



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ARAGUAÍNA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM LOGÍSTICA

MILAS EDUARDO BRITO DE AGUIAR

**PROBLEMA DO CAIXEIRO-VIAJANTE APLICADO À DISTRIBUIÇÃO DE
VACINAS CONTRA A COVID-19: o caso do município de Araguaína, Tocantins**

**ARAGUAÍNA
2021**

MILAS EDUARDO BRITO DE AGUIAR

**PROBLEMA DO CAIXEIRO-VIAJANTE APLICADO À DISTRIBUIÇÃO DE
VACINAS CONTRA A COVID-19: o caso do município de Araguaína, Tocantins**

Trabalho de Conclusão de Curso, na modalidade de artigo, apresentado à Universidade Federal do Tocantins (UFT) - Campus Universitário de Araguaína para a obtenção do título de Tecnólogo em Logística, sob a orientação do Professor Dr. David Gabriel de Barros Franco.

**ARAGUAÍNA
2021**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

A282p Aguiar, Milas Eduardo Brito de.
PROBLEMA DO CAIXEIRO-VIAJANTE APLICADO À
DISTRIBUIÇÃO DE VACINAS CONTRA A COVID-19 : o caso do
município de Araguaína, Tocantins . / Milas Eduardo Brito de Aguiar. –
Araguaína, TO, 2021.
24 f.

Artigo de Graduação - Universidade Federal do Tocantins –
Câmpus Universitário de Araguaína - Curso de Logística, 2021.
Orientador: David Gabriel de Barros Franco

1. Logística; . 2. Distribuição física; . 3. Roteirização; . 4. Vacina;
. I. Título

CDD 658.5

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

MILAS EDUARDO BRITO DE AGUIAR

PROBLEMA DO CAIXEIRO-VIAJANTE APLICADO À DISTRIBUIÇÃO DE VACINAS CONTRA A COVID-19: o caso do município de Araguaína, Tocantins

Trabalho de Conclusão de Curso, na modalidade de artigo, apresentado à Universidade Federal do Tocantins (UFT), Campus Universitário de Araguaína para a obtenção título de Tecnólogo em Logística, e aprovado em sua forma final pelo orientador e pela Banca Examinadora.

Data da aprovação: 02 / 08 / 2021

Banca examinadora:

Orientador: Prof. Dr. David Gabriel de Barros Franco
Universidade Federal do Tocantins (UFT)

Membro: Prof.^a Me. Clarete de Itoz
Universidade Federal do Tocantins (UFT)

Membro: Prof. Dr. Warton da Silva Souza
Universidade Federal do Tocantins (UFT)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
2 REFERENCIAL TEÓRICO	7
2.1 Logística de transporte	7
2.2 Roteirização de veículos	9
2.2.1 Problema do Caixeiro-Viajante (PCV)	11
2.2.2 Problema dos Múltiplos Caixeiros-Viajantes (PMCV).....	13
2.3 Distribuição de vacinas	15
3 METODOLOGIA	16
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	18
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	21
REFERÊNCIAS	21
APÊNDICE	24

PROBLEMA DO CAIXEIRO-VIAJANTE APLICADO À DISTRIBUIÇÃO DE VACINAS CONTRA A COVID-19: o caso do município de Araguaína, Tocantins

Milas Eduardo Brito de Aguiar ¹
David Gabriel de Barros Franco ²

RESUMO

A proposta desse artigo é estudar um modelo de distribuição física de vacinas na cidade de Araguaína, Tocantins. Nesse sistema, a origem das cargas é uma Central Municipal de Imunização (CMI) e os destinos são as Unidades Básicas de Saúde (UBS) da cidade. O objetivo deste estudo é otimizar as rotas do processo de entrega de vacinas contra a Covid-19 na cidade utilizando a Pesquisa Operacional (PO). Esse trabalho é justificado pela importância da disponibilidade da vacina para a população em geral. Para isso, foram utilizadas diversas plataformas para coleta de dados geográficos de cada UBS, a distância entre cada par de pontos a serem atendidos, a demanda em todas as unidades de saúde e a capacidade do veículo responsável pelo transporte dos imunobiológicos. Com o uso de modelos matemáticos foi possível gerar soluções ótimas para o problema. A solução obtida é um sistema de distribuição com múltiplos caixeiros viajantes, ou seja, mais de uma rota para o devido atendimento em todos os pontos de demanda.

Palavras-chave: Logística; Distribuição física; Roteirização; Vacina; Covid-19.

ABSTRACT

The purpose of this article is to study a model of physical distribution of vaccines in the city of Araguaína, Tocantins. In this system, the origin of the loads is a Municipal Immunization Center (MIC), and the destinations are the Basic Health Units (BHU) of the city. The objective of this study is to optimize the routes of the process of delivery of vaccines against Covid-19 in the city using an Operational Research (OR). This work is justified by the importance of availability of availability for the general population. For this, several platforms were used to collect geographic data from each BHU, the distance between each pair of points to be served, the demand in all health units and the capacity of the vehicle responsible for transporting immunobiologicals. Using mathematical models, it was possible to generate optimal solutions for the problem. The solution obtained is a distribution system with multiple traveling salesmen, that is, more than one route for proper service at all points of demand.

Keywords: Logistics; Physical distribution; Routing; Vaccine; Covid-19.

¹ Aluno do Curso de Logística da UFT. Contato: milaseduardo@uft.edu.br

² Doutor em Engenharia de Produção e Sistemas. Professor da UFT. Contato: david.franco@uft.edu.br

1 INTRODUÇÃO

A logística pode ser entendida como o processo de planejamento, execução e controle de atividades que têm por objetivo tornar disponíveis, por meio da distribuição física, produtos ou serviços ao cliente, com isso atendendo suas expectativas e exigências. A abrangência desse processo compreende desde a origem da matéria prima até o ponto de consumo do produto final. Entre esses dois pontos existem atividades de produção e distribuição, essa última com o objetivo de atender o cliente no lugar e hora corretos. A logística, enquanto distribuição física, está contida em um processo de gerenciamento mais abrangente, que é a cadeia de suprimentos (BALLOU, 2007).

Segundo Novaes (2014), o conceito de logística moderna teve origem nas operações bélicas, principalmente porque os exércitos, que precisavam avançar sobre territórios de acordo com o rumo da guerra, necessitavam de uma equipe que tivesse capacidade de deslocar os recursos, como munições, comida, equipamentos e profissionais da saúde, para pontos estratégicos, para assim suprir as necessidades das tropas. Com a evolução da logística, as empresas perceberam que ela tem a capacidade de agregar valor ao produto no que se refere ao lugar, tempo, qualidade e informação.

