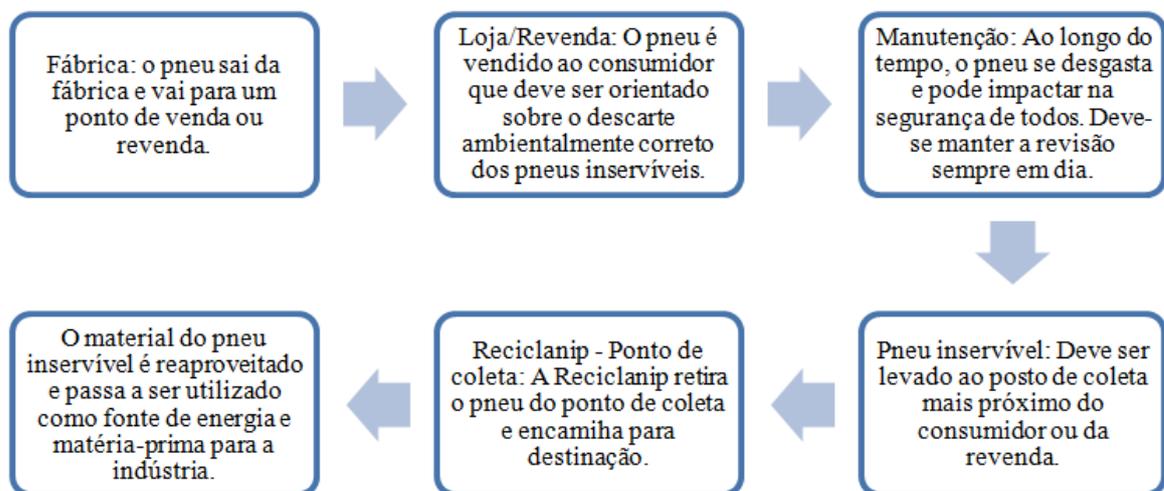
Pode-se observar que ao final do processo, os pneus inservíveis podem retornar ao mercado de diferentes formas, sendo coprocessados, ou receber outra destinação também adequada, evitando maiores danos ao meio ambiente.

De acordo com a Reciclanip (2022b), os pneus inservíveis recebem pelo menos quatro diferentes destinações no Brasil, como segue:

- Coprocessamento: Pelo seu alto poder calorífico, cerca de 70% dos pneus inservíveis são utilizados como combustível alternativo em fornos de cimenteiras, em substituição ao coque de petróleo;
- Artefatos de borracha: A borracha retirada dos pneus inservíveis dá origem a diversos artefatos, entre os quais tapetes para automóveis, pisos industriais e pisos para quadras poliesportivas;
- Asfalto-borracha: Adição à massa asfáltica de pó de borracha oriundo da trituração de pneus inservíveis. O asfalto-borracha tem uma vida útil maior, além de gerar um nível de ruído menor e oferecer maior segurança aos usuários das rodovias;
- Laminação: Nesse processo, os pneus não-radiais são cortados em lâminas que servem para a fabricação de percintas.

Na Figura 2.1 é visualizado o ciclo de pneus inservíveis adaptada da Reciclanip (2022a) desde a fabricação até o reaproveitamento.

Figura 2.1 - Ciclo de pneus inservíveis



Fonte: Adaptada da Reciclanip (2022a).

Nesse viés, Netto; Reis; Neto (2016) enfatizam que a destinação ambientalmente adequada de pneus inservíveis é extremamente necessária, caracterizando-se pelo procedimento técnico onde os pneus são descaracterizados de sua forma inicial, e seus elementos constituintes são reaproveitados, reciclados, remanufaturados ou processados por outras técnicas admitidas pelos órgãos reguladores e competentes, sempre observando a legislação vigente, normas e técnicas operacionais específicas, evitando danos ou riscos à saúde pública e à segurança, bem como a redução dos impactos ambientais adversos.

No quadro 2.1 é apresentado as tecnologias para destinação de pneus inservíveis (trituração, reforma, utilização na construção civil, Pavimentação asfáltica, Desvulcanização, Pirólise, Industrialização do xisto, Laminação, coprocessamento) e suas descrições.

Quadro 2-1 Tecnologias para destinação de pneus inservíveis.

Destinação	Descrição
Trituração	Os processos mais utilizados para a trituração de pneus são à temperatura ambiente ou com resfriamento criogênico, sendo que o primeiro predomina no Brasil. O processo de trituração à temperatura ambiente pode operar até 120°C, reduzindo os pneus inservíveis a partículas de até 0,2 mm. Basicamente, os pneus passam pelo triturador e pelo granulador. O aço é removido em um separador magnético de correias cruzadas e as frações de nylon, rayon e poliéster, são removidas pelos coletores de pó. O pó de borracha é separado através de um sistema de roscas e peneiras vibratórias em várias granulometrias (p. 49).
Reforma	Os pneus usados que ainda não são considerados inservíveis, podem passar por processo de reforma e voltar para o mercado, para desempenhar sua atividade fim. A reforma de pneus pode acontecer de três formas: recapagem, recauchutagem e remoldagem (p. 50).
Utilização na construção civil	A reutilização do pneu como agregado do concreto pode assumir um papel importante na preservação do meio ambiente, pois, além de diminuir a extração de recursos naturais como a areia e a brita, também pode diminuir o acúmulo desses resíduos nas áreas urbanas (p. 50).
Pavimentação asfáltica	É uma solução ambientalmente adequada desde que o uso dos resíduos de pneus proporcione uma redução, ainda que parcial, da necessidade de outras matérias-primas e melhore a performance e a durabilidade dos pavimentos em que o pó de borracha é inserido na composição (p. 51).
Desvulcanização	A desvulcanização é um processo de decomposição que permite a reciclagem da borracha dos pneus inservíveis, com o objetivo de obter um produto com propriedades similares às da borracha virgem, para retornar ao ciclo produtivo (p. 52).
Pirólise	A pirólise consiste na quebra de cadeias químicas orgânicas por aquecimento, por meio da degradação térmica pela ausência de oxigênio. Com referência à pirólise de pneus, é um processo normalmente realizado a temperaturas que variam de 250°C a 600°C, visando transformar pneus pela utilização de seus elementos químicos em outros produtos, como o gás e o óleo. O óleo é utilizado na indústria química em substituição ao petróleo (p. 52).
Industrialização do xisto	O processo Petrosix foi desenvolvido pela Petrobrás para a retortagem da rocha do xisto, por meio da pirólise a 480°C (p. 53).
Laminação	O processo de laminação consiste em diversas operações de cortes efetuadas em pneus inservíveis, para extrair lâminas e trechos de contornos definidos. As empresas que trabalham com o processo de laminação de pneus possuem estrutura

	de coleta de pneus convencionais ou diagonais. Estes pneus não possuem, em sua construção, as malhas de aço, o que facilita a sua reciclagem (p. 54).
Coprocessoamento em indústrias de cimento	Neste processo o pneu inservível é picado mecanicamente e adicionado ao clínquer, matéria-prima do cimento, a uma temperatura de 1200°C. O melhor método para queimar os pneus sem que ocorra problema com a fumaça negra e poluente é o coprocessamento, ou seja, a queima dos resíduos em fornos de cimento como fonte de energia e as cinzas resultantes são incorporadas ao cimento e ficam encapsuladas em concentrações aceitáveis(p. 54).

Fonte: Adaptado de Amorim (2015).

2.3 PNEUS INSERVÍVEIS NO BRASIL E NO AMAZONAS: DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO ATUAL

O diagnóstico da situação atual Pneus inservíveis no Brasil e no Amazonas é apresentado no Quadro 2.2 e revela que no país, segundo os dados da ANIP (2022), somente em 2021 foram vendidas milhões de unidades de pneus considerando as vendas totais (reposição + montadoras + exportação): 56.749.509 vendas de pneus no Brasil, sendo que há no país, segundo dados estatísticos do IBGE (2022), uma estimativa de aproximadamente 59.242.869 de veículos¹, destes 1.054.592 encontra-se no estado do Amazonas, sendo que a capital Manaus possui a frota de veículos entre 817.726 e 855.922 (IBGE/DETRAN/AM, 2022).

Quadro 2-2 Frota de veículos em 2021.

FROTA DE VEÍCULOS EM 2021		
LOCALIDADE	ESTIMATIVA	FONTE
Brasil	59.242.869	IBGE
Estado do Amazonas	1.054.592	DETRAN/AM
Manaus	817.726	IBGE
Manaus	855.922	DETRAN/AM

Fonte: IBGE, DETRAN/AM (2022).

Farias (2015) adverte que, devido a todos os inconvenientes e a crescente demanda pelo pneu inservível provoca, são necessárias alternativas de reutilização que vão além da reforma, possibilitando a associação do desenvolvimento tecnológico com desenvolvimento sustentável, por meio de ações que promovam a sustentabilidade, levando à preservação dos recursos naturais, e equilibrando o meio ambiente.

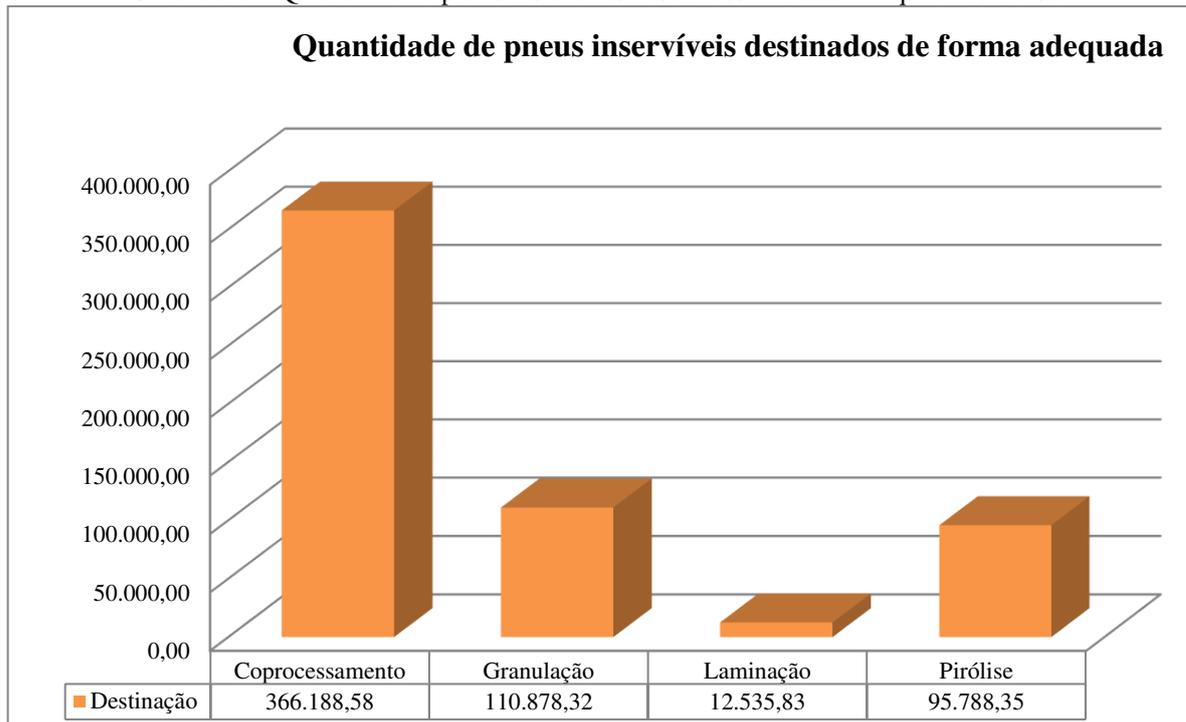
De acordo com o Relatório Pneumático do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) 2020 tendo como ano base 2019, publicado em 2021,

¹ De acordo com Farias (2015) o Brasil é o país com maior frota de veículos no mundo.

aponta que as tecnologias ou alternativas de destinações ambientalmente adequadas realizadas no país são: coprocessamento, laminação, granulação e pirólise.

No Gráfico 2.1, é visualizado o quantitativo de pneus inservíveis destinados de forma adequada no Brasil segundo as informações encontradas nesse Relatório Pneumático do IBAMA (2021) demonstra a quantidade total de pneus inservíveis destinados de forma adequada em (2019) encontra-se representado:

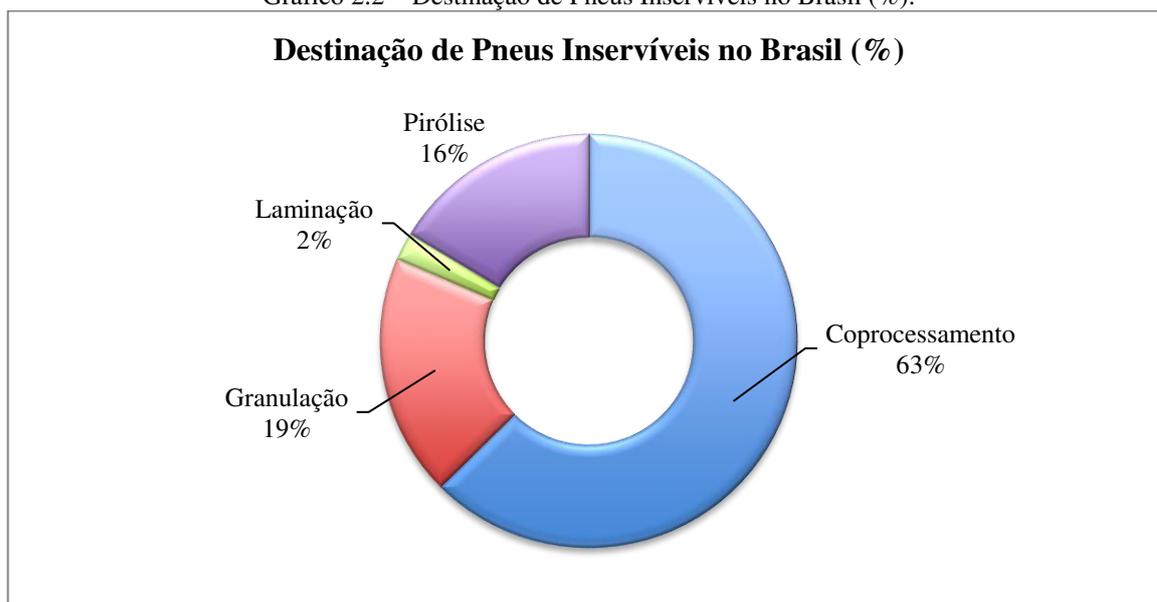
Gráfico 2.1 – Quantidade de pneus inservíveis destinados de forma adequada no Brasil.



Fonte: Adaptado do IBAMA (2021).

Analisando o Gráfico 2.1 é possível visualizar o percentual de destinação de pneus inservíveis no Brasil. O mesmo evidencia que um total 585.391,08 pneus inservíveis foram destinados adequadamente, sendo a que maior porcentagem foi destinado a tecnologia de coprocessamento e a menor na laminação, como visualizado no Gráfico 2.2:

Gráfico 2.2 – Destinação de Pneus Inservíveis no Brasil (%).



Fonte: IBAMA (2021).

Entre às tecnologias de destinação ambientalmente adequadas de pneus inservíveis, o coprocessamento em fornos rotativos, para a produção do clínquer, continua sendo a principal tecnologia realizada no País, sendo que no total, 34 empresas cimenteiras declararam esse tipo de destinação ao IBAMA, o que representa 62,55% do total de pneumáticos destinados. Em segundo lugar, permanece a granulação, com 18,94% (IBAMA, 2021). É importante enfatizar que para a utilização da maioria destas tecnologias ou alternativas de destinação de pneus inservíveis é necessário o processo de trituração antes. Assim essas diferentes tecnologias ou alternativas de destinação de pneus inservíveis no Brasil, utilizam os pneus, como fonte energética ou como matéria prima

O Quadro 2.3 apresenta à destinação por região, os dados do IBAMA (2021) revelam que a região sudeste é a que destina o maior percentual do país, enquanto a região norte é a que menos destina.

Quadro 2.3 – Quantidade de pneus inservíveis destinados por região brasileira.

Região	Destinação (t)	Percentual País
Sudeste	311.104,25	53,14%
Sul	133.823,37	22,86%
Centro-Oeste	75.450,75	12,89%
Nordeste	42.830,63	7,32%
Norte	22.182,08	3,79%
Total	585.391,08	100,00%

Fonte: CTF/IBAMA, 2021.

O Quadro 2.4 apresenta a representatividade de empresas de destinação desses resíduos sólidos na região norte.

Quadro 2.4 – Representatividade das empresas de destinação para a Região Norte².

REGIÃO NORTE				
UF	Tecnologia	Empresa Destinadora	Quant. destinada (t)	Percentual País
AM	Coprocessamento	AMAZON CLEAN SERVIÇOS DE INCINERAÇÃO LIMITADA	21.932,02	3,75%
PA	Laminação	RUBBERBRAS LTDA	250,06	0,04%
Total			22.182,08	3,79%

Fonte: CTF/IBAMA, 2021.

Particularmente no Estado do Amazonas, há uma única empresa trituradora de pneus inservíveis instalada na capital Manaus, a Riolimpo³, uma empresa trituradora, que triturou em 2019, 21.932,02 pneus, o que representa 6,13% da quantidade nacional. Esses pneus triturados são coletados em ecopontos de coleta; o Brasil possui oficialmente 2.251 (dois mil duzentos e cinquenta e um) cadastrados, sendo 1.256 (mil duzentos e cinquenta e seis) localizados em municípios com população residente acima de 100 mil habitantes, restando 17 municípios sem nenhum ponto de coleta declarado (IBAMA, 2021).

O Quadro 2.5 apresenta os 8 pontos de coleta de pneus inservíveis oficialmente cadastrados no Estado do Amazonas tem, sendo 7 na cidade Manaus e 1 na cidade de Parintins.

Quadro 2.5 – Localização dos ecopontos de coletas de coleta de pneus inservíveis no Amazonas cadastrados no IBAMA (2021).

Município	Estado	ENDEREÇO	Capacidade (unidade)
CAPACIDADE TOTAL DO ESTADO			7.920
Manaus(*)	AM	Avenida Cosme, 5028 – Coroado	100
Manaus(*)	AM	Rua Gabriel Gonçalves, S/N – Aleixo	2000
Manaus(*)	AM	Avenida Pedro Teixeira, 200 – Dom Pedro I	20
Manaus(*)	AM	Avenida Maués, 496 – Cachoeirinha	500
Manaus(*)	AM	Avenida Altaz Mirim, 3037- Coroado	2300
Manaus(*)	AM	Avenida Silves, 809, Cachoeirinha	650
Manaus(*)	AM	Avenida Djalma Batista, 3500	50
Parintins(*)	AM	Rua Getúlio Vargas, 1670 – Centro	2300

Fonte: CTF/IBAMA, 2021.

² Embora o relatório do IBGE (2021) não mostre há na capital Manaus a Ecatu Pneus, localizada na Av. Camapuã, 723-Cidade Nova, que trabalha com reforma de pneus.

³ Riolimpo Indústria e Comercio de Resíduos Ltda localizada na Av. Autaz Mirim, 3037 - São José Operário.

Apesar desses ecopontos de coleta na cidade de Manaus, a Secretaria Municipal de Limpeza Pública (SEMUSLP) também faz coleta de pneus inservíveis em estações ou pontos de coletas como borracharias e lojas de venda/troca de pneus. Então a coleta desses resíduos pressupõe um bom planejamento de rede de logística reversa de resíduos em espaços urbanos, especialmente, de um modelo de roteirização que otimize as rotas de coleta executadas pelos caminhões da empresa coletora de pneus inservíveis.

2.4 LOGÍSTICA

Antes de falar sobre Logística de rotas, se faz necessário primeiramente entender o conceito de Logística. A palavra Logística é um substantivo deriva da palavra grega *logistiké*; que trata da seção da aritmética e da álgebra cujo objeto de estudo se refere às quatro operações (adição, subtração, multiplicação e divisão). E etimologicamente também deriva do francês, do verbo *loger* alojar – *Logistique*. O termo é de origem militar e que significa a arte de transportar, abastecer e alojar tropas (a parte da arte da guerra que trata do planejamento e da realização de: projeto e desenvolvimento, obtenção, armazenamento, transporte, distribuição reparação, manutenção e evacuação de material para fins operativos ou administrativos). (DICIONÁRIO ONLINE DE PORTUGUÊS, 2021).

A logística nasceu com a própria evolução da humanidade, a partir da necessidade do homem sobreviver e se organizar em diferentes atividades, e vem se aprimorando e acompanhando o desenvolvimento dos modos de produção, do mundo do trabalho, da organização social e da lógica de mercado.

Nos primórdios dos tempos, o homem era nômade, apenas caçava e coletava frutos para o consumo próprio, portanto ele comia seu alimento no local onde foi conseguido. Com o tempo com as mudanças geográficas, sociais e culturais, o homem foi se socializando e criando a necessidade de produzir e estocar alimentos para seu grupo mesmo que forma rudimentar para enfrentar os períodos de escassez. Com isso surgem as primeiras atividades logísticas, porém foi na área militar que a logística alcançou seu maior crescimento e começou a ter uma grande importância nas guerras como estratégia militar, quase equivalente a filosofia de guerra, quando estava relacionada à movimentação e coordenação de tropas, armamento e munições para os locais necessários. Desta forma, o sistema logístico foi desenvolvido com o intuito de abastecer, transportar e alojar tropas propiciando que os recursos certos estivessem no local certo e na

hora certa, isso passou a ser um diferencial. E a ao longo da história da humanidade, guerras são vencidas e perdidas por forças e capacidades logísticas ou pela falta delas (CHRISTOPHER, 2018).

Sobre isso, Platt (2015, p.11) alude que o despertar da logística “[...] aconteceu após a Segunda Guerra Mundial, quando as atividades logísticas militares foram utilizadas e influenciaram significativamente os conceitos logísticos utilizados atualmente nas organizações”.

Observando a semelhança da logística militar com as atividades industriais, esta estratégia passou a ser usada, com certo sucesso, nas indústrias. Com o passar do tempo o significado foi se tornando mais amplo, chegando a abranger outras áreas como a gerência de estoques, armazenagem e movimentação. Pela definição do Conselho de Administração Logística – Councilof Logistics Management (1999) logística é a parte do Gerenciamento da cadeia de Abastecimento que planeja, implementa e controla o fluxo e armazenamento eficiente e econômico de matérias-primas, materiais semiacabados e produtos acabados, bem como as informações a eles relativas, desde do ponto de origem até o ponto de consumo, com o propósito de atender às exigências dos clientes.

Ballou (2015), adaptando a definição de logística do Councilof Logistics Management (CLM), define a logística como “[...] o processo de planejamento, implantação e controle do fluxo eficiente e eficaz de mercadorias, serviços e das informações relativas desde o ponto de origem até o ponto de consumo com o propósito de atender às exigências dos clientes”. Nessa mesma linha de pensamento de Ballou (2015), Christopher (2018) compreende a logística como um, [...] processo de gerenciamento estratégico da compra, do transporte e da armazenagem de matérias-primas, peças e produtos acabados (e os fluxos de informações correlatos) através da organização de seus canais de marketing, de modo a poder maximizar as lucratividades presentes e futuras por meio de atendimento dos pedidos a baixo custo (CHRISTOPHER, 2018, p. 25).

Na abordagem de Leite (2017), sobre o mesmo assunto, a logística é definida como: Atividade que visa disponibilizar bens e serviços gerados por uma sociedade, nos locais, no tempo e na quantidade e qualidade em que são necessários aos utilizadores. A logística evoluiu de uma simples área de estocagem de materiais para uma área estratégica dentro das empresas, contribuindo decisivamente para a competitividade empresarial.

Partindo do entendimento desses teóricos, que há décadas se debruçam a estudar o processo logístico, Platt (2015) corrobora dizendo que os conceitos defendidos Ballou (2015), Christopher (2018) e Leite (2017), Platt (2015) apresentam a Logística como responsável pela administração (planejamento, implementação e controle) do fluxo e armazenagem de produtos, serviços e informações não só entre fornecedores e clientes, mas ao longo de toda a cadeia de abastecimento (envolvendo os beneficiadores de matérias-primas, transportadores, depósitos, indústrias, distribuidores, atacadistas, varejistas, prestadores de serviço e o consumidor final), até da racionalização (velocidade, confiabilidade, redução de custos e qualidade) ao longo desse processo (tanto internamente, em cada organização, como entre organizações), visando a satisfação do consumidor (ao atender até superar suas expectativas) (PLATT, 2015).

É nesse sentido que Novaes (2014, p. 38) afirma que a Logística “é o longo caminho que se entende desde as fontes de matéria-prima, passando pelas fábricas dos componentes, pela manufatura do produto, pelos distribuidores e chegando finalmente ao consumidor constitui a cadeia de suprimentos”. Assim, percebe-se que logística hoje é um processo que organiza o fluxo de materiais e informações desde o fornecedor até o cliente final que tem como função garantir a utilização de produtos nas condições, quantidades, prazos e locais solicitados visando, sobretudo, a satisfação dos clientes ao menor custo possível.

Dentro dessa perspectiva, inclui-se a logística, de modo que ela organiza ações com o objetivo de promover a eficiência dos processos desde a compra da matéria-prima até o consumidor final (ROSSÉS et al, 2015). Partindo dessas compreensões, fica evidente que a logística é um fator determinante para as empresas no mundo contemporâneo, no qual o imediatismo tornou-se rotina na vida das pessoas, a sociedade de forma geral buscando praticidade e economia, as empresas precisam, cada vez mais, oferecer produtos e serviços eficazes, viabilizando entregas rápidas, e com qualidade e com menor custo possível, atendendo a diversidade de clientes e garantindo o posicionamento no mercado. Este, que por sinal, é um dos fatores decisivos na escolha da maioria dos consumidores, impactando significativamente na produtividade e saúde financeira das organizações, que precisam investir em tecnologia e viabilizar recursos, tudo isto mantendo a competitividade junto aos demais concorrentes. (CERQUEIRA e FERNANDES 2017).

Os autores (2017) ainda acrescentam que a Logística é um fator primordial e determinante para a distribuição dos produtos do ponto de venda ao cliente final e, com a ascensão das compras digitais, em que as organizações precisam dispor de ferramentas,

parceiros e meios de locomoção em todo território nacional e internacional, aumentando significativamente o volume de cargas transacionadas, disponibilizando os produtos certos, no tempo e local desejado, objetivando manter o posicionamento de mercado, é que o processo logístico deixou de ser apenas responsável pela distribuição, mas responde também por todo o planejamento, operação e controle de produtos e informações de toda a cadeia de abastecimento.

Esses fatores mencionados acima contemplam estratégias logísticas de compras, produção, manuseio, expedição, distribuição e transporte. Para que isso chegue até o destino final (consumidor) com maior eficiência e menor custo, as empresas se alicerçam em ferramentas gerenciais integrando e racionalizando as funções sistêmicas da organização com um todo (LEITE, 2017). Tal pressuposto, ajuda no entendimento que um dos objetivos mais importantes da logística é conseguir criar mecanismo para entregar os produtos ao destino final num tempo mais curto possível, reduzindo os custos. Por isso, com o passar dos anos a atuação desta atividade nas empresas foi evoluindo e tornando-se uma forte aliada para as empresas se manterem competitivas no mercado.

Em consonância com esse pensamento, Platt (2015) resumi que os objetivos da Logística, atualmente, visam 1) prazos previamente acertados e cumpridos integralmente, ao longo de toda a Cadeia de Suprimento; 2) integração efetiva e sistêmica entre todos os setores da organização; 3) integração efetiva e estreita (parcerias) com fornecedores e clientes; 4) busca da otimização global, envolvendo a racionalização dos processos e à redução de custos em toda a Cadeia de Suprimento; e 5) satisfação plena do cliente, mantendo nível de serviço preestabelecido e adequado.

A Logística assim tem como finalidade ser um facilitador no transporte de informações e produtos. Seu estudo e aplicação fazem do sistema logístico um mecanismo administrativo de grande importância, levando em consideração principalmente nosso país e sua grande abrangência territorial. Além das atividades de importação e exportação, que possuem valores significativos na economia nacional

Atualmente a logística encontra-se além desse contexto empresarial, a logística está bastante presente nas mais diversas atividades diárias como, por exemplo, assistir campanhas publicitárias; confeccionar um produto em uma região geográfica e adquiri-lo em outra;

comparar o custo na compra de alimentos no supermercado em relação ao produtor; perceber o custo das embalagens dos produtos que são adquiridos, entre outros (ROSSÉS et al, 2015).

2.4.1 O CONCEITO DE LOGÍSTICA REVERSA

As intervenções das empresas em relação os seus processos produtivos, distribuição de seus produtos ao consumidor final e bem mesmo os resíduos gerados neste processo, é responsabilidade de seus produtores, ou seja, o produtor é responsável pelo seu produto até o final de sua vida útil e isso tem ampliado uma atividade que antes não merecia atenção, pois a questão da preservação ambiental está sendo muito discutida nos dias atuais. Dessa forma, os fabricantes e importadores em relação aos produtos após sua vida útil e embalagens estão tornando-se cada vez mais comum em todo o mundo, e o rigor das legislações ambientais tem impulsionado as ações de concretização dos sistemas ou processos de Logística Reversa (LR).

De acordo com Leite (2017) os primeiros estudos sobre LR ocorreram nas décadas de 1970 e 1980, tendo seu foco principal relacionado ao retorno de bens a serem processados em reciclagem de materiais, denominados e analisados como canais de distribuição reverso. Assim, os estudos produzidos sobre Logística Reversa fornecem, em sua grande maioria, soluções práticas para as empresas no enfrentamento dos desafios da implementação de fluxos reversos e destacam os ganhos econômicos e ambientais advindos dessa prática e isso reversa vem aguçando um interesse crescente nas organizações empresariais e nas pesquisas científicas, uma vez que torna possível melhorar o desempenho e a competitividade das organizações. O quadro 2.4.1 traz o conceito de Logística Reversa apresentado por Leite (2017), Brunetto; Passos (2015), Nascimento; Borghetti (2018) e outros.

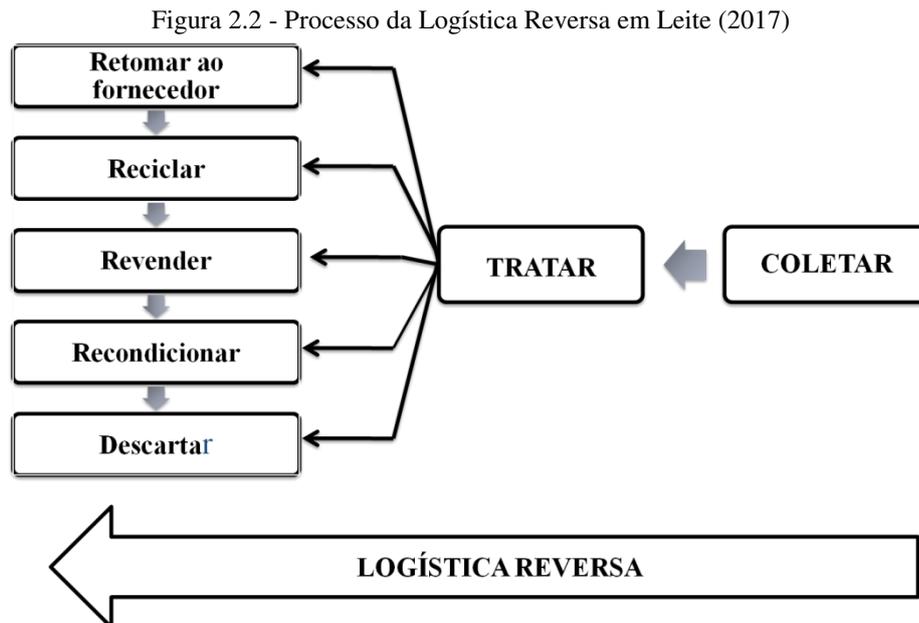
Quadro 2.6 - Definições de Logística Reserva

Autores	Definições de Logística Reversa
Leite (2017)	Entendemos logística reversa como área da logística empresarial que planeja, opera e controla o fluxo e as informações logísticas correspondentes, do retorno dos bens de pós-venda e de pós-consumo ao ciclo de negócios ou ao ciclo produtivo, por meio dos canais de distribuição reversos, agregando-lhes valores de diversas naturezas: econômico, de prestações de serviços, ecológico, legal, logística de imagem corporativa, dentre outros (p. 17).
Brunetto; Passos (2015)	A logística reversa é um dos principais processos da cadeia de reciclagem e é responsável pela viabilização econômica de toda a cadeia de reutilização de produtos pós-consumo. (p. 22).
Nascimento e Borghetti (2018)	[...] instrumento de desenvolvimento econômico e social, caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos ou, ainda, outra destinação final, ambientalmente adequada. (p.14).

A literatura aponta a LR como uma área da logística empresarial, um processo de cadeia de reciclagem e instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação. Diante das definições dos autores, percebe-se que não existe único conceito para Logística Reversa, porém todos estes são complementares, e permitem compreender a sua relevância econômica, social e ambiental da mesma.

Assim a logística reversa se diferencia da logística convencional, pois na logística convencional os produtos são puxados pelo sistema, enquanto na logística reversa existe uma relação entre puxar e empurrar os produtos pela cadeia de suprimentos. Leite (2017) construiu o diagrama para representar o Processo de Logística Reversa.

A Figura 2.2 apresenta o Processo da Logística Reversa em Leite (2017)



Fonte: Adaptado de Leite (2017).

Já nos estudos de Ballou (2015) os componentes do sistema ou fluxo logístico reverso, são eles: Serviços ao cliente; previsão de demanda; comunicações de distribuição, controle de estoque; manuseio de materiais; processamento de pedidos; peças de reposição e serviços de suporte; escolha de locais para fábrica e armazenagem (análise de localização); embalagem; manuseio de produtos devolvidos; reciclagem de sucata, tráfego e transporte, e armazenagem e estocagem.

Com isso, fica evidenciado que o processo de logística reversa gera materiais reaproveitados que retornam ao processo tradicional de suprimento, produção e distribuição. Este processo é geralmente composto por um conjunto de atividades que uma empresa realiza para coletar, separar, embalar e expedir itens usados, danificados ou obsoletos dos pontos de consumo até os locais de reprocessamento, revenda ou de descarte. Existem variantes com relação ao tipo de reprocessamento que os materiais podem ter, dependendo das condições em que estes entram no sistema de logística reversa. Os materiais podem retornar ao fornecedor quando houver acordos neste sentido. Podem ser revendidos se ainda estiverem em condições adequadas de comercialização. Podem ser recondicionados, desde que haja justificativa econômica. Podem ser reciclados se não houver possibilidade de recuperação. Todas estas alternativas geram materiais reaproveitados, que entram de novo no sistema logístico direto. Em último caso, o destino pode ser seu descarte final.

No que concerne aos objetivos da L R, Leite (2017), aponta que está tem como objetivo a gestão e a distribuição do material descartado tornando possível o retorno de bens ou materiais constituintes ao ciclo produtivo agregando valor econômico, ecológico, legal e de localização ao negócio. O principal objetivo da logística reversa é o tratamento e reversão dos materiais e insumos descartados, gerando um novo ciclo de vida para àqueles produtos com outras características e finalidades dentro de uma cadeia de suprimentos, agregando valor econômico, sustentabilidade, entre outros aspectos e benefícios legais, ambientais e econômicos.

O quadro 2.7 apresenta os benefícios ambientais e econômicos da Logística Reserva a partir Leite (2017)

Quadro 2.7 - Benefícios ambientais e econômicos da Logística Reserva

BENEFÍCIOS AMBIENTAIS	BENEFÍCIOS ECONÔMICOS
Redução do volume de descarte tanto seguras quanto ilegais; Antecipação as exigências de regulamentações; Economia de energia na fabricação de novos produtos; Diminuição da população Eça contenção dos resíduos; Restrição dos riscos advindos de aterros; Melhoria da imagem corporativa; Consciência ecológica.	Criação de novos negócios na cadeia produtiva; Redução de investimentos em fábricas; Economia do custo de energia na fabricação; Aumento de fluxo de caixa por meio da comercialização dos produtos secundários e dos resíduos; Aproveitamento do canal de distribuição para escoar os produtos secundários nos mercados Secundários; Melhoria da imagem corporativa para obter financiamentos subsidiados por opera com práticas ecologicamente corretas.

Fonte: Adaptado de Leite (2017).