A distribuição física utiliza os vários modais de transporte para subsidiar um processo eficiente de logística. Com isso, é possível realizar a produção em um ambiente favorável à competitividade da empresa e, então, escoar o produto acabado para o mercado consumidor. Nota-se então, a importância das atividades de transporte na logística, pois ela consegue interligar todos os elos da cadeia de suprimentos, como fornecedores, produtores, distribuidores e consumidor final, fazendo a movimentação de materiais da forma mais eficiente e eficaz possível, ou seja, ao menor custo e com a máxima qualidade desejada pelo cliente. (BECKEDORFF, 2013).

Um dos meios para tornar as atividades de transporte, principalmente o rodoviário, mais eficientes é a roteirização de veículos, que consiste na construção de caminhos ou roteiros que os veículos de uma frota deverão percorrer para atender pontos preestabelecidos. Sua importância se dá pela necessidade de utilizar o maior nível possível da capacidade do veículo, otimizar as distâncias percorridas e o tempo

despendido, além de reduzir as horas extras dos trabalhadores reduzindo, com isso, os custos logísticos relacionados à distribuição (MENCHIK, 2010).

A logística sempre cumpriu com um papel fundamental na sociedade. Desde as ações de suprimento para sustentar exércitos durante as guerras, até às atividades atuais de distribuição de insumos alimentícios, de saúde e produtos em geral. Com o surgimento da pandemia da Covid-19 (Sars-CoV-2) e a criação da vacina com o propósito de imunização de toda a população, surge um novo desafio para a logística: a distribuição das vacinas para combater de forma efetiva a doença que gerou uma calamidade mundial (JOKURA, 2021).

O município de Araguaína, Tocantins, conta com uma Central Municipal de Imunização (CMI) com capacidade de armazenamento de 2.900 litros refrigerados a temperaturas variando entre 2°C e 8°C e capacidade de 604 litros refrigerados a uma temperatura de até -70°C. Essa estrutura armazena os insumos imunobiológicos recebidos da Secretaria da Saúde do Tocantins. A partir dessa central, os imunobiológicos são coletados por 17 Unidades Básicas de Saúde (UBS) para a utilização nas salas de vacinação da cidade (SMS- ARAGUAÍNA, 2021). Tendo em vista esse cenário, esta pesquisa buscou a solução para o seguinte problema: como construir rotas ideais para a distribuição das vacinas contra a Covid-19 a partir de um depósito central (a CMI) para as UBS da cidade de Araguaína, Tocantins?

O objetivo deste estudo é otimizar as rotas do processo de entrega de vacinas contra a Covid-19 na cidade de Araguaína utilizando a Pesquisa Operacional (PO). Os objetivos específicos são: apresentar conceitos da logística de distribuição e do processo de roteirização de veículos; fazer um mapeamento das UBS que receberão as vacinas em Araguaína; propor uma solução centralizada e dimensionada para a distribuição das vacinas. A realização desse trabalho se justifica pela notável importância da disponibilidade da vacina para a população em geral na finalidade de combater essa doença que causou um grande número de mortes no mundo inteiro.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Logística de transporte

Com a globalização do mercado e a descentralização das cadeias produtivas, houve a dispersão entre as organizações de fabricação ou montadoras de produtos e

os grandes centros consumidores. Considera-se que o aumento significativo da terceirização da produção e dos serviços estimulou a capacidade das empresas promoverem o deslocamento de mercadorias. Para suprir essa nova necessidade do mercado, de conseguir produzir algo em uma localidade e atender um público com esse mesmo produto em outro local, talvez em cidades, estados, países ou continentes diferentes, surgiram os mecanismos de escoamento da produção, sendo diretamente relacionada à distribuição física de produtos (BARAF, 2019).

A logística de distribuição se refere a um conjunto de processos a jusante da cadeia de suprimentos, tendo a fabricante do produto como empresa referência. O processo de distribuição tem o objetivo de conectar os produtores e os consumidores e, para isso, é relevante monitorar o desempenho de todas as atividades exercidas. As atividades realizadas com maior frequência envolvem o transporte, a estocagem, o controle, o intercâmbio de dados, além de um fluxo financeiro (SANTOS, FELIX e VIEIRA, 2012). Para Souza *et al.* (2016), a distribuição física consiste na finalização do processo de venda, sendo ela uma extensão do serviço prestado pelo vendedor da empresa. Com isso, a distribuição é capaz de satisfazer as exigências do cliente em relação ao fornecedor no que se refere ao valor lugar.

Conforme Novaes (2021), a finalidade da distribuição física é atender os clientes com o produto certo, na hora correta e no lugar estabelecidos, objetivo esse muito semelhante ao da própria logística. Nota-se com isso, uma necessidade de garantir um nível de serviço adequado ao que foi confiado nos contratos ou acordos e simultaneamente manter o custo operacional o mais baixo possível. Diante disso, Colavite e Konishi (2015) ressaltam que o entendimento sobre os mecanismos e sistemas de transporte são imprescindíveis para uma gestão eficiente do transporte de cargas, principalmente quando o requisito analisado é a qualidade do produto entregue, pois o desejo do consumidor é que o produto seja entregue com todas as suas características físicas e/ou químicas preservadas.

Os modais de transporte são responsáveis pelo deslocamento de toda mercadoria. São eles: aéreo, ferroviário, aquaviário, dutoviário e rodoviário. O transporte aéreo é apropriado para cargas de maior valor agregado e com volumes reduzidos. Seu deslocamento é mais veloz, porém apresenta custo elevado. Já o modal ferroviário é adequado para médias e longas distâncias, possui um custo de frete baixo, mas necessita de maior investimento em operações de transbordo e dispõe de pouca flexibilidade de rota e ponto de entrega. O aquaviário possui alta

capacidade de espaço, custo baixo de transporte, contudo apresenta movimentação muito lenta e pouca flexibilidade de rotas. O dutoviário é eficiente no transporte de gases, granéis e minérios, possui frequência e consistência elevados e velocidade baixa (SCHYRA, 2019).

O transporte rodoviário é o mais utilizado no Brasil, consumindo cerca de 90% do diesel do país. Esse modal é super versátil, acessível, e atende porta a porta, porém apresenta custo de frete alto, além de promover altos níveis de emissões de poluentes (MACHADO *et al.*, 2018). A intermodalidade se dá pela utilização de mais de um modal de transporte durante a distribuição física, podendo ser: rodo-ferro, rodo-duto, entre outros. No sistema intermodal, o modo rodoviário tem grande importância, pois apresenta flexibilidade ao atender de porta a porta sem gerar custos elevados de transbordo. Com isso, a intermodalidade contribui para o aumento da eficiência do transporte, reduzindo os custos operacionais gerados pela utilização de um único modal, logo tornando mais competitiva a distribuição física (COLETI e OLIVEIRA, 2019).