Em Novaes (2014) a Logística Reversa objetiva cuidar dos fluxos de materiais que se iniciam nos pontos de consumo dos produtos e terminam nos pontos de origem, e tem dois objetivos distintos: recapturar valor e oferecer disposição final, assim o autor definiu que as atividades de logística reversa consistem no retorno do material ou produto do seu ponto de consumo ao seu ponto de origem, através de planejamento, implantação e controle de fluxo de informação; movimentação do produto na cadeia logística, porém, na direção: consumidor-produto; busca de um melhor aproveitamento de recursos utilizando a política dos 3R's⁴: reutilização, reaproveitamento e reciclagem; recuperação de valor; segurança na destinação do produto após o uso.

Partindo dessa compreensão, entende-se que a LR também objetiva atender os princípios de sustentabilidade ambiental gerando uma produção limpa. Assim, as empresas organizam canais reversos, ou seja, de retorno de materiais seja para conserto ou após o seu ciclo de utilização, seja por reparo, reutilização ou reciclagem, utilizando a política dos 3R's.

Nessa lógica, Leite (2017) assegura que existem dois pontos modificadores básicos da logística reversa, sendo o primeiro, de origem ecológica, com manifestações dos mais diversos setores da sociedade como Organizações não governamentais – (ONGs), associações, cidadãos, consumidores e o segundo, de origem governamental, que se apresenta nas mais diferentes formas (normas, legislação, incentivos fiscais ou outros benefícios). Dessa maneira, o autor destaca que esses fatores influenciam algumas condições do fluxo dos materiais, alterando a forma como os produtos retornam ao mercado, a fim de satisfazer a demanda de seus mercados e minimizar o impacto ambiental, as empresas devem preocupar-se com todo o ciclo de cada produto que coloca no mercado, controlando o fluxo desde o ponto de consumo até o ponto de origem (aquisição).

Isso porque a vida de um produto, do ponto de vista logístico, não termina com sua entrega ao cliente. Produtos se tornam obsoletos, danificados, ou não funcionam e deve retornar ao seu ponto de origem para serem adequadamente descartados, reparados ou reaproveitados. Do ponto de vista financeiro, fica evidente que além dos custos de compra de matéria-prima, de produção, de armazenagem e estocagem, o ciclo de vida de um produto inclui também outros

⁴ A política dos 3 R's consiste num conjunto de medidas que foram adotadas na Conferência da Terra realizada no Rio de Janeiro em 1992, e também no 5º Programa Europeu para o Ambiente e Desenvolvimento de 1993. Esta política aplica-se e é válida para todo o tipo de resíduos, efluentes sólidos, líquidos e gasosos (QUINTELA e TORMO, 2015, p. 191)

custos que estão relacionados a todo o gerenciamento do seu fluxo reverso. Do ponto de vista ambiental, esta é uma forma de avaliar qual o impacto que um produto tem sobre o meio ambiente durante toda a sua vida. Esta abordagem sistêmica é fundamental para planejar a utilização dos recursos logísticos de forma a contemplar todas as etapas do ciclo de vida dos produtos.

Assim, fica explícito que a preocupação com a LR e com a reciclagem intensificou-se nas últimas décadas, devido ao reconhecimento dos impactos causados ao meio ambiente por produtos e por processos industriais. Neste contexto, os canais reversos ganharam importância para o fortalecimento da imagem das empresas em uma sociedade em que os hábitos de consumo estão se modificando. Hoje, a logística reversa é considerada uma ferramenta e um processo estratégico muito importante dentro da logística empresarial como diferencial competitivo. Ela pode ser usada pela empresa para agregar valor econômico, reforço da marca empresarial através da obediência às legislações ambientais dentre outras. A logística reversa proporciona oportunidades competitivas, essas bases de vantagens competitivas duradouras e sustentáveis residem em diferenças no comportamento estratégico de cada empresa (LEITE, 2017).

O quadro 2.8 apresenta Estratégias e ganhos de competitividade em da Logística Reserva a partir Leite (2017)

Quadro 2.8 - Estratégias e ganhos de competitividade em logística reversa

Estratégias de competitividade	Atividades de logística reversa	Ganhos de competitividade
Realocação de estoques em excesso	Realocação otimizada dos estoques	Competitividade de custos e de serviço ao cliente
Busca de valor na prestação de serviços de pós-venda	Rede de logística reversa de alta responsabilidade	Competitividade de serviços, custos e imagem de responsabilidade empresarial
Estratégias de antecipação à legislação	Montagem da rede reversa com tempo baixo risco de erros	Competitividade de custos e imagem corporativa

Fonte: Adaptado de Leite (2017).

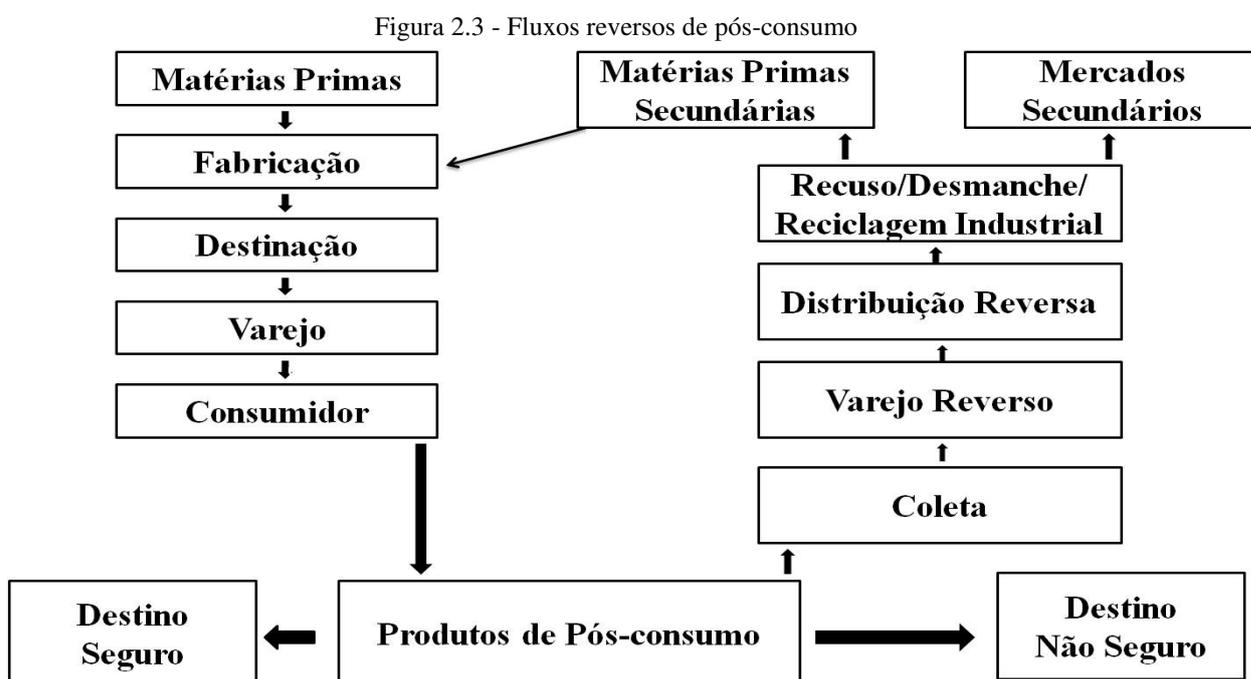
Diante do exposto, a LR pode também se constituir em estratégias e ganhos de competitividade entre as empresas que agregam alternativas sustentáveis e valor ecológico nos seus produtos, pois, a logística reversa se preocupa com todo ciclo de produção, indo da captação da matéria-prima para a fabricação do produto até a volta desse produto como material

de pós-venda ou pós-consumo ao ciclo produtivo para seu reaproveitamento ou descarte correto para esses produtos.

A Logística Reversa opera em duas vertentes: a logística reversa de pós-consumo e a de pós-venda, procurando acrescentar valor ao retorno dos bens de pós-venda e de pós-consumo (LEITE, 2017). Para entender como funcionam estas duas vertentes é preciso fazer a diferenciação no tratamento dado aos resíduos sólidos por elas.

De acordo com o estudo de e Leite (2017), a logística reversa de pós-consumo é a área de atuação da logística reversa que equaciona e operacionaliza igualmente o fluxo físico e as informações correspondentes de bens de consumo descartados pela sociedade e em geral que retornam ao ciclo de negócios ou produtos por meio de canais de distribuição específicos. Assim, entende-se que os produtos de pós-consumo referem-se àqueles que encerram sua vida útil esgotada e que são destinados a aterros sanitários, reciclagem e indústrias que fazem seu reaproveitamento utilizando tecnologias de destinações.

A Figura 2.3 apresenta Fluxos reversos de pós-consumo a partir Leite (2017)



Fonte: Leite (2017).

A logística reversa de pós-consumo deverá planejar, operar e controlar o fluxo de retorno dos produtos de pós-consumo ou de seus materiais constituintes, classificados em função de seus estados de vida, origem e em condições de uso, fim de vida útil e resíduos

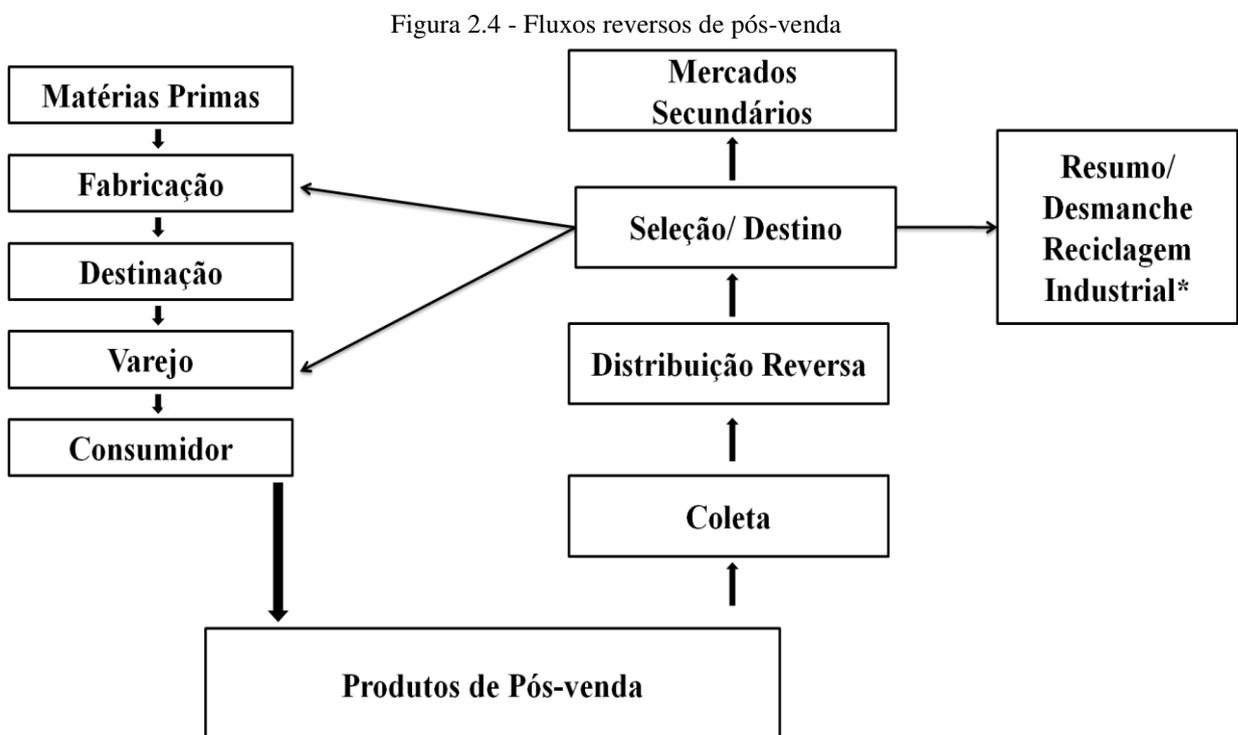
industriais. Para uma gestão de materiais de pós-consumo é necessário implantar um sistema de coleta eficaz no setor de reciclagem, para que possam atuar de acordo com a Lei e que possam se tornar uma fonte de emprego, renda e lucratividade em um futuro próximo.

Assim, a Logística Reversa de pós-consumo se constitui em uma grande alternativa na medida em que, em vez de os produtos serem lançados no meio ambiente, podem ser recuperados e reaproveitados em um novo ciclo de vida, impedindo assim, o aumento da poluição e da extração continuadas de nossos preciosos recursos naturais que, em sua grande maioria, já se encontram em extinção.

Já a logística reversa de pós-venda pode ser diferenciada da logística de pós-consumo, pois é área específica de atuação da logística reversa que se ocupa do planejamento, da operação e do controle do fluxo físico e das informações logísticas correspondentes de bens de pós-venda, sem uso ou com pouco uso, que por diferentes motivos retornam pelos elos da cadeia de distribuição direta (LEITE, 2017).

Assim pode-se dizer que logística reversa de pós-venda tem por objetivo, viabilizar, planejar, operar e controlar o fluxo de retorno dos produtos de pós-venda por motivos agrupados nas seguintes classificações: garantia/qualidade, comerciais e substituições de componentes.

A Figura 2.4 apresenta Fluxos reversos de pós-venda a partir Leite (2017).



Fonte: Leite (2017).

Observa-se que em relação a esse tipo de logística reversa, ainda há falta de interesse pelo assunto e isso se deve ao fato da pouca significância econômica que os canais reversos representam no momento, quando comparados ao modelo de distribuição direta.

Dessa forma, os clientes esperam que o serviço pós-venda seja um atributo do produto tanto quanto a qualidade, o design, seu rendimento e o preço. A satisfação que um produto proporciona não é relacionada apenas ao produto em si, mas também ao pacote de serviços que o acompanha.

2.4.2 LOGISTICA DE ROTAS

Nessa conjuntura, a logística encontra-se articulada a logística de transporte visando a otimização de rotas de veículos na distribuição ou coleta de produtos. A logística de transporte pode ser definida como um método adotado para movimentar pessoas ou bens de um local para o outro e um dos modais para transporte é o rodoviário. O transporte rodoviário é o transporte realizado em estradas, rodovias e ruas (GOMES et al, 2019).

Ainda para Gomes (2019) o processo denominado roteirização é um processo de planejamento prévio das entregas, através do ordenamento de um roteiro lógico determinado pela capacidade do veículo transportador, considerando distâncias dos percursos e o tempo necessário de cada entrega. Nesse sentido a roteirização pode ser definida como o processo logístico que tem por fim buscar o melhor trajeto que o veículo deve percorrer, com o objetivo de diminuir o tempo ou a distância, em que para solucionar os problemas de roteirização existem três tipos básicos:

- Ponto de origem e destino diferentes -é o mais utilizado, acontece geralmente com varejistas, atacadistas e vendas do e-commerce utilizando o trajeto mais curto.
- Ponto de origem e destinos múltiplos -ocorre geralmente quando há mais de um armazém ou fornecedores tem uma dificuldade de encontrar a melhor rota que são vários pontos de origem.
- Pontos de origem e destino coincidentes - o ponto de origem e destino são os mesmos, os veículos de transporte são da própria empresa.

Segundo Capitão (2020) a logística de rotas representa as possibilidades das rotas que devem ser estabelecidas para garantir um funcionamento correto da operação, pois permite determinar o número máximo de locais a visitar por rota, se um veículo pode realizar mais de

uma viagem por dia ou até uma viagem de dois dias são questões importantes para tal; velocidades médias; restrições de carga do produto/unidade, em que neste planejamento, há vários fatores relativos ao produto ou à unidade de carga que está a ser distribuída que devem ser considerados como, por exemplo, os pesos e dimensões dos produtos e das paletes, os tempos variáveis de carga/descarga, a separação a utilizar entre eles ou até mesmo a necessidade de utilização de equipamentos específicos.

Dessa forma, acredita-se que a logística de rotas, contribui com a roteirização do transporte utilizados em serviços de entrega e coleta. Para isso, é preciso levar em consideração alguns fatores como os próprios transportes.

2.4.3 LOGÍSTICA DE TRANSPORTE

A locomoção ou coleta de produtos entre as diferentes regiões é feita por meio de transporte. Isso o torna vital para a logística e significa que a infraestrutura de transportes é importante para o desenvolvimento econômico e social; bem como para comercialização interna e externa (CAMPOS e GOULART, 2018).

Para os sistemas de coleta ou entrega de produtos os sistemas de transporte em seus diferentes modais precisam ser eficientes, podendo ser ferroviário, aéreo, rodoviário, hidroviário ou dutoviário. Campos e Goulart (2018) descrevem previamente cada um deles:

- Transporte rodoviário: próprio para curtas e médias distâncias, pois atende demandas que precisam de agilidade no acesso às cargas. Os pontos negativos estão relacionados aos custos mais elevados de frete, à menor capacidade de carga entre todos os outros modais e aos custos menos competitivos para longas distâncias.
- Transporte ferroviário: próprio para levar mercadorias de baixo valor agregado e em grandes quantidades, como produtos agrícolas, derivados de petróleo, minério de ferro, produtos siderúrgicos e etc. Não é ágil como o rodoviário, mas é adequado para longas distâncias, tem baixo custo de transporte e infraestrutura. Porém, tem menos flexibilidade no trajeto, o que torna o tempo de viagem demorado e irregular.
- Transporte aéreo: próprio para mercadorias de alto valor agregado, pequenos volumes ou com urgência de entregas. É um transporte mais rápido, que não necessita de embalagem reforçada; tem menor capacidade de cargas e seu frete é mais elevado em relação aos outros.

- Transporte dutoviário: utiliza a força da gravidade ou pressão mecânica ao longo dos dutos para os transportes de grânéis. Evita a poluição, o congestionamento e é relativamente barato. No Brasil, os principais são gasoduto, mineroduto e oleoduto.
- Transporte marítimo: é o modal mais utilizado no comércio internacional e tem a função adicional de abrandar o impacto fluxo de cargas no sistema viário local por dispor de armazenamento e distribuição física. Tem capacidade de carga maior e custo menor de transporte, porém há necessidade de transbordo nos portos, que, em geral, ficam distantes dos centros de produção.

MARINHO et al (2013, p. 40 *apud* VAZ, 2022, p. 15) foi mais a fundo nos estudos dos diferentes modais. O quadro 2.9 apresenta diferentes modais de transporte, destacando as vantagens e desvantagens.

Quadro 2.9 – Apresentação dos Modais, características, vantagens e desvantagens

MODAL	CARACTERÍSTICA	VANTAGENS	DESvantagens
Rodoviário	Transporte por rodovias.	Maior disponibilidade de vias de acesso; Possibilidade de serviço porta-a-porta; Íntegra regiões de difícil acesso; Embarques mais rápidos; Favorecimento de embarques de pequenos lotes; Facilidade de substituição de veículo em caso de quebra; Maior rapidez de entrega	Maior custo operacional e menor capacidade de carga; Sujeito a congestionamentos nas estradas;
Ferroviário	Transporte por ferrovias.	Capacidade para transportar grandes lotes de mercadorias; Terminais privados junto às unidades produtoras; Fretes baixos crescentes, de acordo com o volume transportado; Baixo consumo energético; Adaptação ferroadviária rodo-trilho ou road-railler; Previsão de estoques em trânsito.	Tempo longos de viagem; Custo elevado quando há a necessidade de transbordos; Baixa flexibilidade de rotas; Alta exposição a furtos.
Fluvial	Transporte pelos rios navegáveis	Elevada capacidade de transporte, através de rebocadores e empurradores; Fretes mais baratos; Custos variáveis bem mais baixos; Disponibilidade ilimitada; Faculta o uso da multimodalidade.	Baixa velocidade; Capacidade de transporte variável em função do nível das águas; Rotas fixas; Necessidade de elevados investimentos e regularização de alguns trechos de rios; Limitações de ordem jurídica no Brasil (dos 45.000 km de rios navegáveis somente 28.000 são utilizados).

Marítimo	Transporte pelos mares e oceanos	Altíssima eficiência energética; Elevada economia de escala para grandes lotes a longa distância; Possibilita economicamente o tráfego internacional de commodities; Possibilidade de reduzir o custo do frete internacional, em pontes aero marítimas e aeroterrestres.	investimento inicial e custo operacional elevados; Necessidade de frotas modernas; Serviço lento;
Aéreo	Transporte pelo espaço aéreo.	Rede diversificada de aeroportos no entorno das grandes metrópoles, o que nem sempre ocorre com o modal marítimo; Velocidade, eficiência e confiabilidade; A frequência dos voos permite altos giros de estoque; Movimentação altamente mecanizada, reduzindo o índice de avarias; Atinge regiões inacessíveis para outros modais.	Menor capacidade em peso e volume das cargas; Não atende aos graneis; Custo de capital e fretes elevados; Fortes restrições às cargas perigosas.

Fonte: MARINHO et al (2013, p. 40 *apud* VAZ, 2022, p. 15)

O transporte providencia a ligação entre a produção, o armazenamento e o consumo. Os transportes permitem mover os produtos do local da produção para o local onde são necessários, acrescentando valor aos produtos dado que os clientes preferem um produto que exista no local onde é necessário do que um situado a grande distância (CAPITÃO, 2020).

Nesse sentido, a logística de transporte no país adquiri importância na busca de soluções considerando que o território brasileiro, sobretudo no que se refere a diminuição da distância que isolava as regiões, por isso a logística de transporte possui um papel fundamental no desenvolvimento e crescimento dos países, haja vista que determina a melhor forma de transportar pessoas e mercadorias, no menor tempo possível, no custo mínimo e nas condições adequadas. Desta forma, é correto afirmar que o transporte seja uma das principais atribuições da logística (BALLOU, 2017).

Com isso, a logística está estreitamente associada com a área de transportes não só porque esta representa o custo mais visível das operações logísticas como também porque a maioria dos operadores logísticos no Brasil e em outros países tem sua origem no serviço de transportes ou armazenagem (IPEA, 2016).

Nessa perspectiva, entende-se que a logística de transporte é um ramo da logística que envolve escolhas de um modal de transporte para que o produto ou serviço seja efetuado com melhor qualidade, menor custo e tempo de uma empresa.

A próxima seção trata dos estudos já desenvolvidos sobre Problema de Roteirização de Veículos (PRV), do inglês *Vehicle Routing Problem* (VRP) a nível nacional.

2.5 PROBLEMA DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS

A eficiência com que são realizadas as atividades de transporte (aeroviário, metroviário, hidroviário, rodoviário e ferroviário) de uma empresa ou organização pode contribuir com a minimização dos custos logísticos das rotas através melhores trajetos de veículos, duração das rotas, duração da jornada de trabalho, melhoria do serviço de coleta ou entrega. Assim, há uma vasta literatura que já vem apontando estratégias de Resolução dos Problemas de Roteirização de Veículos ou *Vehicle Routing Problem* (PRV) e suas variáveis, através de diferentes modelagens matemáticas, métodos, abordagens e simulação de diferentes cenários utilizando sistema de informações geográficas, com auxílio de softwares e algoritmos inteiros, exatos, híbridos, genéticos e memético com ou sem com Variação Cultural aplicados em otimização de rotas com e sem restrições.

De acordo com Munari; Twan; Spliet (2017) o PRV é um problema que possui vasta aplicação na logística complexo e combinatório, isso porque sua alta versatilidade e possibilidade de adaptação permite buscar a programação ideal para que todos os pontos de certa demanda existente sejam satisfeitos, utilizando-se da mínima quantidade de recursos necessários, de maneira a minimizar o custo total.

Em consonância com esse pensamento, Kramer; Subramanian; Penna (2016) consideram o PRV é um dos problemas de distribuição logística mais conhecido e estudado na área de otimização combinatória em virtude da sua aplicabilidade e importância, especialmente na cadeia de suprimentos, e é considerado NP-Difícil, em virtude da dificuldade para encontrar a solução ótima cresce exponencialmente à medida que o número de clientes aumenta. Os autores ainda acrescentam que o PRV em sua forma clássica é definido como segue: seja um grafo não orientado $G = (V, E)$, em que $V = \{v_0, v_1, \dots, v_n\}$ é o conjunto de vértices de G , enquanto $E = \{(v_i, v_j) : v_i, v_j \in V, i < j\}$ é o conjunto de arestas de G . O vértice v_0 representa o depósito com m veículos idênticos de capacidade Q e os restantes representam os clientes. Cada cliente v_i possui uma demanda não negativa q_i . Um custo não negativo c_{ij} de deslocamento do cliente i ao j está associado a cada aresta $\{v_i, v_j\}$, em que c_{ij} pode ser interpretado em termos de distância, tempo ou custos de viagem. O PRV consiste em determinar um conjunto de rotas (cada uma associada

a um veículo), tal que cada cliente seja visitado uma única vez, por um único veículo, de modo que o custo total de viagem seja minimizado e a demanda de cada cliente seja atendida. Cada veículo deve iniciar e terminar o percurso no depósito v_0 e a demanda total de cada rota não deve exceder a capacidade do veículo. Tal problema é denominado Problema de Roteamento de Veículos Capacitado.

Por isso, o VRP consiste em determinar as rotas ótimas utilizando uma frota de veículos, baseado num ou mais armazéns, para servir os requisitos de um determinado conjunto de clientes. Muitos requisitos adicionais e restrições operacionais são impostas na construção de rotas em aplicações 2.3 Transporte 15 práticas do VRP. Trata-se de um dos mais importantes e estudados problemas de otimização combinatória (CAPITÃO, 2020).

2.6 MODELOS UTILIZADOS PARA SOLUÇÃO DO PROBLEMA DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS NO BRASIL

Entre os estudos ligados ao sistema ou modal hidroviário destaca-se Arpini; Rosa (2015) sobre o planejamento da logística de suprimento de plataformas Offshore por meio de um modelo matemático 2L-CVRP com frota heterogênea e equilíbrio náutico, cujo modelo matemático propõe de Programação Linear Inteira Mista denominado *Weight Balance Two-Dimensional Loading Hetero-geneous Fleet Vehicle Routing Problem* (WB2L-HFVRP) aplicado ao planejamento da logística de suprimento de plataformas offshore visando a criação de rotas que considerem o equilíbrio náutico e a melhor arrumação das cargas no convés. O estudo de Rodrigues et al (2017) traz abordagens de otimização para um problema de roteirização e programação de navios petroleiros, estudando um problema de roteirização e programação de navios para cabotagem de petróleo, motivado pela operação real de uma empresa no litoral brasileiro, a partir da abordagem de otimização, composta por um modelo de programação linear inteira mista e uma heurística baseada em programação matemática, conhecida como heurísticas *relax-and-fix*, inspirado em uma formulação de problemas de coleta e entrega com janelas de tempo e frota heterogênea, que minimiza custos decorrentes do consumo de combustível dos navios e dos contratos de afretamento. E o modal hidroviário Pinto et al (2019) aborda o Planejamento tático de rotas marítimas para suprimento de plataformas de produção de petróleo, que propõe um modelo matemático baseado no Problema de Roteamento de Veículos Periódico (PRVP) para definição da frota de barcos necessária e de um plano semanal de viagens para cada barco da frota visando o atendimento às demandas das

plataformas ao menor custo. O modelo foi testado com instâncias baseadas em dados reais da Bacia Poguár, sendo utilizado o solver CPLEX para resolvê-las.

Caccalano; Cunha (2015) enfatizaram o abastecimento de linhas de produção visando solucionar casos reais de roteirização de veículos, em que os pesquisadores propuseram uma heurística baseada em métodos de inserção

Sousa; Kloeckner (2017) optaram por aplicação do problema de roteamento de veículos clássico (PRVC) na empresa transportadora de combustíveis Sigma. Esse modelo matemático teve auxílio da pesquisa operacional, estudo de caso e de um software LINDO® de modelagem e resolução de problemas de otimização. Bernardo; Lima (2017) planejaram e implementaram um programa de coleta seletiva: utilização de um sistema de informação geográfica (SIG) na elaboração das rotas, mais precisamente a partir da roteirização em nós, utilizou-se então a rotina *Vehicle Routing Problem* (VRP) do software TransCAD para a elaboração da rota do caminhão da coleta seletiva nos 27 bairros. Já o estudo de Portella; Lopes; Silva Júnior (2020) apresentou uma forma de adaptar o modelo de roteirização com um e múltiplos depósitos para simular os resultados da Roteirização colaborativa de veículos (SCC-VRP), aplicada na logística militar.

Gonçalves; Canal; Canal (2020) realizaram uma simulação de rotas para reduzir as distâncias percorridas em serviços de entrega, empregando a heurística *Traveling Salesman Problem* (TSP) ou o Problema do Caixeiro Viajante (PCV), implementada por intermédio de um Software de modelagem de otimização para programação linear. Moro et al (2018) também utilizaram técnicas da pesquisa operacional e o Problema do Caixeiro Viajante (PCV) empregando a abordagem Heurísticas através das heurísticas do Vizinho mais Próximo e Subcircuito Inverso, sendo utilizando o software SCILAB® 5.2.2 para a programação dos algoritmos. Alguns outros estudos desenvolveram um modelo de solução de problema de roteamento de veículo visando a otimização de rotas de coleta e entrega aplicando o modelo matemático clássico do Caixeiro Viajante (PCV) ou *Traveling Salesman Problem* (TSP) com auxílio de algoritmos genéticos ou *Genetic Algorithm* (AG) de otimização para encontrar a melhor rota de empresas para entrega de produtos de empresas varejistas (COSTA JUNIOR; SILVA 2015; GONÇALVES; ROCHA, 2020). Ainda na linha do PCV, identificou-se três estudo de caso, um sobre Otimização das rotas para veículos de manutenção do sistema de iluminação pública na cidade de Passo Fundo (RS) em que aplicou-se o método do Problema do Caixeiro Viajante (PCV), a fim de se determinar os roteiros ótimos e ilustrar a importância

dos métodos de otimização para resolução de problemas reais (TORMEN; PANSERA; KRIPKA, 2018); um outro sobre abordagem de roteamento de veículos com procedimentos exatos e heurísticos sob uma óptica ambiental, como alternativas de roteirização otimizada de transporte coletivo privado para uma indústria química, do município de Curitiba-PR, Brasil, em que aplicou-se o modelo matemático do Problema do Caixeiro Viajante (PCV), o modelo matemático das P-Medianas e as heurísticas dos Savings de Clarke & Wright, Iterated Local Search (ILS), Busca Tabu (BT) e Simulated Annealing (SA) de forma comparativa com o uso das técnicas heurísticas (SILVA; FERREIRA; STEINER, 2019); e um terceiro sobre otimização de rotas de entregas de uma empresa do setor alimentício, a partir do PCV e da Georreferencia da posição dos clientes, baseadas em coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) obtidas por meio do software Google Maps (MIRANDA; SOLIANI; FREITAS, 2021). E o outro trabalho que trabalhou com o PCV é um estudo sobre a coleta de resíduos recicláveis via técnicas de pesquisa operacional estudou-se a otimização das rotas de coleta de recicláveis na cidade de Mandaguari, localizada no estado do Paraná. Foram estudadas duas abordagens para modelagem do problema: no primeiro modelo, foram utilizadas as zonas atuais de coleta empregadas pelo município, já no segundo modelo, foram desenvolvidas novas zonas a fim de otimizar o custo total, utilizando a Pesquisa Operacional, Métodos Heurísticos e programação Python, associada com a linguagem de programação Julia (SHIRABAYASHI; MEIRA; SILVA, 2020).

Houve pesquisas que envolveu Teoria dos Grafos, o Problema do Carteiro Chinês (PCC), conceitos básicos de Programação Linear e algoritmos. Nessa linha destacam-se os estudos de Mendonça; Silva; Kestring (2017) que apresentaram e implementaram alguns métodos que resolvem o problema de minimização de rotas em distintos instrumentos computacionais; o de Moro et al (2018) que utilizaram o algoritmo do Problema do Carteiro Chinês aplicado na área urbana da cidade de Matelândia/PR, para otimizar a rota percorrida pelo caminhão de coleta de resíduos sólidos recicláveis; o de Melo et al (2020) que propôs a otimização da Rota de Coleta de Lixo na Região do Alto Paranaíba; e a pesquisa de Silva, Lins e Xavier (2020) que trata de uma aplicação do Problema do Carteiro Chinês (PCCD) direcionado na coleta de Lixo urbano em uma cidade de Recife.

Outros métodos como o de método de Evolutionary, do Solver que é um método capaz de solucionar problemas baseado em algoritmos evolucionários, foi utilizado na pesquisa de Tová, Mendes (2017) para a otimização de rotas para entrega dos ingredientes da merenda em

escolas da cidade de Barretos – SP, com auxílio do Google Maps. Santos; Machado; Santos (2019) aplicaram a heurística de economias de Clarke e Wright (MCW/1964) na resolução de problemas de roteirização em um estudo de caso, na busca por melhorias no setor de logística de distribuição de uma empresa, esta pesquisa apresenta o uso de ferramentas de roteirização combinado ao sistema de informação geográfica para otimizar a entrega de produtos a partir de uma fábrica localizada na cidade de Petrolina-PE. Ruoso, Townsend, Rosa (2019) também utilizaram o modelo de Clarke e Wright na otimização de rota na distribuição de produtos em uma empresa do setor alimentício. Foi um estudo de caso foi numa microempresa do setor de alimentos localizada em um município do centro do Estado do Rio Grande do Sul, que fez uso ainda Google Maps e do programa Microsoft Excel®. O método de varredura foi utilizado por Rossini; Pereira (2022) na aplicação do método da varredura para solucionar o Problema de Roteirização de Veículos (PRV) de uma empresa de comércio de hortifrúteis, através de uma pesquisa-ação orientada pelo problema de roteirização de veículos que propõe melhores caminhos e sequências para aprimorar a utilização dos recursos disponíveis e reduzir as distâncias percorridas pela frota.

As demais aplicações do sistema rodoviário utilizam outros algoritmos na otimização de rotas para solucionar os problemas de roteirização. Kramer; Subramanian; Penna (2016) utilizaram o algoritmo ILS-RVND ao problema de roteamento de veículos assimétrico com frota heterogênea limitada (PRVAFHL) num estudo de caso em uma indústria de bebidas. Álvarez; Munari (2016) utilizaram o mesmo algoritmo numa abordagem metaheurísticas para o problema de roteamento de veículos com janelas de tempo e múltiplos entregadores. Furtado; Morabito (2017) utilizou o algoritmo *branch-and-cut* para resolver o problema de coleta e entrega com janelas de tempo na indústria petrolífera, a partir dos modelos e métodos *branch-and-cut* em um software de otimização. Da mesma forma Demantovaa; Scarpina (2020) usaram o algoritmo *branch-and-cut* no impacto computacional da elasticidade de janelas de tempo no modelo de problema de roteamento de estoque com janelas de tempo (IRPTW) com veículo único. Naranti; Barbosa (2017) usaram o algoritmo RNVD na aplicação de uma metodologia de roteirização para uma prestadora de serviço de transporte universitário de Colorado-PR. Este trabalho envolve a modelagem de um problema de roteamento de veículos (PRV), e a implementação de um sistema para resolvê-lo através de uma metodologia simples pautada em conhecimentos matemáticos e de engenharia, afim de obter uma melhor rota de distribuição de passageiros de uma frota de micro-ônibus que transporta estudantes universitários da cidade de

Colorado-PR para Maringá-PR, e teve auxílio de softwares como o RoadShow, MapLink e TrackRoad, e da metodologia Meta-heurística. Póvoa; Paes; Velasco (2020) fez uso do algoritmo 1. GRASP na aplicação de Geo-Rota - Sistema *Web de Suporte* a Decisão para o Problema de Roteirização de Veículos com Multi-Compartimentos, e a API do Google Maps permitiu o desenvolvimento do sistema de forma eficiente e rápida.

Gomes et al (2019) realizou a aplicação de ferramenta computacional na otimização e mitigação de custos na roteirização da logística de transporte de cargas em uma empresa do ramo de transporte de materiais de construção civil, localizada na região centro-sul de Belo Horizonte. A metodologia da pesquisa envolveu a aplicação da modelagem e tomada de decisão, empregando a ferramenta computacional solver do Microsoft Excel®.

2.7 ALGORITMO GENÉTICO

Os algoritmos genéticos (AG) são metaheurísticas baseadas na teoria de seleção natural de Charles Darwin, no século XIX, no qual se afirmava que apenas os indivíduos com maior capacidade de adaptação conseguem sobreviver e transmitir os seus genes para as gerações futuras (DARWIN, 1859). Portanto, o algoritmo genético é um método de otimização de inspiração biológica que teve como um de seus principais estudiosos John Henry Holland com base na teoria evolucionária de Charles Darwin.

Nessa perspectiva, o AG foi desenvolvido por Holland (1975) utilizando os conceitos da biologia evolutiva com cromossomo, mutação, gene e seleção para resolver problemas de otimização por meio de métodos computacionais avançados (HOLLAND, 1975; CAMPELO JUNIOR, 2010).