De acordo com Novaes (2021), é possível resumir os sistemas de distribuição física em dois grupos: um para um e um para vários. Sobre o primeiro, tem-se que um veículo realiza o carregamento em um ponto, podendo ser uma fábrica ou depósito e desloca essas mercadorias até outro ponto único. Nessa situação é possível aproveitar a capacidade total do veículo, principalmente porque não existe uma sequência de paradas com entrega de produtos diferentes para cada ponto. Na distribuição um para muitos, o veículo é carregado em um centro de distribuição ou depósito, depois percorre um caminho determinado a fim de atender vários pontos dispersos geograficamente. Esses dois modelos de distribuição são influenciados pelos seguintes elementos: distância percorrida, velocidade operacional, volume carregado, tempo de carga, descarga e em trânsito, custo total, leis de trânsito, dentre outros.

2.2 Roteirização de veículos

O transporte representa entre um e dois terços dos custos logísticos totais da empresa. Por esse quantitativo ser tão alto, fica expresso a importância do gerenciamento eficiente dessa atividade. Uma das formas de se alcançar esse feito é utilizar a roteirização para determinar as melhores rotas para uma frota de veículos

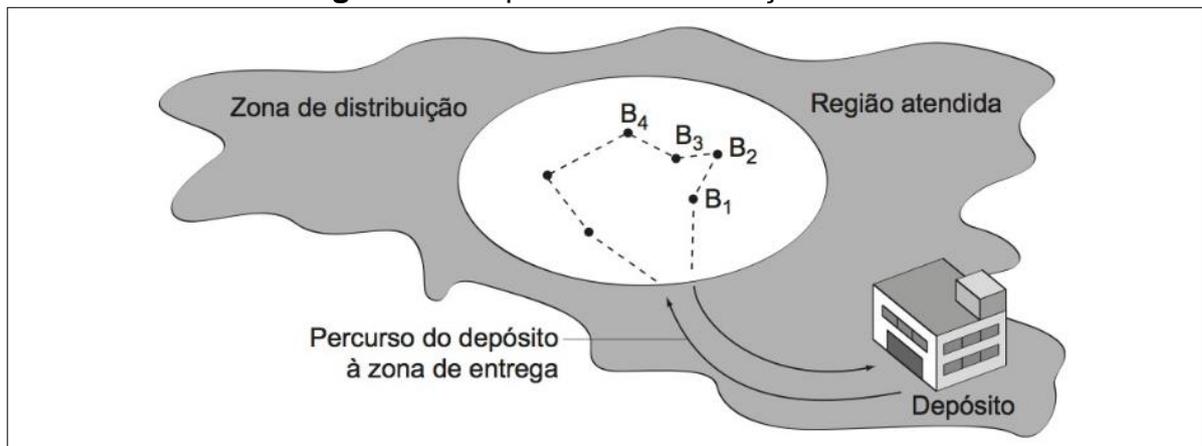
atender um conjunto de clientes a fim de otimizar o tempo de operação, a distância percorrida e ao final melhorar o nível do serviço prestado ao cliente (BALLOU, 2007). Os problemas de roteirização existentes abrangem os fatores: decisões, objetivos e restrições. As decisões envolvem a determinação das zonas e clientes que serão atendidos, veículos que serão utilizados e a programação das paradas. Os objetivos se referem a manter um nível de serviço alto, porém com custos operacionais reduzidos. E as restrições visam atender os clientes que foram acordados, respeitar a capacidade do veículo, as leis trabalhistas, leis de trânsito, entre outras restrições (NOVAES, 2021).

Para Ballou (2007), é possível resumir os princípios que devem ser adotados para a construção de uma boa roteirização:

- carregar veículos com cargas destinadas a paradas mais próximas entre si;
- fazer agrupamentos concentrados em paradas de dias diferentes;
- a rota deve começar pelo cliente mais distante do depósito;
- o sequenciamento dos pontos atendidos no roteiro deve ter formato de uma lágrima;
- usar os maiores veículos disponíveis para tornar os roteiros mais eficientes;
- as coletas devem ser feitas durante as entregas, e não podem ser deixadas para o final;
- uma parada de pouca demanda na zona pode ser atendida por meio alternativo de entrega;
- as pequenas paradas de atendimento a clientes devem ser evitadas.

Zonas são regiões geográficas que contém pontos a serem atendidos por um ou mais veículos, podendo sofrer alterações de inclusão ou exclusão de paradas para otimizar o roteiro. Um roteiro de atendimento é formado por vários componentes, como: o percurso entre um centro de distribuição e a zona de atendimento, caminhos entre os diversos pontos de paradas na zona, a própria parada para coleta ou entrega de produtos e o deslocamento de retorno, partindo da zona para o centro de distribuição (VALENTE *et al.*, 2016). A Figura 1 ilustra o esquema de zona de distribuição.

Figura 1 - Esquema de Distribuição física.



Fonte: Valente *et al.* (2016).

A região atendida pode envolver uma área geográfica com uma cidade, estado ou região estabelecida. Caso seja uma cidade, os percursos entre os pontos consistem em trajetos urbanos com restrição de velocidade, tamanho do veículo, capacidade do veículo e outras leis de trânsito, o que resulta em mais limitações no modelo de distribuição. O atendimento de pontos dispersos em um estado possibilita um processo sem restrições de tamanho do veículo e com velocidade permitida maior do que em trajetos urbanos. Porém, uma das desvantagens da distribuição intermunicipal é a ausência de apoio de manutenção em alguns percursos.