Segundo Baker e Ayechev (2003), os algoritmos genéticos possuem uma função objetivo chamada de função de aptidão ou fitness, que é responsável por avaliar cada uma das soluções obtidas geradas pela técnica de otimização. O processo começa com geração de uma população inicial de indivíduos que pode ser desenvolvida de forma aleatória ou estruturada, representando possíveis soluções de um determinado problema.

A implementação do algoritmo genético é criada uma população inicial de indivíduos, aleatoriamente ou a partir de uma solução sub-otimizada, onde cada indivíduo representa uma solução para um determinado problema, assim indivíduos que apresentam uma performance melhor na solução do problema são selecionados para gerar a próxima geração através da

implementação de operadores genéticos como crossover e mutação. Este processo de escolha dos melhores indivíduos e aplicação dos operadores genéticos é repetido por um determinado número de gerações, até que no fim é extraído o melhor indivíduo da população final, indivíduo este que é a solução otimizada para o problema inicial proposto (CAVALHEIRO, 2021).

Assim, os AG são fundamentados nos princípios da biologia evolutiva de seleção natural, no qual o meio seleciona os seres mais bem adaptados, que passam os genes que contém essas características para a sua prole, dando continuidade ao ciclo de evolução das espécies. Ao se utilizar Algoritmos Genéticos, procura-se, a partir de um conjunto inicial de estratégias, obter soluções aproximadas para problemas de otimização, essas escolhas iniciais são combinadas e/ou modificadas de forma a se buscar novas e melhores estratégias, dando origem a uma nova geração, formando dessa forma um processo iterativo e, conseqüentemente, evolutivo. Os AG podem ser aplicados, por exemplo, a um problema de otimização das firmas, no qual a informação é limitada ou inexistente, logo, não se sabe a forma mais eficiente de investimento, pode-se, então, utilizar AG para buscar estratégias que levam a melhores resultados. Os AG simulam a situação em que os agentes, ou seja, as firmas, possuem pouca ou nenhuma informação a respeito do mercado, as estratégias são formadas a partir da observação dos resultados relacionados a um conjunto de ações inicialmente aplicado. Nessa lógica, é importante compreender dois aspectos, o primeiro é a dinâmica industrial, que consiste na forma como as firmas entram e saem do mercado, a quantia que investem e como esse investimento é feito, podendo ter como foco inovação ou imitação. O segundo aspecto que deve ser considerado, é a aprendizagem, que consiste na construção de uma base de conhecimento, que vai guiar as escolhas dessas firmas (PASSOS, 2018).

Com isso fica evidente que os algoritmos genéticos são uma linha dos algoritmos evolucionários que permite a utilização da aprendizagem, obtida através da experiência, nas gerações seguintes. basicamente, novas estratégias são geradas a partir de estratégias anteriores, de forma a se encontrar soluções que apresentam um melhor ajuste, ou seja, define-se a função ajuste e busca-se otimizá-la através dos algoritmos (Idem, 2018).

Segundo Pereira (2020) o AG tem como fundamento a continuidade das melhores soluções de um problema, pois tal como na natureza, os indivíduos que mais adaptado ao seu ambiente terão mais possibilidade de procriar.

Nos problemas de roteirização metaheurística Algoritmo Genético (AG) vem sendo utilizado para a otimização das rotas a partir dos seguintes passos (PEREIRA, 2020):

1. Criação da população inicial;
2. Determinação dos indivíduos mais adaptados;
3. Cruzamento e procriação;
4. Mutação.

A arquitetura básica de um algoritmo genético é estruturada ou implementada em 6 (seis) passos, conforme a Figura 2.5, adaptada de Kondageski e Fernandes (2009).

No primeiro passo, começa-se com a **criação de uma população inicial**, que nesta pesquisa será formada por um conjunto de elementos aleatório (informações) que serão utilizadas como os parâmetros para as rotas a serem estimadas.

No segundo passo, serão **avaliados** a aptidão dos elementos durante o processo e receberão uma nota, e produzindo a qualidade da solução que eles representam, relativamente aos valores monitorados de uma determinada variável. Em geral, os mais aptos são selecionados, e os menos aptos são descartados. A aptidão de cada indivíduo é avaliada durante o processo de evolução, resultando em indivíduos aptos e menos aptos. Após esta etapa alguns candidatos são selecionados para reprodução. Então novos indivíduos são gerados através do cruzamento, surgindo uma nova população. Esse mesmo processo é reiniciado exaustivamente até que a solução otimizada ou o número de iterações seja alcançado (MICHALEWICZ, 1996).

No terceiro passo é verificado se os elementos atingiram o critério de parada, verificando se esse elemento já está em algumas gerações sem muita diferença, sem mudar significativamente de valor.

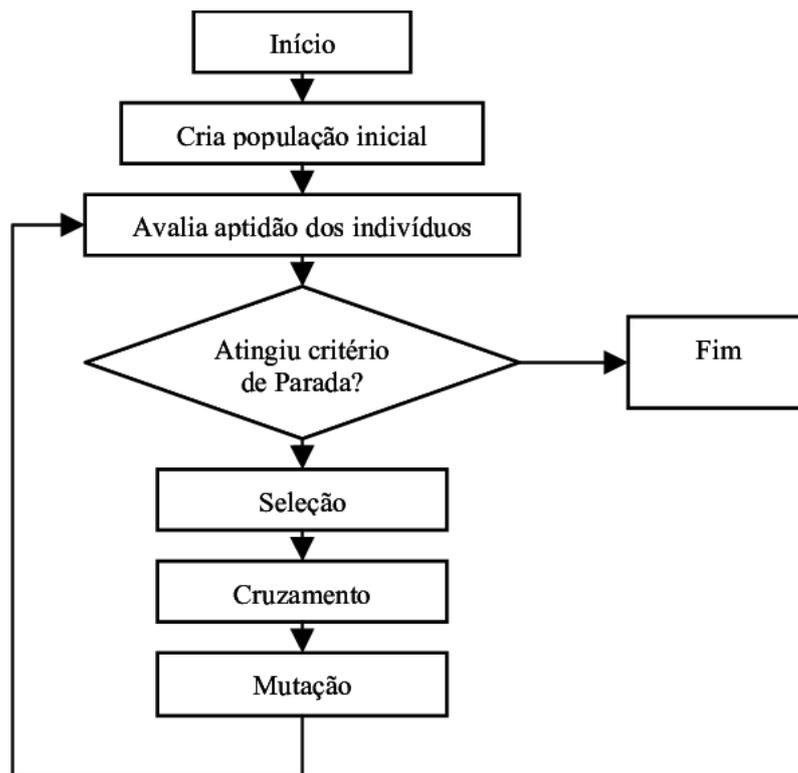
No quarto passa acontecerá a seleção dos elementos, como por exemplo os 10 melhores resultados.

No quinto e sexto passo serão reproduzidos novos elementos com características ótimas e serão criados elementos com essas características, que herdaram algumas características mescladas herdadas da geração anterior. Aqueles selecionados podem sofrer modificações em suas características fundamentais através de operadores cruzamento e mutação, gerando descendentes para a próxima geração. Esta nova população de possíveis soluções produzidas contém uma maior proporção das características dos melhores indivíduos da geração anterior.

Desta forma, características ótimas são espalhadas por muitas gerações na população, sendo misturadas e permutadas com outras boas características. Através do favorecimento do cruzamento dos melhores indivíduos da população, as áreas mais promissoras do espaço de busca são exploradas. Se o algoritmo foi bem elaborado, a população convergirá para uma solução ótima do problema (KONDAGESKI e FERNANDES, 2009).

A Figura 2.5 apresenta a configuração de um algoritmo genético típico e adotado para o desenvolvimento das rotinas computacionais desta pesquisa como detalhado em Kondageski e Fernandes (2005). Nesta referência, demonstram-se os aspectos computacionais de convergência e robustez das soluções de definição de parâmetros de qualidade da água para problemas com solução analítica conhecida.

Figura 2.5 - Esquema de um Algoritmo Genético



Fonte: Kondageski e Fernandes (2009).

Dessa forma, cada nova geração é submetida a uma função de avaliação para medir a aptidão dos indivíduos, a fim de obter resultados melhores que se aproxime do valor ótimo. Também é necessário estabelecer um critério de parada para as iterações que pode ser a convergência para um indivíduo mais apto ou a definição de um limite de tempo ou de iterações.

De acordo com Malaquias (2006), o algoritmo genético probabilístico mantém a cada iteração t , uma população de indivíduos $P(t)$:

Esse cromossomo p_t representa uma solução do problema proposto. A cada iteração t ocorre um processo de renovação da população, obtendo $P(t)$ a partir de $P(t-1)$. Em seguida, esse indivíduo é avaliado por uma função que mede o nível de aptidão do AG. Com isso, os indivíduos considerados mais aptos sobrevivem e são preservados para a população seguinte, enquanto que os menos aptos foram descartados.

Durante a programação genética ocorre um processo de renovação das populações que visa melhorar geneticamente cada indivíduo. A partir de uma população inicial definida, pais são selecionados para a reprodução, gerando filhos que passam a sofrer mutação e, em seguida, são adicionados a população.

Os cromossomos, por sua vez, podem ser representados de forma inteira, binária e real (MALAQUIAS, 2006). Apesar de a representação binária ser a mais utilizada, os números inteiros serão os genes adotados nesta pesquisa por serem mais fáceis de aplicar em um sistema real. Por exemplo, a representação por inteiros pode ser utilizada para resolver problemas de otimização combinatória, como é o caso do problema do caixeiro viajante.

Dessa forma, o cromossomo é representado por um vetor de inteiros no qual cada número está relacionado a uma sequência de cidades a serem percorridas pelo caixeiro viajante, conforme a expressão a seguir:

$$p = (0 \ 4 \ 6 \ 3 \ 1 \ 5 \ 2 \ 9 \ 8 \ 7 \ 0)$$

De acordo com Malaquias (2016) para que os algoritmos genéticos possam encontrar uma solução ótima é necessário considerar os seguintes parâmetros:

- Função de aptidão – representa a função objetivo, responsável por avaliar o nível de aptidão de cada cromossomo gerado pelo GA;
- População inicial – é o espaço de busca do GA no qual a população é avaliada pela função de aptidão para verificar a qualidade da solução;
- Operadores genéticos – possui a tarefa de renovar a população de forma iterativa, a fim de melhorar a qualidade genética de cada indivíduo, podendo ser utilizado dois tipos de operadores: crossover (cruzamento) e mutação.
- Cruzamento – é a primeira etapa na formação de uma nova população, constituída pelos filhos gerados a partir da escolha de pares de indivíduos. Na fase de seleção, a

probabilidade de seleção desse indivíduo deve ser proporcional à sua aptidão. Através de um do método da roleta russa, um dos mais conhecidos e utilizados, no qual uma população é representada por uma roleta dividida em n regiões que ao ser girada indica quais os indivíduos foram selecionados através da posição de cursores. Em seguida, ocorre o processo de cruzamento entre dois ou mais pais que consiste em obter cortes nesses cromossomos nos quais tem a suas metades permutadas para formarem novos filhos que são adicionados à população.

- Mutação –   um mecanismo fundamental para evitar que o algoritmo encontre uma soluço mínima local.   por meio da muta o que   possível explorar outras regiões do espaço de busca. Dessa forma, os operadores de muta o por meio de uma fun o de probabilidade provocam uma mudança aleatória nos genes do cromossomo, formando um novo indivíduo.
- Elitismo –   método que garante a preserva o dos melhores indivíduos no processo de transi o entre gera es, a fim de evitar a perda de qualidade dos indivíduos que povoam a popula o atual. O elitismo, por sua vez, faz a substitui o dos indivíduos com menor aptidão pelos melhores cromossomos da nova popula o.

Tendo em vista os autores que explicitam as fases do funcionamento de um algoritmo genético, a descri o de sua aplicabilidade será mais bem detalhada no capítulo que apresenta todos os resultados obtidos do AG empregado no estudo.

Portanto, neste estudo, foi adotado o método metaheurístico baseado em Algoritmo Genético para a soluço do problema de roteiriza o através de uma representa o por inteiros associada a otimiza o combinatória com parâmetros reais por apresentarem um desempenho satisfatório. Em contrapartida a codifica o binária, de acordo com a literatura, tem apresentado um baixo desempenho em diversas aplica es práticas (MICHALEWICZ, 1996; MALAQUIAS, 2006).

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGIA

Este capítulo apresenta os procedimentos metodológicos empregados no estudo para a elaboração do modelo de otimização, fazendo uma descrição dos materiais e métodos que estão sendo utilizados tanto na coleta quanto na análise dos dados; bem como o local da pesquisa; os modelos dos instrumentos ou equipamentos utilizados; e a escolha pela modelagem do Algoritmo Genético (AG).

3.1 MATERIAIS

Para simular a implementação do Algoritmo Genético (AG) na otimização das rotas de coleta executadas pelos caminhões de uma empresa coletora da cidade de Manaus, utilizou-se um computador com processador Intel® Core I5™, 8Gb de RAM e sistema operacional Windows 10, software MATLAB versão R2022a, tecnologia do Bing Maps, além de dados da empresa terceirizada (transportadora) contratada pela Secretaria Municipal de Limpeza Pública – SEMULSP fornecido por meio da Comissão Especial de Divulgação da Política de Limpeza Pública – CEDOLP setor responsável que prioriza a integração das atividades de sensibilização sobre a Coleta Seletiva, como vetor de conservação ambiental, inclusão social e a coleta de pneus inservíveis na cidade de Manaus, tais como quantidade de bairros atendidos, números de ponto de coleta e de pneus coletados diária e mensalmente, dentre outros.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Coleta de Dados

A coleta de dados foi realizada em empresa terceirizada (transportadora) contratada pela Secretaria Municipal de Limpeza Pública – SEMULSP da cidade de Manaus, localizada na Av. Brasil, Nº 1.335, Compensa - CEP – 69036-110, onde foi realizado visitas técnicas in loco para conseguir os dados empíricos deste estudo a serem implementados no AG do MATLAB. Foram identificados dados como:

- Número de bairros atendidos;
- Número total de pontos de coleta de pneus na cidade de Manaus;
- Números de pontos de coleta de pneus em bairro;
- Média de pneus coletados mensalmente;

- Média de pneus coletados diariamente;
- Números de caminhões coletores da empresa;
- Números de caminhões coletores da empresa em funcionamento;
- Capacidade dos caminhos coletores.

A ferramenta (*software*) MATLAB que é a abreviação de “MATriz LABoratory”. A opção por esta ferramenta justifica-se pois trata-se de um programa de alto empenho que realiza cálculos técnicos e números com vetores e matrizes e, também pode trabalhar com números escalares (tanto reais quanto complexos), com cadeias de caracteres e com outras estruturas de informação mais complexo. É uma linguagem e ao mesmo tempo um ambiente de programação. Através desta ferramenta, criar e avaliar diferentes cenários que melhor otimize as rotas de coleta executadas pelos caminhões de uma empresa coletora da cidade de Manaus.

3.2.2 Análise de Dados

Para a otimização das rotas de coleta executadas pelos caminhões de uma empresa coletora da cidade de Manaus se utilizará a metaheurística Algoritmo Genético (AG).

A Tabela 3.1, apresenta o Processo Metodológico da pesquisa, que foi desenvolvido em quatro fases: 1. Mapeamento das produções; 2. Mapeamento das produções; 3. Experimento do Modelo Proposto. Cada fase é composta por três etapas: 1.1 Mapeamento das produções; 1.2 Revisão sistemática de Literatura; 2.1 Visita técnica; 2.2 Coleta de informações das rotas na empresa; 3.1 Criação do Algoritmo Genético; 3.2 Compilação do Algoritmo Genético no Software MATLAB R2022a; 3.3 Simulação no Bing Maps; 4.1 Simulação dos Resultados, 4.2 Conclusão.

Tabela 3.1 - Processo Metodológico

FASE	ETAPA
1. Compreender soluções para o problema de roteirização de veículos, especialmente aplicações para coleta de resíduos sólidos (pneus inservíveis);	1.1 Mapeamento das produções
2. Identificar um modelo conceitual para roteirização de coleta de pneus inservíveis adequando para a realidade de Manaus;	2.1 Visita técnica
	2.2 Coleta de informações das rotas na empresa

3. Modelar o problema de otimização da roteirização, buscando encontrar melhores resultados, utilizando algoritmo genético;	3.1 Implementação da otimização da rota com o AG
	3.2 Simulação do Algoritmo Genético no Software MATLAB R2022a
	3.3 Simulação no Bing Maps
4. Avaliar o modelo aplicado, considerando os dados de Manaus, em um ambiente de simulação.	4.1 Simulação dos Resultados
	4.2 Conclusão

Na etapa 1.1 realizou-se o mapeamento das produções visando compreender soluções para o problema de roteirização de veículos, especialmente aplicações para coleta de resíduos sólidos (pneus inservíveis);

Na Etapa 2.1 realizou-se a visita técnica/Estudo de Caso: considerando que para plicar um modelo de roteirização que otimize as rotas de coleta executadas pelos caminhões de uma empresa coletora da cidade de Manaus, tivemos a necessidade de fazer visitas técnica *in lócus* a empresa para conseguir os dados empíricos deste estudo. Dessa maneira o estudo, se caracteriza como um estudo de caso, por ser desenvolvido com dados reais de uma empresa em que se busca uma solução de otimização.

Na etapa 2.2 realizou-se a coleta de informações das rotas na empresa investigada, onde tivemos conversas formais e informais com o profissional responsável que gerencia todo o fluxo de rotas da empresa investigada. Dentre as diversas etapas informadas, verificou-se que rota dos caminhões saem da sede da empresa coleta (empresa terceirizada), segue para os pontos de coleta (borracharias, lojas) de dois ou três bairros conforme a programação da empresa.

A partir desses conhecimentos, acreditasse que o modelo conceitual de roteirização aplicado pode otimizar a rota da empresa investigada, trazendo ganhos significativos de desempenho em relação as distancias, com redução de custos e tempo dos caminhões coletores.

Na etapa 3.1 realizar-se-á a implementação da otimização da rota com o AG.

Na etapa 3.2 Implementação da solução em Algoritmo Genético no Software MATLAB R2022a.

Na etapa 3.3 se fará a simulação no API do Bing Maps como simulador, por permitir o mapeamento das rotas passo a passo através do mapa.