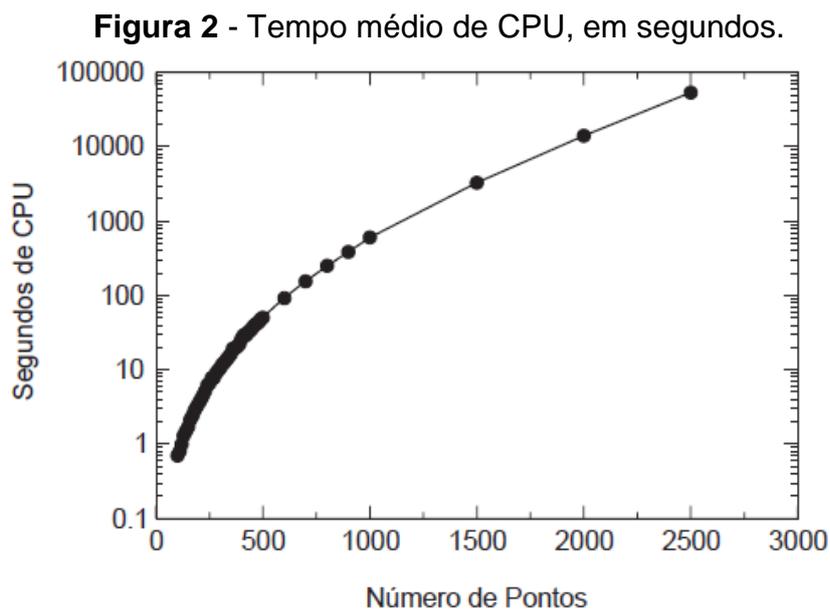
2.2.1 Problema do Caixeiro-Viajante (PCV)

O Problema do Caixeiro-Viajante (PCV) apresenta um esquema de rota considerando atender n clientes de uma zona e considera as distâncias entre cada par de cidades atendidas. O objetivo desse problema é determinar o roteiro e a sequência de deslocamento com o menor custo operacional possível, sabendo que o ponto de partida deve ser o mesmo ponto de chegada e cada cidade aceita apenas uma parada para atendimento (AZEVEDO e CARVALHO, 2017). Para conseguir otimizar as rotas de maneira exata, escapando dos métodos heurísticos, a Pesquisa Operacional utiliza-se de modelagem matemática que considera todos os objetivos, restrições e decisões, gerando assim eficiência máxima no processo decisório da operação de distribuição física (GOMES *et al.*, 2019).

Esse problema não considera restrições referentes ao tempo, capacidade do veículo e velocidade de deslocamento. Com isso, constrói-se uma rota única com

veículos não capacitados e tem-se a sequência de paradas que otimiza o processo de distribuição, reduzindo ao máximo as distâncias percorridas e, conseqüentemente, o tempo despendido.

Segundo Menchik (2010), o uso de hardware e software auxiliam a tomada de decisão referente à logística de distribuição, incluindo a construção de rotas de entrega. Com essas ferramentas computacionais é possível a utilização da modelagem matemática para determinar roteiros que garantam uma solução ótima do problema. Porém, com o aumento do número de pontos a serem atendidos na distribuição, os modelos matemáticos podem demandar um alto tempo de processamento para entregar a solução, inviabilizando sua utilização. A Figura 2 indica que o tempo computacional está aumentando exponencialmente em função do número de pontos (cidades).



Fonte: Applegate *et al.* (2006).

Para se ter uma ideia da complexidade em se resolver grandes problemas de maneira exata, trazemos o exemplo do problema *pla85900*, o maior PCV resolvido de modo exato até o presente momento. O *pla85900*, maior problema presente na TSPLIB (Traveling Salesman Problem Library, ou Biblioteca de Problemas do Caixeiro-Viajante), é um problema de integração de circuitos em larga escala que foi solucionado de maneira exata em abril de 2006, tendo consumido o equivalente a mais de 136 anos de processamento computacional (APPLEGATE *et al.*, 2006).

Conforme Silva, Ferreira e Steiner (2019) os problemas de rotas podem ser expressos através de um grafo $G(N, A)$, no qual $N = \{1, 2, 3, \dots, n\}$ é um conjunto de n vértices (pontos) que serão atendidos e $A(i, j)$ é o conjunto de arcos (percursos) entre dois vértices. Para cada arco, c_{ij} é o custo do transporte entre os pontos i e j . Tem-se, ainda, a variável de decisão x_{ij} , que poderá assumir o valor “1”, caso o vértice j seja atendido na sequência do vértice i , ou “0”, caso contrário. O modelo matemático de Programação Linear Inteira Binária (PLIB) que fornece a solução exata para o PCV é dado pelas equações (1) a (7).

$$\min Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$\text{Sujeito a:} \quad \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n f_{ji} - \sum_{j=1}^n f_{ij} = 1 \quad \forall i = 2, \dots, n \quad (4)$$

$$f_{ij} \leq (n - 1)x_{ij} \quad \forall i, j = 1, \dots, n \quad (5)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j = 1, \dots, n \quad (6)$$

$$f_{ij} \in \mathbb{Z} \quad \forall i, j = 1, \dots, n \quad (7)$$

A equação (1), chamada Função Objetivo, minimiza o custo total de transporte. As restrições (2) e (3) garantem que apenas um veículo saia e chegue nos clientes i e j , respectivamente. A equação (4) mostra que a diferença entre o fluxo de entrada e saída de um cliente deve ser igual a 1. A restrição (5) descreve que o fluxo em cada cliente é menor ou igual ao número de clientes menos 1. E as equações (6) e (7) determinam as variáveis devem ser binárias e inteiras, respectivamente.

2.2.2 Problema dos Múltiplos Caixeiros-Viajantes (PMCV)

O PMCV é uma extensão do Problema do Caixeiro-Viajante. Neste problema existem restrições de tempo e/ou capacidade do veículo. O objetivo é construir mais de uma rota para atender uma quantidade n de clientes dispersos na zona de

distribuição. Assim como no PCV, a origem é um único depósito e os veículos devem iniciar e finalizar a rota nesse mesmo ponto, passando por cada cliente uma única vez (MASUTTI, 2016).

Bektas (2006) propõe a utilização de um modelo PLIB para a solução do PMCV. Assim como no PCV, o PMCV pode ser expresso através de um grafo $G(N, A)$, no qual $N = \{1, 2, 3, \dots, n\}$ é um conjunto de n vértices (pontos) que serão atendidos e $A(i, j)$ é o conjunto de arcos (percursos) entre dois vértices. Para cada arco, c_{ij} é o custo do transporte entre os pontos i e j , D_i é a demanda no ponto i e C é a capacidade do veículo de entrega. Tem-se, ainda, a variável de decisão x_{ij} , que poderá assumir o valor “1”, caso o vértice j seja atendido na sequência do vértice i , ou “0”, caso contrário. O modelo matemático PLIB que fornece a solução exata para o PMCV é dado pelas equações (8) a (14).

$$\min Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (8)$$

$$\text{Sujeito a:} \quad \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall i = 2, \dots, n \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall j = 2, \dots, n \quad (10)$$

$$\sum_{j=1}^n f_{ji} - \sum_{j=1}^n f_{ij} = D_i \quad \forall i = 2, \dots, n \quad (11)$$

$$f_{ij} \leq C x_{ij} \quad \forall i, j = 1, \dots, n \quad (12)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j = 1, \dots, n \quad (13)$$

$$f_{ij} \in \mathbb{Z} \quad \forall i, j = 1, \dots, n \quad (14)$$

A Função Objetivo da equação (8) minimiza o custo total de transporte. As restrições (9) e (10) garantem que apenas um veículo saia e chegue nos clientes i e j , respectivamente, exceto para o armazém (ponto 1). A equação (11) mostra que a diferença entre o fluxo de entrada e saída em um cliente é igual a sua demanda, exceto para o armazém. A restrição (12) descreve que o fluxo em cada cliente, que deverá ser menor ou igual a capacidade do veículo que passa por ele. E as equações (13) e (14) garantem que variáveis inseridas devem ser binárias e inteiras, respectivamente.

2.3 Distribuição de vacinas

O governo brasileiro opera o Programa Nacional de Imunização (PNI) com objetivo de garantir a eficiência e qualidade dos imunobiológicos recebidos pela população. O PNI conta com uma Rede de Frio, estrutura essa que viabiliza toda a cadeia de frio das vacinas, contemplando principalmente as atividades de armazenagem e distribuição. Para atingir uma logística eficiente, a Rede de Frio age sobre as três esferas da gestão, ou seja, nacional, estadual e municipal. Essa rede possui várias instâncias que servem como base de suporte e armazenagem adequada dos produtos imunobiológicos. O fluxo de distribuição da Rede de Frio ocorre na seguinte ordem: primeiro, instância nacional, depois instância estadual, seguida pelas instâncias regional, municipal e local (BRASIL, 2017). Toda essa operação logística do imunobiológico objetiva evitar a quebra da cadeia de frio, que consiste em expor as vacinas a temperaturas fora do permitido, na maioria dos casos entre a faixa de 2°C e 8°C (DOMINGOS, 2016).

A escolha do modal para distribuição da vacina depende das peculiaridades do percurso origem-destino e da quantidade a ser transportada. O PNI obtém os imunobiológicos tanto de fabricantes nacionais quanto de internacionais. Caso essa obtenção seja internacional, a carga chega à alfândega por via aérea e segue, por rodovias, para a Central Nacional de Armazenamento e Distribuição de Insumos (Cenadi), uma instância nacional de câmaras frias com temperaturas de 2°C a 8°C e de -20°C a -15°C. Na sequência, os lotes de vacinas seguem as instâncias da rede de frio até chegar nas estruturas locais (salas de vacinação), responsáveis pela aplicação da vacina. O transporte entre as instâncias deve ser feito por veículos refrigerados ou utilizando caixas térmicas específicas, com trocas periódicas de bobinas reutilizáveis para conservar a eficácia do imunológico (BRASIL, 2017).

Com a pandemia do Covid-19 e a necessidade emergencial da descoberta e distribuição da vacina, Jokura (2021) aponta que os principais desafios enfrentados pelo Brasil se referem à gestão de contratos de aquisição, às condições de transporte e armazenagem das vacinas, algumas das quais devem ser conservadas a -70°C, além da distribuição de milhões de doses para um território de dimensões continentais e com rodovias com péssimas condições de conservação. Frente ao desafio, Brasil (2021) apresenta uma cadeia estruturada de operacionalização, com polos de armazenagem e distribuição espalhados por todo o país, distribuídos em 27 Centrais

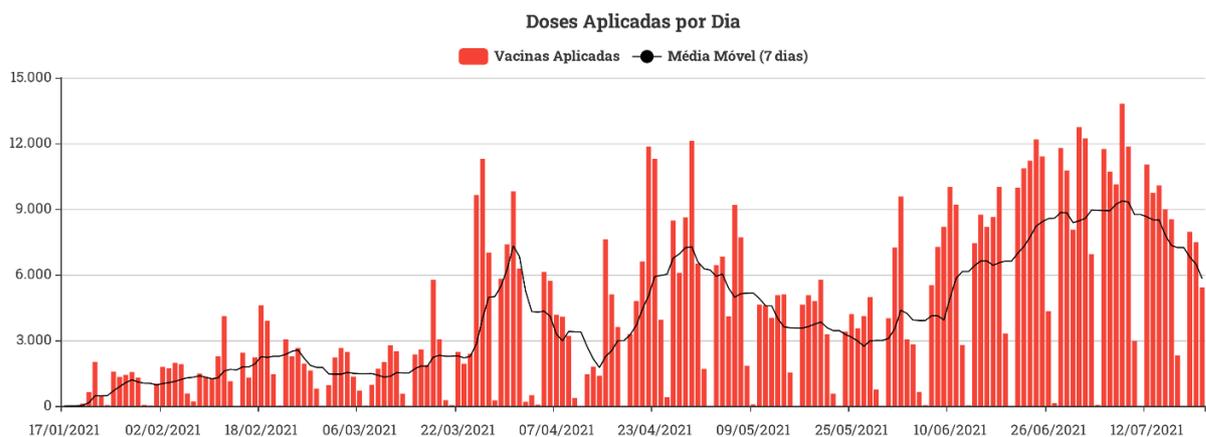
Estaduais, 273 Centrais Regionais e aproximadamente 3.342 Centrais Municipais. Além disso, a rede conta, ainda, com frota de 100 veículos baús refrigerados (número em expansão) e programas participativos entre as instâncias do governo para facilitar o fluxo de informações.

3 METODOLOGIA

O objetivo deste estudo é promover a otimização das rotas do processo de entrega de vacinas contra a Covid-19 na cidade de Araguaína, utilizando a Pesquisa Operacional (PO). Para isso, foi feita uma pesquisa exploratória, utilizando princípios da pesquisa de campo em um estabelecimento de armazenagem e distribuição de vacinas (CMI) e em unidades de atendimento básico da saúde da cidade. O estudo trata de uma análise quantitativa, pois remete a realização de medições, respostas objetivas e exatas.

Segundo informações da Secretaria de Estado da Saúde do Tocantins (SES-TO, 2021), até o momento da coleta dos dados (22 de julho de 2021), haviam sido aplicadas cerca de 770 mil doses de vacinas. O pico da média móvel (7 dias) de vacinação se deu no dia 8 de julho de 2021, com 9.370 doses aplicadas. A Figura 3 apresenta o histórico de vacinação no Tocantins.

Figura 3 - Doses aplicadas por dia no Tocantins.



Fonte: SES-TO (2021).