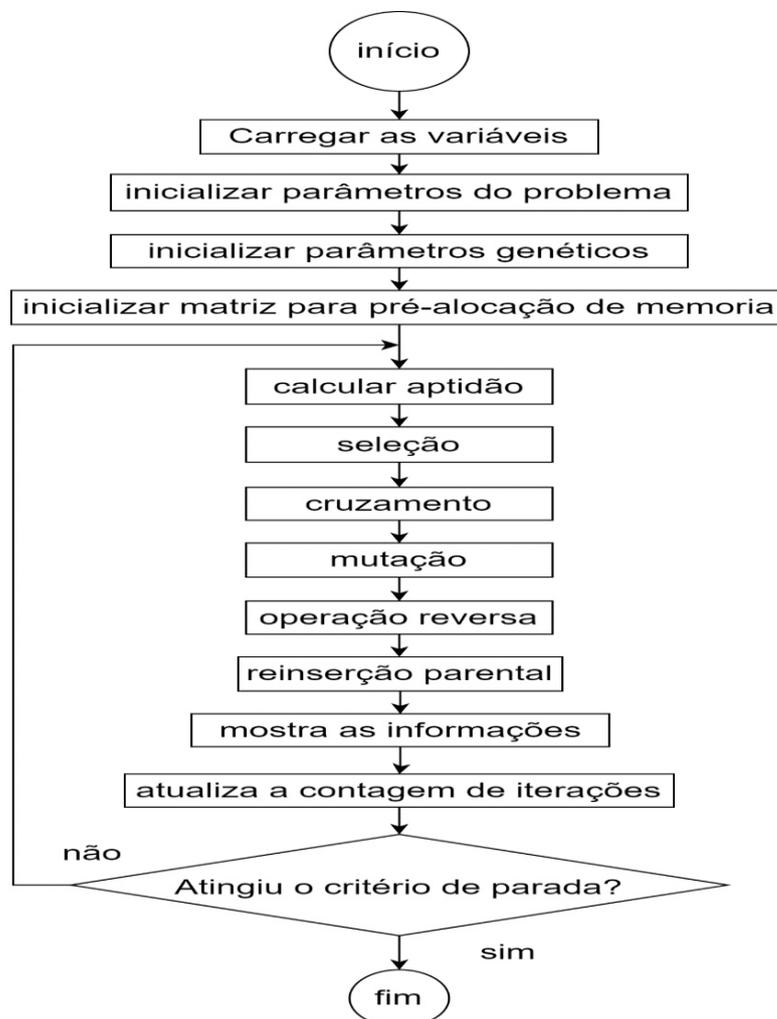
Na etapa 4.1 Simulação dos Resultados serão apresentados cenários produzidos em ambiente de simulação na a linguagem do software MATLAB, onde se pretende acrescentar o algoritmo trabalhado, os dados reais coletados na empresa, e do API do Big Google, levando-se em consideração a quantidade de veículo disponibilizados pela empresa e as variáveis de

distancias. Contendo os resultados, que constituem nos resultados da pesquisa e suas discussões.

E por fim, na etapa 4.2 far-se-á a validação do modelo aplicado, considerando os dados de Manaus, em um ambiente de simulação e conclusão do modelo.

Apresenta o fluxo do modelo desenvolvido por meio do Algoritmo Genético (GA) para otimizar as rotas de coleta de resíduos sólidos (pneus inservíveis). O fluxo, inicia alimentando a primeira etapa do processo denominado (carregar as variáveis) do problema de roteirização com os dados que foram inseridos no Matlab, conforme descrição na figura 4.1:

Figura 3.1 - Fluxo do algoritmo genético



Fonte: Adaptado de Malaquias (2006).

- City – coordenadas de latitude e longitude dos pontos de coleta de pneus nas borracharias, (18 bairros atendidos), conforme tabela 4.1;

- Demand – demanda é a quantidade de pneus coletados dos pontos de coleta, média 14 pneus por pontos diariamente;
- Capacity – capacidade do veículo de coletar 126 pneus (média de 252 pneus coletados diariamente);
- Distance – distância real em km, extraída da base de dados da API do Bing Maps.
- Número total de pontos de coleta de pneus na cidade de Manaus:

Uma média de 206 pontos de coletas em diferentes zonas de Manaus, dessa forma foi feita uma amostragem e utilizou se um ponto por bairro, em razão das coordenadas geográficas não terem atendido todas as localizações (ausência da numeração nos endereços), o algoritmo não conseguiu calcular distância do ponto de origem (SEMULSP) até o destino (ponto de coletas).

- Média de pneus coletados mensalmente:

A empresa realiza a operação diariamente com a média de dois a três bairros por dia de segunda a sábado (24 dias mensais), coletando uma média de 9 pontos por dia, cerca de 14 pneus coletados. Totalizando 3.024 pneus coletados mensalmente. Portanto com o novo modelo proposto de roteirização, tem intuito de atender 1 ponto por bairro (18 borracharias com saída e retorno para SEMULSP), 14 pneus por pontos coletados diariamente, com capacidade do veículo de 126 pneus/dia. Totalizando 6.048 pneus coletados mensalmente.

- Média de pneus coletados diariamente:

Através do novo modelo de roteirização, pretende atender 1 ponto por bairro (18 borracharia), 14 pneus coletados diariamente. Portanto este modelo tem a intenção de utilizar na operação duas rotas diariamente, ou seja, no período da manhã e tarde. Dessa forma tem intenção de coletar 252 pneus diariamente.

- Números de caminhões coletores da empresa:

A empresa utilizava na operação dois veículos (toco), baú de alumínio com comprimento 6,00; largura 2,30; altura 2,50; com duas portas lateral, porém apenas um está sendo utilizado para cumprir a operação, o outro encontra se em manutenção e sem previsão de data para retornar à operação.

- Capacidade dos caminhões coletores.

Os veículos têm a capacidade de coletar 126 pneus diariamente e pretende cumprir a operação com duas rotas, no decorrer do período da manhã e à tarde. Totalizando 252 pneus diariamente.

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são demonstrados a implementação do modelo de otimização e simulação e cenário desenvolvido considerando os dados reais de uma empresa logística que presta serviços de coleta de pneus inservíveis na cidade de Manaus.

4.1 ANÁLISE DO PROBLEMA

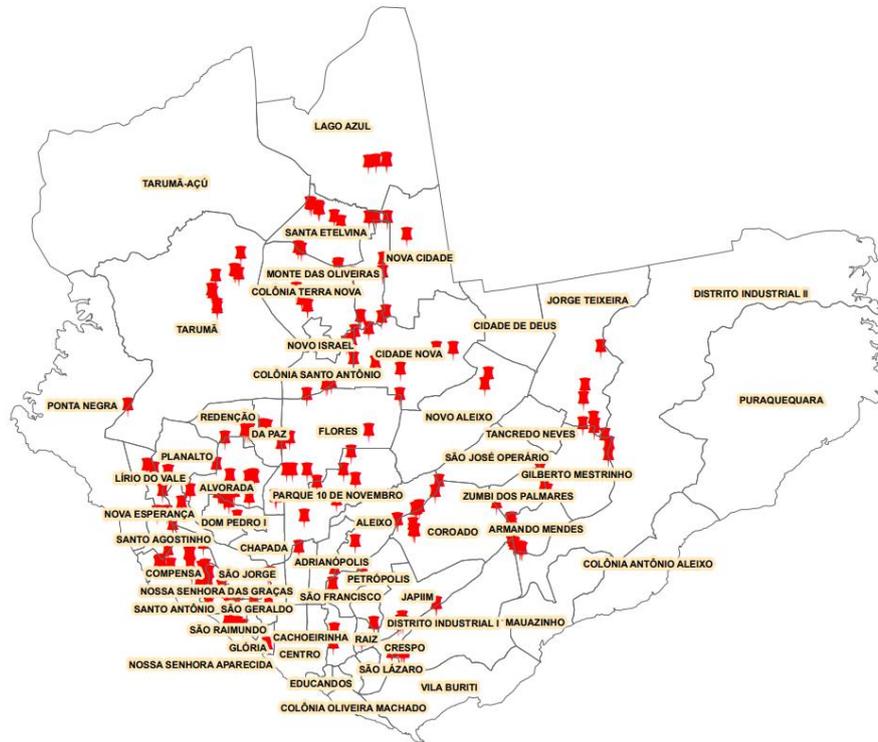
Foi feita uma visita *in loco* para conhecer o contexto da empresa investigada, e para coletar de dados empíricos deste estudo e conhecimento das rotas de coleta executadas pelos caminhões de uma empresa coletora da cidade de Manaus, na busca de uma solução de otimização.

É importante salientar que a empresa estudada atua na coleta de pneus inservíveis coletora da cidade de Manaus, é terceirizada (transportadora) contratada pela Secretaria Municipal de Limpeza Pública – SEMULSP do referido município. Para atender a uma frequência diária de segunda a sábado a empresa tem a responsabilidade contratual de fazer as coletas diárias que atendem uma média diária de dois a três bairros por dia de segunda a sábado (24 dias mensais), atingindo uma média de 9 pontos por dia, com cerca de 14 pneus coletados por ponto. Totalizando cerca de 3.024 pneus coletados mensalmente.

Por isso, o processo de roteirização considerou a capacidade dos seus dois caminhões VW13180 do tipo (toco), baú de alumínio com comprimento 6,00; largura 2,30; altura 2,50; com duas portas lateral, e os dois veículos consomem uma média 50 litros de combustível diariamente para realizar a coleta, totalizando 2.400 litros mensais. E também deve considerar que a operação é realizada para cumprir uma programação semanal, organizada em rota, a cada dia da semana o caminhão realiza a coleta em dois a três bairros por dia, que abrange uma ou duas zonas de Manaus, mas que tem uma média 206 pontos de coletas em diferentes zonas de Manaus.

A Figura 4.1 é visualizada a localização dos pontos de coletas que foram mapeados pelo setor de Geoprocessamento da Secretária Municipal de Limpeza Pública.

Figura 4.1 - Mapa de localização dos pontos de coletas



Fonte: SEMULSP (2022).

Um problema identificado no banco de dados da Secretaria Municipal de Limpeza de Urbana (SEMULSP), foi a ausência da numeração nos endereços dos pontos de coletas (borracharia), sendo que de 206 borracharias, 120 estavam com endereços incompletos, apenas 86 com endereços completos. O processo de roteirização é realizado com base na experiência do motorista que está habituado a executar o mesmo percurso com frequência. Devido este problema, não foi possível a modelagem com todos os pontos de coletas. Além disso, algumas coordenadas (latitude e longitude) não estavam indicando o ponto exato de localização das borracharias. Por este motivo será feita uma delimitação da área de atuação no qual foi selecionada a zona oeste, compreendendo 1 (um) ponto de coleta por bairro, conforme tabela 4.1.

Tabela 4.1- Delimitação da área de coleta

BAIRROS	QTD PONTOS
Compensa	1
Lirio do Vale	1
Planalto	1
Ponta Negra	1
Santo Agostinho	1
Santo Antonio	1
São Jorge	1
São Raimundo	1
Vila da Prata	1
Aleixo	1
Alvorada	1
Cachoeirinha	1
Cidade nova	1
Dom Pedro	1
Flores	1
Raiz	1
Taruma	1
Japiim	1
TOTAL	18

Com base nas informações levantadas na pesquisa de campo, foi verificado que a empresa estudada segue um planejamento, mas não tem um processo de roteirização em métodos computacionais de otimização, por isso a necessidade de uma rota otimizada. Para isso, utilizou-se os seguintes procedimentos de elaboração do modelo de otimização:

1. Levantamento de dados (coordenadas geográficas)
2. Delimitação do problema a ser otimizado. Foi selecionado para amostragem apenas
3. 1 ponto de coleta por bairro (18 borracharias com saída e retorno para a SEMULSP)
4. Foi criada a matriz de distância com base na API do Bing Maps
5. Foi implementado o algoritmo genético com restrição de capacidade considerando a distância mínima.
6. Utilizou-se as seguintes variáveis de entrada do modelo:
 - Número de pontos: 18
 - Ponto de Saída e Chegada: SEMULSP
 - Capacidade do veículo: 126 pneus/dia
 - Demanda: 14 pneus por ponto.

4.2 ANÁLISE DO RESULTADO

Neste tópico serão apresentados os resultados do modelo de roteirização da coleta de resíduos sólidos (pneus inservíveis) por meio do Algoritmo Genético (GA), tem a finalidade de aumentar o número de pontos de coletas por bairros, reduzir a distância total percorrida e os dias de coletas. Neste caso, com intuito de que os algoritmos genéticos tivessem os resultados eficazes na resolução de problemas de otimização lógica foi fundamental definir corretamente as variáveis de entrada a fim de configurar o sistema real de maneira confiável, no entanto, é uma função complicada devido as limitações existentes no processo investigado. Dessa maneira, o processo foi simplificado e delimitado o campo de atuação.

A tabela 4.2 apresenta a matriz de distancias.

Tabela 4.2 - Matriz de distancias

Matriz de distâncias																			
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
0	0	2	4	5	6	3	2	3	4	3	13	6	7	16	5	7	8	10	9
1	1	0	3	4	4	3	3	4	5	4	14	7	8	17	6	8	9	10	10
2	7	6	0	1	4	5	8	8	10	8	14	4	12	14	3	6	17	8	15
3	8	7	1	0	4	5	9	9	11	9	14	4	12	14	4	5	16	9	14
4	3	2	2	3	0	1	5	5	7	5	13	6	11	15	4	6	12	9	14
5	3	1	3	3	2	0	4	4	6	5	14	7	10	15	5	6	11	9	11
6	2	3	6	7	8	5	0	2	2	1	12	8	6	15	6	6	7	12	7
7	2	3	5	6	7	5	1	0	3	0	13	6	6	15	5	6	7	12	8
8	6	6	9	10	11	8	4	5	0	4	12	8	6	15	9	6	7	15	7
9	2	3	5	6	7	4	1	0	2	0	13	7	6	15	5	6	7	12	8
10	12	11	12	13	14	15	9	12	10	11	0	9	9	7	9	8	7	19	5
11	8	8	4	4	8	9	8	7	8	8	10	0	8	10	2	2	13	10	11
12	7	8	11	11	12	10	6	6	5	6	11	9	0	15	9	8	1	17	3
13	16	16	14	13	19	20	15	14	16	16	10	10	14	0	12	9	13	15	11
14	5	5	3	4	7	7	6	5	7	5	11	2	9	12	0	4	13	11	11
15	7	7	5	5	8	9	6	5	7	7	11	2	8	11	2	0	9	13	11
16	8	9	11	12	13	11	7	7	5	7	9	10	1	13	10	9	0	18	2
17	15	13	6	5	11	12	16	16	18	16	21	6	19	14	7	13	23	0	22
18	9	10	15	15	16	12	8	8	8	8	7	12	3	11	11	10	2	21	0

De acordo com a Tabela 4.2. A contagem da distância foi adquirida por meio da função “*GetDistance*” executada no solver do Excel. Uma chave de acesso foi habilitada, por meio da API do Bing Maps para verificar a distância na nuvem de forma imediata, considerando o fluxo de direção das vias, gerando uma matriz de distâncias.

A tabela 4.3 os Parâmetros do GA.

Tabela 4.3 - Parâmetros do GA

Variável	Valor
NIND	400
MAXGEN	1000
GGAP	0.9
PC	0.9
Pm	0.05

Fonte: Adaptado pelo autor (2022).

A tabela 4.3, inicia com a variável NIND que utiliza o tamanho da população, o valor da variável para 400 até que se analisou uma estabilidade no comportamento do AG. Ao passo que a MAXGEN representa número de 1000 gerações, ou seja, indica o limite máximo de relação que o algoritmo pode alcançar. É um estado de parada imposta para evitar que o AG opere em um loop infinito caso não encontre um valor Ótimo Global.

A ligação ao rol de possibilidade de intervalo de geração (GGAP), de cruzamento (Pc) e mutação (Pm) a melhor associação encontrada está registrada na Figura 4.7. Esses operadores de combinação e mutação foram aplicados para redefinição das soluções, mudando de forma casual a variável de decisão e garantindo a diversidade da população. Também foi observado que a alteração da probabilidade de modificação ao longo da execução não melhorou o desempenho do algoritmo. Para efeito de compreensão, quando se aumentou a taxa de probabilidade de mutação, o algoritmo ficou instável, apresentando um baixo desempenho na solução gerada.

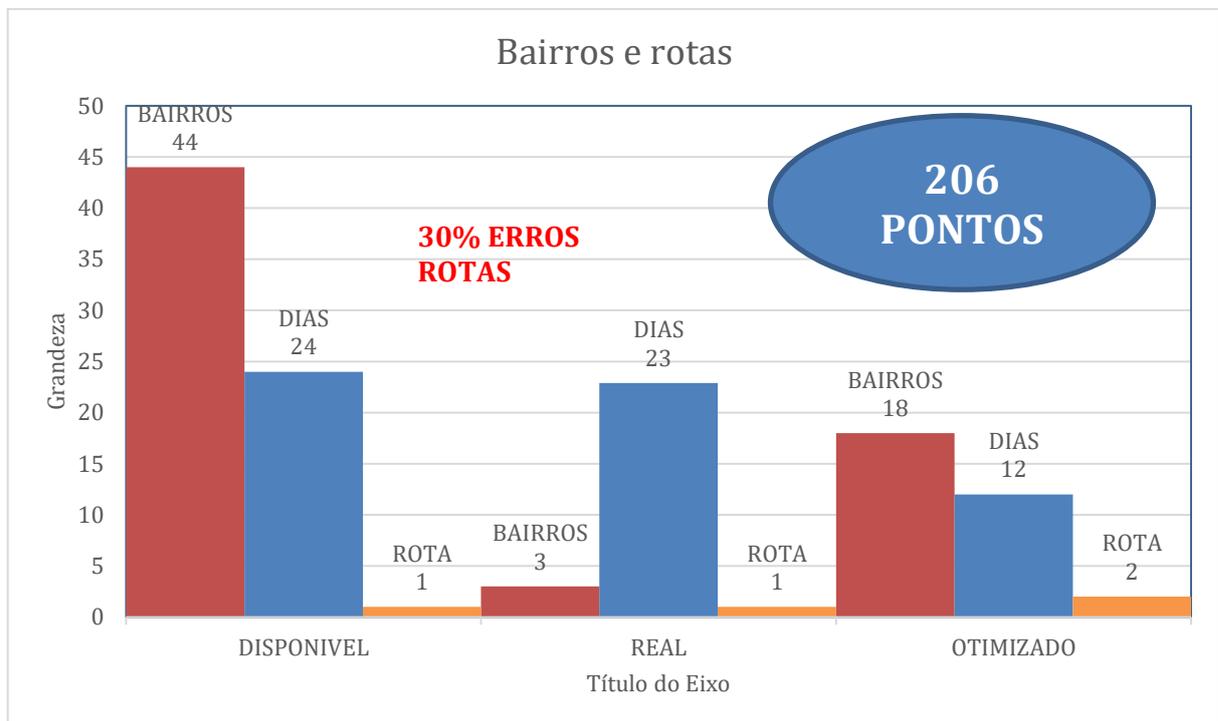
Quando a variável “gen” recebe o valor da primeira geração e o AG calcula o comprimento da rota através da função “fitness”. O cálculo de aptidão faz a análise de cada cromossomo gerado pelo algoritmo através de uma função objetivo busca pela distância menor no histórico armazenado na memória e o caminho equivalente. Esse cromossomo, neste estudo, é refletido por um conjunto numérico que representam as rotas, por exemplo, pode-se dizer = [0 1 2 3 4 5 6 7 8 0] corresponde a um cromossomo que pode ser otimizado de acordo com a melhor continuação sugerida pelo AG.