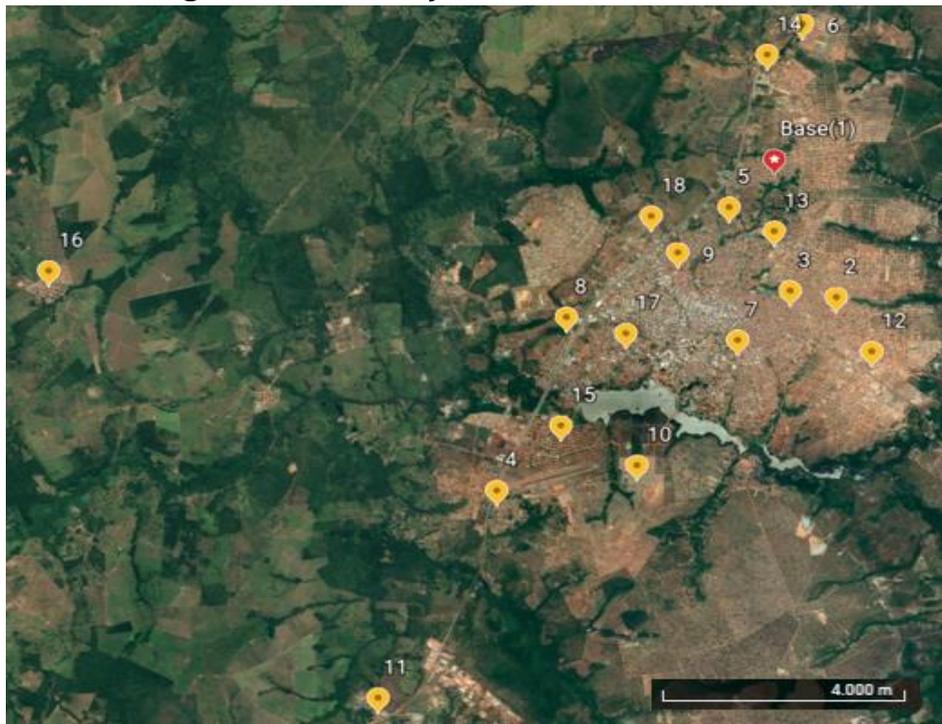
Ainda de acordo com a SES-TO, Araguaína já aplicou cerca de 100 mil doses, o que representa aproximadamente 13% do total aplicado em todo o estado. Pode-se

inferir que, no dia 8 de julho, o número de aplicações em Araguaína foi da ordem de 1.218 vacinas. Semanalmente seriam cerca de 8.526 doses, considerando a capacidade máxima de vacinação até o presente momento.

Uma vez que a Secretaria Municipal de Saúde de Araguaína não disponibilizou a demanda exata por UBS, foi estimado um valor de teto de 850 doses para cada duas semanas de operacionalização. Tendo em vista a estimativa acima, considera-se a distribuição desse quantitativo padronizado para as 17 UBS de Araguaína para simular a roteirização através do modelo matemático do Problema dos Múltiplos Caixeiros-Viajantes (PMCV).

Na Figura 4 estão as localizações geográficas de todas as UBS de Araguaína que recebem os imunobiológicos, além da CMI, localidade da saída(origem) dos lotes de vacinas.

Figura 4 - Localização das 17 UBS e da CMI.



Fonte: dados da pesquisa.

Os dados utilizados na pesquisa consistem nas localizações geográficas da CMI e das 17 UBS. Essas informações foram coletadas no Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (CNES), sistema de informação do Ministério da Saúde, e confirmadas pela Secretaria Municipal de Saúde de Araguaína. Para buscar a solução para o problema, foi necessário coletar na plataforma Google Maps as

distâncias entre cada par de pontos a serem atendidos, inclusive considerando a Central de Frio como um dos pontos. Após a coleta de dados, eles foram preenchidos em uma planilha eletrônica do Microsoft Excel e utilizando o suplemento *OpenSolver* 2.9.3 foi possível inserir as restrições reais do problema e obter os resultados esperados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Unidades Básicas de Saúde (UBS) de Araguaína que recebem o imunizante estão dispersas geograficamente. A maioria dos pontos a serem atendidos estão em bairros centrais da cidade, porém alguns pontos localizam-se em regiões particularmente distante do grande centro e da CMI. Esses últimos pontos tem a capacidade de dificultar o processo de distribuição das vacinas, como é o caso dos pontos 6, 11, 14 e 16, porque se encontram afastados de um raio central de distribuição das vacinas.

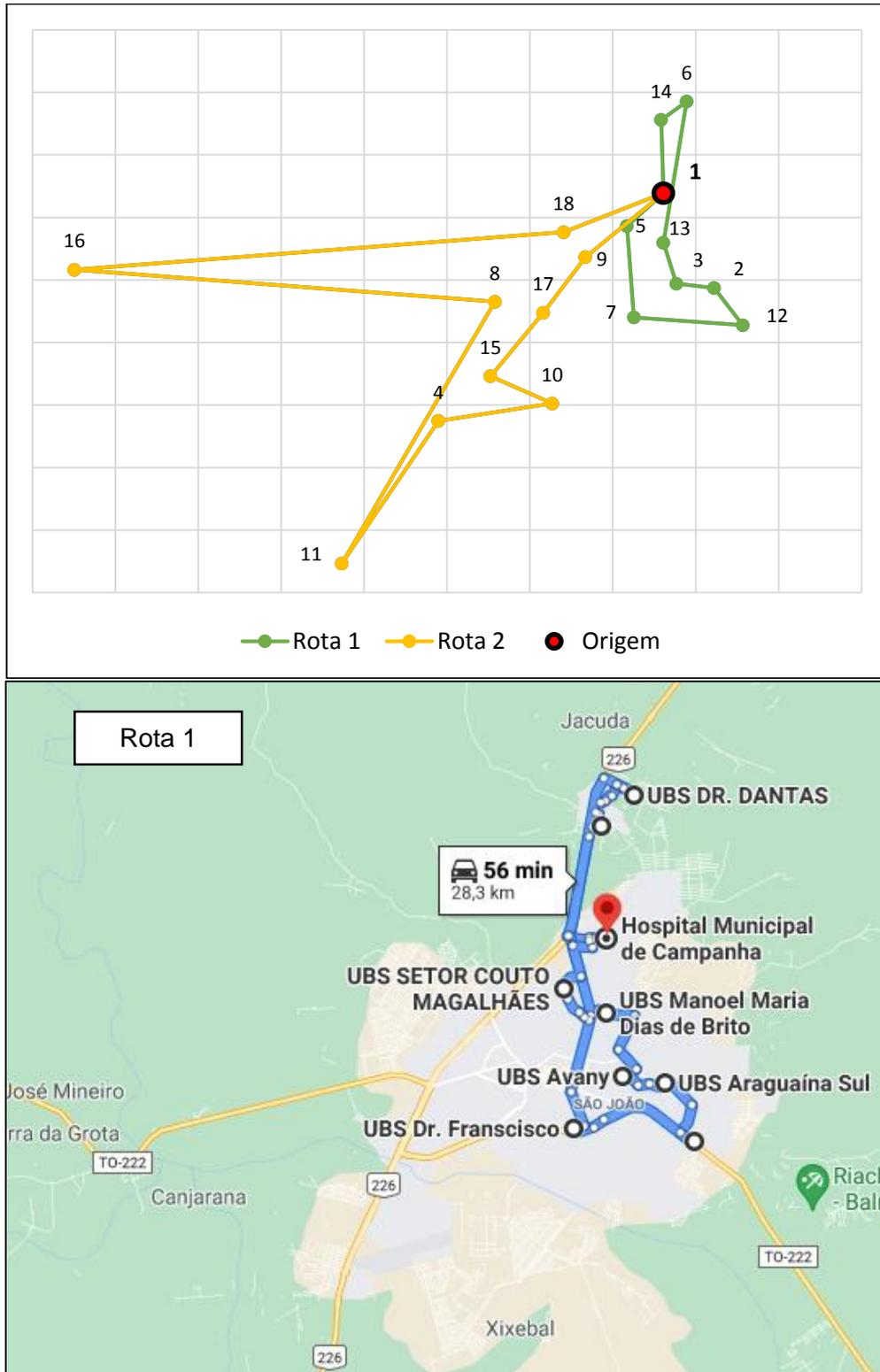
Para essas ocasiões, caso haja dificuldade de distribuição ou aumento dos custos de transporte, pode-se adotar sistemas de distribuição alternativos para esses pontos. Pelo fato dessas unidades estarem instaladas em bairros menos povoados, podemos considerar também que estas recebem percentuais menores de imunológicos semanais, já que cada ponto é reabastecido de acordo com sua demanda. Esses fatores determinam os pontos que serão os principais gargalos do processo de distribuição.

Pelo fato de o problema conter restrições de capacidade do veículo e demanda específica em cada ponto atendido, a solução obtida pelas planilhas resulta em múltiplos caixeiros viajantes. Com isso, existe mais de uma rota de atendimento no perímetro da cidade. Dados obtidos na SMS transparecem que a Central Municipal de Imunização conta com dois veículos com a capacidade individual de 8 mil doses para transporte.

Com uso dos dados da localização de cada ponto, das distâncias entre cada par de pontos, demanda de cada ponto, capacidade do veículo, o suplemento *OpenSolver* executa a simulação da roteirização levando em consideração todas as restrições do Problema dos Múltiplos Caixeiros-Viajantes (PMCV). O Gráfico 1 apresenta as rotas ótimas identificadas na simulação (na parte superior a

representação de Grafo não direcionado e na parte central e inferior o trajeto real pelo Google Maps).

Gráfico 1 - Rotas ótimas de atendimento.





Fonte: dados da pesquisa.

Com isso, a rota 1 atende 8 UBS da cidade, com ressuprimento a cada duas semanas. A carga de saída do primeiro veículo da CMI é de 6800 doses, dessa maneira os pontos da rota são atendidos com excelência e existe espaço disponível para possíveis outros medicamentos, já que a capacidade do veículo é de 8 mil doses. A segunda rota, realizada pelo segundo veículo, atende as 9 UBS restantes, com uma menor ociosidade de espaço, pois essa rota entrega uma quantidade maior de doses, cerca de 7650. O percurso dos dois trajetos resulta em um deslocamento total de 95,1 km percorridos para atendimento de todas as UBS de Araguaína com salas de vacinação contra a Covid-19.

Como visualizado no Gráfico 1, a rota 2 percorre alguns trajetos mais distantes do que o normalmente visto nos outros pares (pares 18-16, 16-8 e 8-11). Podemos entender esses pontos como gargalos da distribuição, pois distanciam o processo de um ponto central da cidade, a CMI. Inclusive, a rota 2 possui mais que o dobro da distância da rota 1. Por causa de particularidades como, por exemplo, o número de atendimentos por rota, distância percorrida e quantidade de produto transportado, a rota 2 merece uma gestão de risco mais apurada do que a rota 1. Conclui-se, portanto, que a solução apresentada contém um modelo de distribuição ideal para o processo de logística de entrega das vacinas contra a Covid-19 para as demandas estimadas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O tema apresentado nesse trabalho consiste no estudo do processo de distribuição física de vacinas contra a Covid-19 de uma Central Municipal de Imunização para as Unidades Básicas de Saúde da cidade de Araguaína, Tocantins. Como modo de gerar um resultado ótimo e exato para o problema de distribuição foram utilizados técnicas e modelos matemáticos procedentes da Pesquisa Operacional, que descrevem objetivos e restrições do problema de múltiplos caixeiros viajantes (PMCV).

A justificativa principal se relaciona com o interesse pela necessidade de uma gestão pública mais eficiente e eficaz no que diz respeito à distribuição da vacina contra a Covid-19 na cidade. Com um estudo de logística como esse foi possível obter resultados que podem colaborar para a gestão de transporte na área de saúde e afins na cidade. Os objetivos traçados foram alcançados na medida que rotas simuladas podem otimizar o tempo de trabalho, tornando eficiente a alocação dos trabalhadores envolvidos, reduzir as distâncias percorridas e os custos com combustível, além de reduzir a emissão de poluentes, e minimizar a aquisição e manutenção de veículos.

Apesar da dificuldade da obtenção dos dados precisos de demanda, foi possível estimá-los de acordo com informações em plataformas oficiais do governo e com esclarecimentos com trabalhadores da área estudada. Logo, o problema de pesquisa do sistema de roteirização ideal foi resolvido com a utilização de dados geográficos, quantitativos de demanda e capacidade do veículo em planilhas eletrônicas e seus suplementos.

Para futuras pesquisas, poderá ser realizado um estudo mais preciso em relação às demandas dos pontos de atendimento, além de mensurar tempos e movimentos realizados nas operações de logística envolvidas nesse projeto de disponibilizar vacinas para toda a população.

REFERÊNCIAS

APPLEGATE, David L. *et al. The Traveling Salesman Problem: A Computational Study*. Princeton: Princeton University Press, 2006. 593 p.