Com o aparecimento de uma nova geração, a população é restaurada com ajuda do operador de reinserção que inclui os indivíduos mais apropriado ao problema novamente no processo evolutivo. Após a efetivação do código foi analisado uma parada do processo de busca,

o que significa dizer que o AG convergiu para uma melhor solução e encerrou o ciclo de evolução, retornando o melhor individual da população atual.

Apresenta a análise comparativa de bairros e rotas por meio de dados coletados da instituição pública (SEMULSP), tendo em vista que foi utilizado como referência para comparar as variações de quantidades os elementos da coluna: disponível, real e otimizado, que estão descritos no gráfico da figura 4.2:

Figura 4.2 – Gráfico comparativo de bairros e rotas

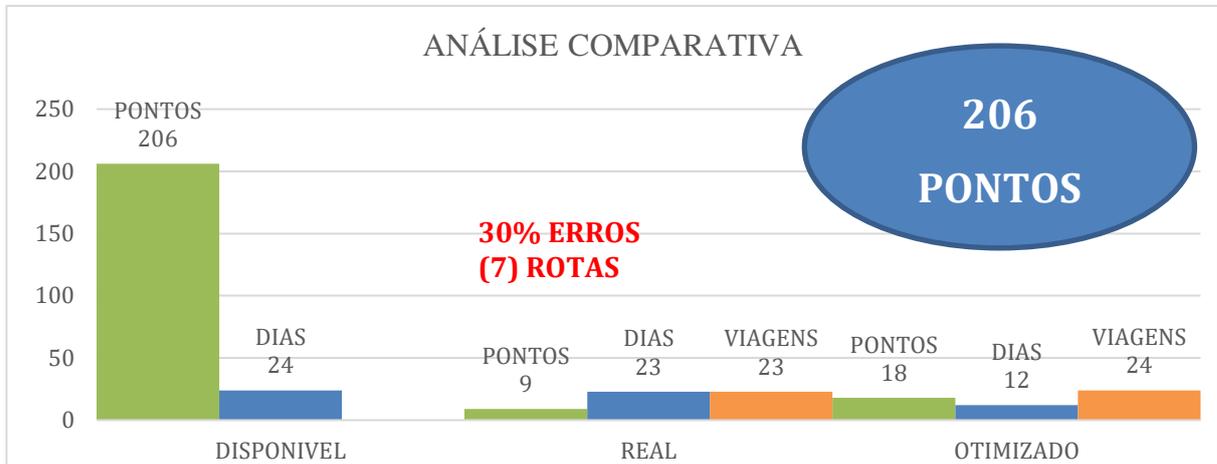


- Disponível – demonstra o quantitativo de bairros a serem atingidos e os dias efetivo para execução da operação em Manaus;
- Real – representa a quantidade de bairros atingidos diariamente, assim como os (23) dias para realizar a operação, utilizado somente (1) rota para coleta de pneus;
- Otimizado – apresenta o resultado do novo modelo de roteirização da coleta de pneus, com finalidade de atingir 1 ponto de coleta por bairro (18 borracharias), em 12 dias, operando com duas rotas diariamente.

Apresenta a análise comparativa de pontos de coletas e viagens por meio de dados coletados da instituição pública (SEMULSP), tendo em vista que foi utilizado como referência

para comparar as variações de quantidades os elementos da coluna: disponível, real e otimizado, estão descritos no gráfico da figura 4.3:

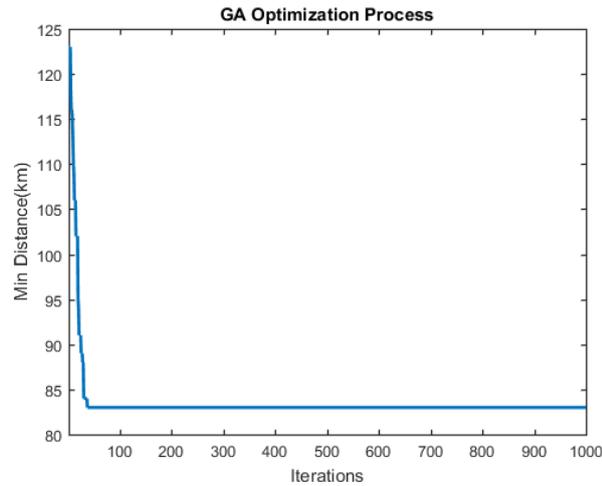
Figura 4.3 – Gráfico comparativo de pontos de coletas e viagens



- Disponível – demonstra o quantitativo (206) pontos de coletas distribuídos em 44 bairros e os (24) dias para execução da operação em Manaus;
- Real – representa a quantidade de pontos (9) coletados diariamente, em 23 dias efetivo, perfazendo (23) viagens, ou seja, totalizando (206) pontos coletados.
- Otimizado – apresenta o resultado do novo modelo de roteirização da coleta de pneus, com finalidade de atingir 1 ponto de coleta por bairro (18 borracharias), em 12 dias diariamente, equivalente 216 pontos, ou melhor dizendo, 24 dias, perfazendo 24 (viagens), totalizando (432) pontos coletados.

Na figura 4.4, observa-se que a partir da iteração de número 400 o AG alcança a estabilidade e encontra uma distância mínima total de 83 km no período diurno. Neste caso, a iteração de 81 até 400, apresenta uma distância de 87 km que na prática seria um ótimo local.

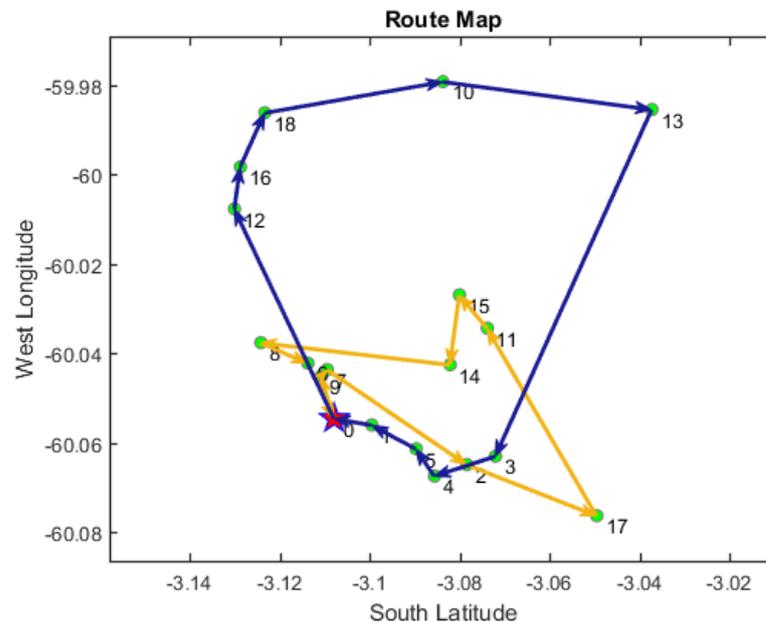
Figura 4.4 – Gráfico de iteração e distância



Fonte: Matlab (2022)

Conforme observa se na Figura 4.5. Ao atingir a condição de parada, gerando uma população de 1000 indivíduos o AG seleciona os melhores indivíduos e plota o gráfico em linha reta, a fim de facilitar a visualização das duas rotas otimizadas.

Figura 4.5 – Mapa das rotas otimizadas



Fonte: Matlab (2022)

A Figura 4.6 apresenta o resultado pelo AG que executa o código em 31 segundos e apresentou uma programação com 1 veículo, que está com um índice de aproveitamento da capacidade do veículo de 100%.

Figura 4.6 - Resultado gerado pelo AG

Elapsed time is 31.182317 seconds.

Total Distance = 88,2 km

Best Route:

0 -> 9 -> 7 -> 2 -> 17 -> 11 -> 15 -> 14 -> 8 -> 6 -> 0 -> 12 -> 16 -> 18 -> 10 -> 13 -> 3 -> 4 -> 5 -> 1 -> 0

Route of Vehicle No.1: 0 -> 9 -> 7 -> 2 -> 17 -> 11 -> 15 -> 14 -> 8 -> 6 -> 0

Distance traveled: 40.4 km, load rate: 100.00%;

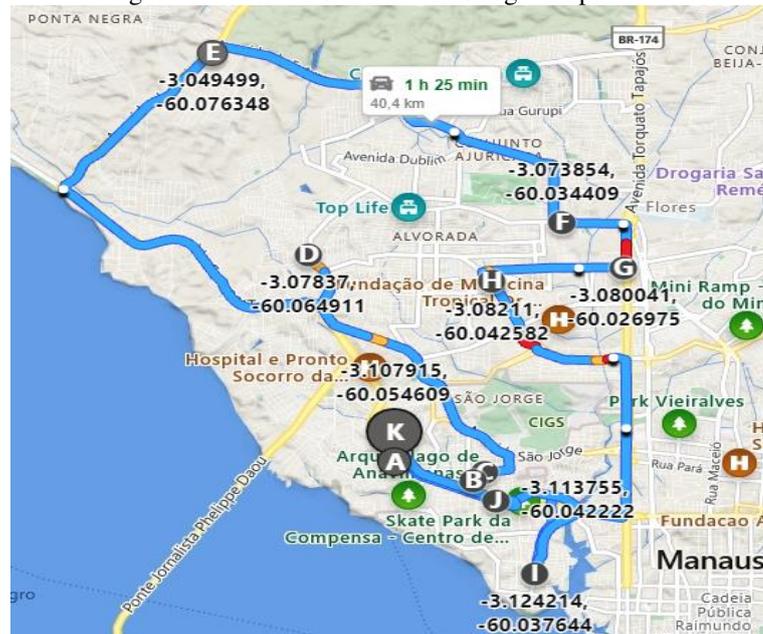
Route of Vehicle No.2: 0 -> 12 -> 16 -> 18 -> 10 -> 13 -> 3 -> 4 -> 5 -> 1 -> 0

Distance traveled: 47.8 km, load rate: 100.00%;

Fonte: Matlab (2022)

A simulação da Rota 1, conforme Figura 4.7, através do Google Maps, apresenta um tempo médio de 1 hora e 25 minutos para realização de um percurso de 40,4 km, considerando o trânsito livre. Ao inserir o tempo de parada média de (9min) cerca de 81 minutos acumulados em cada ponto, o tempo total da rota passou para 2 horas e 46 minutos.

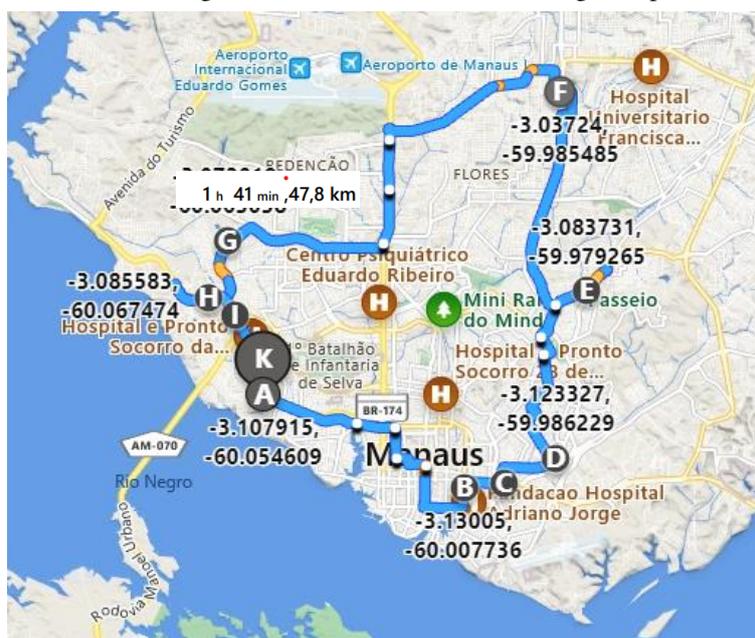
Figura 4.7 – Rota 1 simulada no Google Maps



Fonte: Google Maps (2022)

A simulação da Rota 2, conforme Figura 4.8, através do Google Maps, apresenta um tempo médio de 1 hora e 41 minutos para realização de um percurso de 47,8 km, considerando o trânsito livre. Ao inserir o tempo de parada média de (9min) cerca de 81 minutos acumulados em cada ponto, o tempo total da rota passou para 3 horas e 2 minutos.

Figura 4.8 – Rota 2 simulada no Google Maps



Fonte: Google Maps (2022)

O resultado do modelo das rotas otimizadas no sistema de computação Matlab, considerou as coordenadas geográficas de latitude e longitude dos pontos de coleta, por meio da API do Bing Maps onde foi possível desenhar a rota real, de acordo com o fluxo das vias e o tempo para o horário simulado sem interrupção no fluxo do trânsito, assim como nenhuma intercorrência de acidente ou bloqueio das vias. O tempo total das rotas 1 e 2, com o tempo de parada para coleta de pneus foram de 5 horas e 48 minutos.

Neste estudo objetivou-se desenvolver um algoritmo implementado com a Metaheurística Algoritmo Genético (AG) para otimizar as rotas de coleta de resíduos sólidos (pneus inservíveis) de uma empresa coletora da cidade de Manaus, visando reduzir o custo com a definição do melhor caminho percorrido pelos caminhões coletores, desde a localização da empresa, passando pelas estações ou pontos de coleta até o galpão de armazenamento desses resíduos.

Os resultados da pesquisa indicaram que a simulação da Rota 1, apresenta um tempo médio de 1 hora e 25 minutos para realização de um percurso de 40,4 km, considerando o trânsito livre. Ao inserir o tempo de parada média de (9min) cerca de 81 minutos acumulado em cada ponto, o tempo total da rota passou para 2 horas e 46 minutos. E a simulação da Rota 2, apresenta um tempo médio de 1 hora e 41 minutos para realização de um percurso de 47,8

km, considerando o trânsito livre. Ao inserir o tempo de parada média de (9min) cerca de 81 minutos acumulado em cada ponto, o tempo total da rota passou para 3 horas e 2 minutos.

Da mesma forma, o resultado do modelo das rotas otimizadas no sistema de computação Matlab, considerou as coordenadas geográficas de latitude e longitude dos pontos de coleta, por meio da API do Bing Maps onde foi possível desenhar a rota real, de acordo com o fluxo das vias e o tempo para o horário simulado sem interrupção no fluxo do trânsito, assim como nenhuma intercorrência de acidente ou bloqueio das vias. O tempo total das rotas 1 e 2, com o tempo de parada para coleta de pneus foram de 5 horas e 48 minutos.

Partindo desses pressupostos, constatou-se que a implementação da Metaheurística Algoritmo Genético (AG) no Matlab permite a otimização de rotas de coleta de resíduos sólidos (pneus inservíveis).

Assim, do ponto de vista teórico por contribui para a participação das instituições de ensino na produção de ciência e tecnologia no país, mostrando possibilidades viáveis para a roteirização do processo de coleta urbana de pneus inservíveis. Além de gerar conhecimento sobre o tema, construindo informações e ampliando o debate científico. Do ponto de vista prático, a pesquisa contribui para que empresas coletoras ou centros de triagem de pneumáticos e fabricantes disponham de um direcionamento sobre roteirização para coleta de pneus, o que resultará em tomadas de decisões mais coerentes para o seu gerenciamento. E do ponto de vista da logística urbana na cidade de Manaus, este estudo se caracteriza como o primeiro a propor realmente uma otimização concreta as rotas de coleta de resíduos sólidos (pneus inservíveis) de uma empresa coletora da cidade de Manaus.

CAPÍTULO 5

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÕES

A compreensão das soluções dos problemas de roteirização de veículos foi importante principalmente pelas aplicações para rotas de coleta de resíduos sólidos (pneus inservíveis) no qual a finalidade foi alcançada por meio da revisão bibliográfica de literatura, que permitiram a possibilidade do entendimento teórico sobre o tema pesquisado ou melhor dizendo, resíduos, resíduos sólidos, pneus: tipos, classificação e destinação, pneus inservíveis no Brasil e no Amazonas: diagnóstico da situação atual, logística reversa, logística, logística de rotas, logística de transporte, problema de roteirização de veículos e modelos utilizados para solução do problema de roteirização de veículos no Brasil.

Portanto, considera-se que os objetivos do estudo foram alcançados porquê permitiu a implementação de uma solução com a Metaheurística Algoritmo Genético (GA) para otimizar as rotas de coleta de resíduos sólidos (pneus inservíveis) de uma empresa coletora da cidade de Manaus.

Com base da revisão sistemática de literatura sobre o problema de roteirização de veículos, foi possível compreender soluções para o problema de roteirização de veículos, especialmente aplicações para rotas de coleta de resíduos sólidos (pneus inservíveis); ao mesmo tempo que permitiu identificar um modelo conceitual para roteirização de coleta de pneus inservíveis adequando para a realidade de Manaus, o que possibilitou a compreensão a respeito do Problema de Roteirização de Veículos (PRV) do inglês *Vehicle Routing Problem* (VRP) no âmbito nacional. Esse mapeamento foi de suma importância para direcionamento da pesquisa, pois a partir dele foi possível ter uma visão geral e prosseguir no andamento e desenvolvimento do estudo.