AZEVEDO, T. N; CARVALHO, M. A. M. Uma avaliação precisa da modelagem do problema de minimização de troca de ferramentas como o problema do caixeiro viajante. **Anais do XLIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, 2017.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2007.

BARAF, J. **Globalização, Logística e Transporte Aéreo**. São Paulo: Senac, 2019. 268p.

BARBOSA, D. *et al.* Aplicação da otimização por colônia de formigas ao problema de múltiplos caixeiros viajantes no atendimento de ordens de serviço nas empresas de distribuição de energia elétrica. In: **Anais do XI Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação**. SBC, 2015. p. 23-30.

BECKEDORFF, I. A. **Logística de Suprimentos e Distribuição**. Indaial: Uniasselvi, 2013. IESDE Brasil S.A., 2010.

BEKTAS, T. The multiple traveling salesman problem: an overview of formulations and solution procedures. **Omega**, v. 34, n. 3, p. 209-219, 2006. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0305048304001550>>. Acesso em: 09 jun.2021.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Plano Nacional de Operalização da Vacinação contra a Covid-19**. 5.ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2021.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância das Doenças Transmissíveis. **Manual de Rede de Frio do Programa Nacional de Imunizações**. 5. ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2017.

COLAVITE, A. S; KONISHI, F. A matriz do transporte no Brasil: uma análise comparativa para a competitividade. **Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**, v. 12, p. 28, 2015.

COLETI, J. C; OLIVEIRA, A. L. R. A Intermodalidade no Transporte de Etanol Brasileiro: aplicação de um modelo de equilíbrio parcial. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 57, n. 1, p. 127-144, 2019.

DOMINGOS, M. J. L. **Avaliação e otimização do processo de distribuição de vacinas**. 2016. Tese de Doutorado.

GOMES, J. *et al.* Programação linear aplicada à mobilidade urbana: análise do trajeto da residência à escola de estudantes universitários. **Revista ENIAC Pesquisa**, v. 8, n. 2, p. 280-297, 2019.

JOKURA, T. Os desafios da distribuição. **Pesquisa FAPESP**, São Paulo, v. 22, n. 299, p. 20-23, jan. 2021. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/os-desafios-da-distribuicao/>>. Acesso em: 06 Jun. 2021.

MACHADO, M. L. L. *et al.* As principais dificuldades do modal de transporte rodoviário no Brasil. **Revista da Mostra de Iniciação Científica e Extensão**, v. 4, n. 1, 2018.

MASUTTI, T. A. S. Um framework inspirado no comportamento coletivo de abelhas para a solução de problemas de roteamento de veículos. 2016. 119 f. Dissertação (Engenharia Elétrica) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo.

MENCHIK, C. R. **Gestão Estratégica de Transportes e Distribuição**. Curitiba: IESDE Brasil S.A., 2010.

NOVAES, A.G. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição**. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

NOVAES, A.G. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação**. 5. ed., rev. e atual. São Paulo: Atlas, 2021.

SANTOS, A. V. N; FELIX, L. B; VIEIRA, J. G. V. Estudo da logística de distribuição física de um laticínio utilizando lógica fuzzy. **Production**, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 576-583, mai/ago. 2012.

SCHYRA, L. DIVERSIFICAÇÃO DOS MODAIS DE TRANSPORTE NO BRASIL. **ARTEFACTUM-Revista de estudos em Linguagens e Tecnologia**, v. 18, n. 1, 2019.

SILVA, A. L; FERREIRA, J. C; STEINER, M. T. A. 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.

SES-TO. Secretaria de Estado da Saúde do Tocantins. Integra Saúde Tocantins. Vacinômetro. Disponível em: <<http://integra.saude.to.gov.br/covid19/Vacinometro>>. Acesso em: 21 Jul. 2021

SMS.SECRETARIA MUNICIPAL DA SAÚDE DE ARAGUAÍNA. **Plano Municipal de Vacinação contra a Covid-19**. 3. ed. Araguaína, 2021.

SOUZA, A. W. *et al.* Aplicação do método de varredura na roteirização de frota em uma empresa de transporte e distribuição de cargas fracionadas. **Exacta**, v. 14, n. 1, p. 1-10, 2016.

VALENTE. A. M. *et al.* **Gerenciamento de transporte e frotas**. 3. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2016.

APÊNDICE

Quadro 1 - Pontos atendidos pela roteirização.

Ponto	UBS	Endereço	Coordenadas	
			X	Y
1	Central Municipal de Imunização	R. das Colinas, Vila Norte, 716	-48,20	-7,16
2	Araguaína Sul	R. dos Pinheiros c/ R. Bacuri, Araguaína Sul	-48,19	-7,19
3	Avany Galdino da Silva	R. Gonçalves Ledo, Bairro São João	-48,19	-7,19
4	Bairro de Fátima	R. da Igreja, Bairro De Fátima	-48,25	-7,24
5	Couto Magalhães	Av. Perimetral, Setor Couto Magalhães	-48,21	-7,17
6	Dr. Dantas	R. CE, Q 22, L 01, Costa Esmeralda	-48,19	-7,13
7	Dr. Francisco Barbosa de Brito	R. A c/ R. L, Vila Aliança	-48,20	-7,20
8	JK	R. Araguacy, Q 14, L 01-C, Bairro JK	-48,24	-7,20
9	José Ronaldo Pereira da Costa	R. 09, Q 01, L 01, Setor Dom Orione	-48,22	-7,18
10	Lago Azul	Av. Araguaia, Q 04, L 02, Parque do Lago	-48,22	-7,23
11	Manoel Alves de Sousa	R. Joaquim Caboclo, Ponte	-48,28	-7,28
12	Manoel dos Reis Lima	R. das Hortênsias, 46, Jardim das Flores	-48,18	-7,20
13	Manoel Maria Dias de Brito	R. dos Ingaxixis, Q 28, L 01, Cimba	-48,20	-7,18
14	Maria dos Reis Rodrigues	R. 6, Q 5, Parque Bom Viver (Barros)	-48,20	-7,14
15	Nova Araguaína	R. 19, Setor Nova Araguaína	-48,24	-7,22
16	Novo Horizonte	Av. Anhanguera, 220, Novo Horizonte	-48,34	-7,19
17	Palmeira do Norte	R. das Camélias, 1055, Palmeiras do Norte	-48,23	-7,20
18	Senador Benedito V. Ferreira	R. 07, 408, Setor José Ferreira	-48,22	-7,17

Fonte: dados da pesquisa.