A aplicação do modelo escolhido, considerando os dados de Manaus, em um ambiente de simulação; mostrou satisfatório e viável utilizando o algoritmo genético para reduzir as distâncias percorridas nos pontos de coletas, apontando melhores resultados de otimização de rotas, permitindo compreender o impacto de cada variável no resultado da pesquisa, mostrando como a empresa coletora de pneus inservíveis da cidade de Manaus pode utilizar as informações alcançadas para melhoria da estrutura do seu sistema logístico de roteirização. Ele modelo foi

importante para modelar o problema de otimização da roteirização, buscando encontrar melhores resultados, utilizando algoritmo genético;

Com os dois modelos de rotas, foi possível apresentar essa proposta com possibilidade de sucesso para a coleta de pneus através do sistema de computação Matlab, levando em conta as coordenadas geográficas de latitude e longitude dos pontos de coleta, por meio da API do Bing Maps que possibilitou redesenhar a rota real, de acordo com o fluxo das vias e o tempo para o horário simulado sem interrupção no fluxo do trânsito, assim como nenhuma intercorrência de acidente ou bloqueio das vias, o que permite que a empresa coletora elabore parâmetros para o planejamento de suas rotas, desde a localização da empresa, passando pelas estações ou pontos de coleta até o galpão de armazenamento desses resíduos.

Vale ressaltar que o estudo aconteceu por causa do modelo das rotas otimizadas que foi importante no sentido de compreender soluções para o problema de roteirização. A abordagem Metaheurística Algoritmo Genético (GA) aplicado no sistema de computação Matlab, com auxílio da API do Bing Maps tem vantagem pois é cientificamente viável por não exigir uma linguagem mais complexa com relação a programação matemática, uma vez que os dados utilizam a linguagem subjetiva de classificação e o conhecimento do especialista para tratar e interpretar os dados.

A implementação da Metaheurística Algoritmo Genético (GA) permitiu otimizar as rotas de coleta de resíduos sólidos (pneus inservíveis) da empresa coletora da cidade de Manaus, contratada pela Secretaria Municipal de Limpeza Pública (SEMULSP) de Manaus, o que permitirá reduzir o custo com a definição do melhor caminho percorrido pelos caminhões coletores, desde a localização da empresa, passando pelas estações ou pontos de coleta até o galpão de armazenamento desses resíduos. Portanto, constitui-se em uma ferramenta capaz de otimizar a coleta de resíduos sólidos, permitindo alcançar resultados mais velozes, um melhor planejamento e controle logístico de suas rotas.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Tem como proposta que este modelo de otimização que foi desenvolvido seja relevante para as organizações de transporte do segmento de coletas de resíduos de pneus inservíveis, ou que este estudo seja utilizado como referência sobre a temática no Brasil, e mais especificamente no Estado do Amazonas, a partir de outras abordagens, utilizando de outros algoritmos e de outros softwares de simulação e análise de dados.

REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR nº 10.004**: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro; 2004.
- ARPINI, Bianca Passos; ROSA, Rodrigo Alvarenga. Planejamento da logística de suprimento de plataformas Offshore por meio de um modelo matemático 2L-CVRP com frota heterogênea e equilíbrio náutico. **Transportes**, v. 23, n. 4, p. 67-78, 2015.
- ÁLVAREZ, Aldair; MUNARI, Pedro. Abordagens metaheurísticas para o problema de roteamento de veículos com janelas de tempo e múltiplos entregadores. **Gestão & Produção**, v. 23, p. 279-293, 2016.
- MELO, Gustavo Alves de et al. Otimização da Rota de Coleta de Lixo na Região do Alto Paranaíba: Uma Pesquisa Aplicada. **Revista FSA**, v. 17, n. 12, 2020.
- AMORIM, Edivaldo Santos. **LOGÍSTICA REVERSA DE PNEUS INSERVÍVEIS: UMA PESQUISA-AÇÃO NO MUNICÍPIO DE TRÊS CORAÇÕES (MG)**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2015.
- ANIP. **Associação Nacional das Indústrias de Pneumáticos** - "Produção na Indústria Brasileira e Reciclagem de Pneus", ANIP, São Paulo, 2021. Disponível em: <<http://www.anip.com.br>>. Acesso em: 19 dez. 2021.
- BALLOU, H. B. Logística Empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física. 2. Ed. São Paulo: Aduaneiras, 2015.
- BALLOU, R. H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos**. 5ª ed. Editora: Bookman; 2017.
- BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm. Acesso em: 1 jan. 2022.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução nº 416, de 30 de setembro de 2009**. Dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=616>. Acesso em: 04 de set. 2021.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº258, de 26 de agosto de 1999. Determina que as empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos ficam obrigadas a dar destinação final ambientalmente adequada aos pneus inservíveis. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=258>. Acesso em: 04 de set. 2021.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 301, de 21 de março de 2002. Altera os dispositivos da Resolução nº 258, de 26 de agosto de 1999, que dispõe sobre pneumáticos. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=364>. Acesso em: 04 de set. 2021.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Relatório de pneumáticos: Resolução Conama nº 416/09: 2020 (anobase 2019). Brasília: IBAMA, 2020. 87 p. Disponível em; http://ibama.gov.br/phocadownload/pneus/relatoriopneumaticos/2021-03-03-%20Ibama-Relatorio_Pneumaticos_2020_com_capa___terceira_versao.pdf. Acesso em: 13 de out. 2021.

BRASIL. Presidência da República Casa Civil Subchefia para Assuntos Jurídicos. LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em 04 de set. 2021.

BRUNETTO, André; PASSOS, Manuela Gazzoni. Logística reversa de pneus inservíveis: Estudo de caso no município de Xanxerê–Sc. **Latin American Journal of Business Management**, v. 6, n. 3, 2015.

CACCALANO, Luiz; CUNHA, Claudio Barbieri da. Roteirização de veículos para o abastecimento de linhas de produção. **Gestão & Produção**, v. 22, p. 846-860, 2015.

CAMPOS, Alexandre de; GOULART, Verci Douglas Garcia. **Logística de Transporte - Gestão Estratégica no Transporte de Cargas**. Editora, Saraiva Educação S.A, 2018.

CAPITÃO, Carlos André Amaro. **Otimização da Logística de Transportes numa Indústria Alimentar**. (Dissertação de Mestrado). Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2020.

CAVALHEIRO, F. A. **Algoritmos genéticos como ferramenta de otimização das interconexões da rede de Hopfield atuando como memória associativa**. 2021. 27p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2021.

CLARKE, Geoff; WRIGHT, John W. Agendamento de veículos de um depósito central para vários pontos de entrega. **Pesquisa operacional**, v. 12, n. 4, pág. 568-581, 1964.

CERQUEIRA, Antônio Erismário Freitas de; FERNANDES, José Luiz. ABORDAGENS SOBRE LOGÍSTICA REVERSA: CONCEITOS, APLICAÇÃO E SUSTENTABILIDADE. *Projectus* -Rio de Janeiro, v. 2, n. 1. p. 117-127, jan./mar. 2017.

CHRISTOPHER, M. Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos – Tradução da 5. Ed. Norte-Americana – São Paulo: Cengage Learning – 2018.

CORRÊA, Jéssica Vieira et al. Avaliação de impacto ambiental do lixão de Leopoldina–MG. **CIDADE BEM TRATADA: Resíduos Sólidos, Água e Energias Renováveis**, v. 1, p. 1-11, 2018.

DANTZIG, George B.; RAMSER, John H. **O problema do despacho de caminhões. Ciência da administração**, v. 6, n.1, pág.80-91, 1959.

DA SILVA, Ayla Lohanna; FERREIRA, Júlio César; STEINER, Maria Teresinha Arns. Abordagem de roteamento de veículos com procedimentos exatos e heurísticos sob uma óptica ambiental: um estudo de caso. **Exacta**, v. 17, n. 1, p. 171-187, 2019.

DEMANTOVA, B. E.; SCARPIN, C. T. IMPACTO COMPUTACIONAL DA ELASTICIDADE DE JANELAS DE TEMPO NO IRPTW COM VEÍCULO ÚNICO. **Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, [S. l.], v. 12, p. 1–25, 2020. DOI: 10.4322/PODes.2020.002. Disponível em: <https://www.podesenvolvimento.org.br/podesenvolvimento/article/view/606>. Acesso em: 4 jul. 2022.

DETRAN-AM. DEPARTAMENTO ESTADUAL DE TRÂNSITO DO AMAZONAS. Frota de veículos do Amazonas em 2021. Disponível em: <https://www.detran.am.gov.br/>. Acesso em: 05 de mai, 2022.

SANTOS, Lucas di Paula Gama dos; MACHADO, Wendell Ramon Barbosa; SANTOS, Pedro Vieira Souza. Aplicação do método de Clarke e Wright na resolução de problemas de roteirização: um estudo de caso. **Revista Gestão Industrial**, v. 15, n. 3, 2019.

FARIA, Juliana Soares de. Incorporação de resíduo pó de borracha de pneus inservíveis em cerâmica vermelha. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) -- Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Materiais Avançados. Campos dos Goytacazes, 2015.

FERNÁNDEZ, MC Casado. Manual básico do Matlab. **Editor. Complutense, Madri**, 2009.

FLORIANI, Marco Antonio; FURLANETTO, Vinicius Cadore; SEHNEM, Simone. Descarte sustentável de pneus inservíveis. **Navus-Revista de Gestão e Tecnologia**, v. 6, n. 2, p. 37-51, 2016.

FREITAS, S.S; NÓBREGA, C.C. Os benefícios do coprocessamento de pneus inservíveis para a indústria cimenteira. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v.19, n.3, p.293-300, jul/set.2014.

FURTADO, Maria Gabriela S.; MUNARI, Pedro; MORABITO, Reinaldo. O problema de coleta e entrega com janelas de tempo na indústria petrolífera: modelos e métodos branch-and-cut. **Gestão & Produção**, v. 24, p. 501-513, 2017.

GOMES, Jaísa Aparecida Costa et al. Aplicação de ferramenta computacional na otimização e mitigação de custos na roteirização da logística de transporte de cargas / Application of computational tool in the optimization and mitigation of costs in routing of charge transport logistics. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 5, n. 7, p. 7703–7716, 2019. DOI: 10.34117/bjdv5n7-011. Disponível em: <https://brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/view/2120>. Acesso em: 5 sep. 2022.

GONÇALVES, W.; CANAL, H. H. M.; CANAL, M. H. M. RESOLUÇÃO DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE NO SETOR VAREJISTA USANDO HEURÍSTICA COM

PREVISÃO DE TRAJETÓRIA. **DESAFIOS - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v. 7, n. 3, p. 178-186, 1 set. 2020.

GONÇALVES, Wellington; ROCHA, Alessandro Roberto. Algoritmo genético aplicado ao problema de roteamento de veículos: problema do caixeiro viajante no setor varejista. **Cadernos UniFOA**, v. 15, n. 43, 2020.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Relatório de pneumáticos**: Resolução Conama nº 416/09: 2020 (ano base 2019). Brasília: IBAMA, 2020. 87 p. Disponível em; http://ibama.gov.br/phocadownload/pneus/relatoriopneumaticos/2021-03-03-%20Ibama-Relatorio_Pneumaticos_2020_completo_com_capa___terceira_versao.pdf. Acesso em: 13 de out. 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Frota de Veículos do Brasil em 2021. Disponível: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/22/0>. Acesso em: 05 de mai, 2022.

IPEA. LOGÍSTICA E TRANSPORTES NO BRASIL: UMA ANÁLISE DO PROGRAMA DE INVESTIMENTOS 2013-2017 EM RODOVIAS E FERROVIAS Relatório de Pesquisa, 2016.

JUNIOR, Joel David Costa; SILVA, Alysson Alexandre Naves. ALGORITMO GENÉTICO APLICADO AO PROBLEMA DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS. **DESIGN &**, v. 2, n. 2, p. 88, 2015.

KRAMER, Raphael Harry Frederico Ribeiro; SUBRAMANIAN, Anand; PENNA, Puca Huachi Vaz. Problema de roteamento de veículos assimétrico com frota heterogênea limitada: um estudo de caso em uma indústria de bebidas. **Gestão & Produção**, v. 23, p. 165-176, 2016.

LAGARINHOS, Carlos Alberto Ferreira. **Reciclagem de pneus: análise do impacto da legislação ambiental através da logística reversa**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

LEITE, Paulo Roberto. **Logística reserva: sustentabilidade e competitividade**. 3. ed. saraiva, 2017.

LOGÍSTICA. In: DICIO, Dicionário Online de Português. Porto: 7Graus, 2021. Disponível em: <https://www.dicio.com.br/trabalho/>. Acesso em: 15/10/2021.

MORO, Matheus Fernando et al. Técnicas de pesquisa operacional aplicadas na otimização de rotas de uma rede de lojas de materiais de construção. **Produção em Foco**, v. 8, n. 3, 2018.

NASCIMENTO, Carlos Renato Garcez do; BORGHETTI, José Roberto. Logística reversa de resíduos sólidos. Departamento Regional do Paraná. Curitiba: Senai, 2018. 90 p.: 21 cm. ISBN: 978-85-5520-031-1.

NETTO, Quincio Muniz Pinto; REIS, ACDAC; NETO, BJB. Estudo da logística reversa de pneus, solução econômico-sustentável a partir da produção de asfalto-borracha. **Revista Científica do Centro de Estudos em Desenvolvimento Sustentável da UNDB, CEDS**, v. 1, n. 5, p. 1-13, 2016.

NOVAES, Antonio Galvão. Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição. 4 .ed. Editora GEN Atlas, 2014

PASSOS, Gustavo de Castro Silva Versiani . Algoritmos Genéticos Aplicados a um Modelo Evolucionário de Dinâmica Industrial [manuscrito] / Gustavo de Castro Silva Versiani Passos. - 2018. 68f

PEREIRA, Thiago Henrique Martins. Determinação das características ótimas do blend de resíduos do município de Betim/MG para coprocessamento em cimenteiras. Dissertação de mestrado (Pós-graduação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais–Campus Bambuí, MG, Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, 2017.

PEREIRA, Vinícius Eduardo. **Computação Evolucionária:** Aplique os algoritmos genéticos com Python e Numpy. Editora Casa do Código, 2020.

PEREIRA, Vinícius Eduardo. **Resíduos sólidos.** Editora Senac São Paulo, 2019.

PINTO, A. P et al. Planejamento tático de rotas marítimas para suprimento de plataformas de produção de petróleo. **TRANSPORTES**, [S. l.], v. 27, n. 1, p. 65–81, 2019. DOI: 10.14295/transportes. v27i1.1536. Disponível em: <https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/1536>. Acesso em: 4 jul. 2022.

PLATT, Allan Augusto. Logística e cadeia de suprimentos. – 3. ed. – Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração/UFSC, 2015. 116p.

QUINTELA, E. J. A. M.; TORMO, E.; BERENGUER, F. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL PASSADO O SÉCULO XX: ESTABELECIMENTO DE PARÂMETROS DE APLICAÇÃO. Faculdade de Bellas-Artes de San Carlos, Junho de 2015.

ReciclanIP. Entidade gestora do sistema de Logística Reversa de pneus inservíveis no Brasil. Ciclo do pneu, 2022a. Disponível em: <https://www.reciclanip.org.br/formas-de-destinacao/ciclo-do-pneu/>. Acesso em: 8 jan. 2022.

ReciclanIP. Entidade gestora do sistema de Logística Reversa de pneus inservíveis no Brasil Formas de destinação de pneus inservíveis, 2022b. Disponível em: <https://www.reciclanip.org.br/formas-de-destinacao/principais-destinacoes/>. Acesso em: 8 jan. 2022.

RODRIGUES, Vinícius Picanço et al. Abordagens de otimização para um problema de roteirização e programação de navios petroleiros. **Gestão & Produção**, v. 24, p. 790-805, 2017.

ROSSÉS, Gustavo Fontinelli et al. A PERSPECTIVA DOS SISTEMAS DE LOGÍSTICA DIRETA E LOGÍSTICA REVERSA: O CASO DE UMA COMPANHIA NO RAMO INDUSTRIAL DE BEBIDAS. *Sistemas & Gestão* 10 (2015), pp 30-40.

ROSSINI, G. M.; PEREIRA, T. F. Aplicação do método da varredura para redução dos custos logísticos em uma empresa de comércio de hortifrúti. **Revista Produção Online**, [S. l.], v. 21,

n. 4, p. 1028–1050, 2022. DOI: 10.14488/1676-1901.v21i4.4248. Disponível em: <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/4248>. Acesso em: 4 jul. 2022..

RUOSO, Ana Cristina; TOWNSEND, Juliane Ciocari Machado; DA ROSA, Leandro Cantorski. Otimização de rota na distribuição de produtos: uma aplicação do modelo de Clarke e Wright em uma empresa do setor alimentício. **Revista Gestão Industrial**, v. 15, n. 4, 2019.

SHIRABAYASHI, Juliana Verga et al. UM ESTUDO SOBRE A COLETA DE RESÍDUOS RECICLÁVEIS VIA TÉCNICAS DE PESQUISA OPERACIONAL. **REVISTA DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA**, v. 12, n. 4, 2020.

SILVA JÚNIOR; Carlos da Silva Júnior; MONSUETO, Saymon Júnior Caetano. **Análise de problemas que afetam a produção de um Triturador Q-65 Estudo de caso – Planta de Blendagem para Co-processamento**. Instituto de Educação Tecnológica Pós-graduação Engenharia de Processos Industriais - Turma nº 23 24 de Abril de 2015.

TORMEN, Andréia Fátima; PANSERA, Gustavo; KRIPKA, Moacir. Otimização das rotas para veículos de manutenção do sistema de iluminação pública na cidade de Passo Fundo (RS). **Exacta**, v. 16, n. 3, p. 89-101, 2018.

TOVÁ, Augusto César; MENDES, Oswaldo Lazaro. OTIMIZAÇÃO DE ROTAS PARA ENTREGA DOS INGREDIENTES DA MERENDA EM ESCOLAS DA CIDADE DE BARRETOS–SP. **Revista Interface Tecnológica**, v. 17, n. 2, p. 825-837, 2017.

VAZ, Joilson Kassio Viana. **LOGÍSTICA DE TRANSPORTE NA CULTURA DE DENDÊ: estudo de caso de uma empresa/fazenda de dendê no município de Tomé-Açu/PA**. (Trabalho de Conclusão de Curso). Curso de Bacharelado em Administração, Universidade Federal Rural da Amazônia Campus Tomé-Açu, 2022. 52 f. : il. color.

VECCHI, Thelma Pretel Brandão. **Otimização de rotas dos caminhões de coleta de resíduos sólidos urbanos**. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química do Departamento de Engenharia Química, Centro de Tecnologia da Universidade Estadual de Maringá,, 2016.