Roteamento de carros-pipa no semiárido brasileiro

ALFRED JAMES
Universidade Federal de São Paulo

LUCAS JULIÃO
Universidade Federal de São Paulo - Instituto Tecnológico da Aeronáutica

RENAN LIMA
Universidade Federal de São Paulo - Instituto Tecnológico da Aeronáutica

SILVA MUHATE
Universidade Federal de São Paulo - Instituto Tecnológico da Aeronáutica

ANA PAULA CUNHA
Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

LUIZ LEDUINO NETO
Universidade Federal de São Paulo

RESUMO

O trabalho, proposto como desafio pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) para a disciplina de Resolução de Problemas via Modelagem Matemática da UNIFESP, visa realizar o roteamento de carros-pipa para a distribuição de água no semiárido brasileiro, com foco no estado do Rio Grande do Norte. A distribuição de água por carros-pipa é uma das iniciativas realizadas de modo a reduzir os impactos causados pela seca. Para isso, dada a disposição dos mananciais, o exército regulamenta e fiscaliza a distribuição para os beneficiários ativos, que são pessoas ou grupos atendidos pelo programa. O principal objetivo é minimizar o custo total da operação e criar rotas para fornecimento dos mananciais aos beneficiários. Para a análise dos dados fornecidos, os métodos utilizados foram por Programação Linear e Heurística. Como resultado, foi possível obter uma redução de 26% no custo total da operação, além de uma nova rota para o fornecimento de água aos beneficiários.

PALAVRAS CHAVE. Manancial, Seca, Roteirização de Carros-Pipa.

ABSTRACT

This paper, proposed as a challenge by the National Center for Monitoring and Early Warning of Natural Disasters (CEMADEN) for the Mathematical Modeling Problem Solving course at UNIFESP, aims to optimize the routing of water trucks for water distribution in the Brazilian semiarid region, with a focus on the state of Rio Grande do Norte. Water truck distribution is one of the initiatives undertaken to mitigate the impacts of drought. In this context, considering the location of water sources, the army regulates and monitors the distribution to active beneficiaries, who are individuals or groups served by the program. The main objective is to minimize the total operation cost and create routes for supplying water from the sources to the beneficiaries. The data

analysis employed both Linear Programming and Heuristic methods. As a result, a 26% reduction in the total operation cost was achieved, along with a new route for water supply to the beneficiaries.

KEYWORDS. Water source, Drought, Water Truck Routing

1. Introdução

O semiárido brasileiro é uma região compostas por municípios de nove estados, sendo eles: Alagoas, Bahia, Ceará, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe. Dentre eles o estado do Rio Grande do Norte que detêm o segundo maior percentual de sua área no semiárido, com 91,69% [BRASIL, 2005], será o foco deste trabalho. Estas regiões, de forma recorrente, são assoladas por secas, um desastre natural em que a escassez de água gera impactos socioeconômicos e ecológicos [Alpino et al., 2014].

Dentre as políticas realizadas pelo governo para o combate à seca foi escolhida a Operação Carro-pipa, para assim propor uma política de roteamento eficiente entre os pontos de coleta de água e as pessoas atendidas pelo programa.

1.1. Revisão Biblográfica

Lima [2016] fala sobre como funciona a Operação Carro-pipa, implementada pelo governo há mais de 15 anos, na data da publicação do artigo, na região do semiárido brasileiro, além de detalhar sobre como funciona a operação, verifica se tal ação governamental produz o efeito que se espera, sempre em busca de melhorar a eficiência dessa ação. Ortiz [2022] propõe um modelo de otimização para a redução de custos do transporte e da operação através da construção de novas Estações de Tratamento de Água em vários estados do Nordeste, onde a seca atinge em grande escala, visando tanto os impactos econômicos quanto sociais que sejam favoráveis para a comunidade.

2. Metodologia

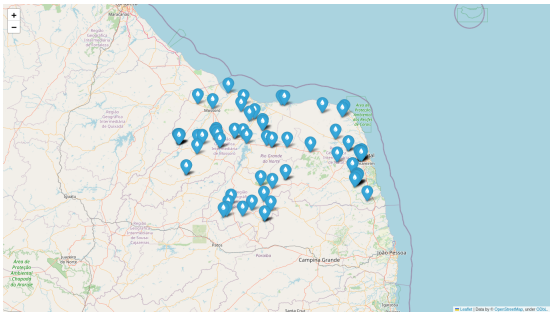
Para a resolução do problema proposto, foram utilizados métodos de Programação Linear e Heurística. A Programação Linear é um método de otimização que visa encontrar a melhor solução para um problema, dado um conjunto de restrições lineares. Já a heurística é um método de otimização que visa encontrar uma solução aproximada para um problema, sem garantia de que a solução encontrada seja a melhor. Ambos aplicados ao mesmo conjunto de dados.

2.1. Dados

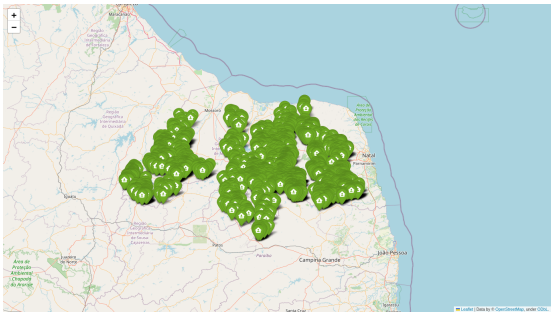
Os dados utilizados neste trabalho foram fornecidos pelo CEMADEN e são referentes ao estado do Rio Grande do Norte. Os dados são referentes a localização de 92 mananciais e 3315 beneficiários ativos, além de informações sobre a capacidade das cisternas e a categoria de rodovia em que a água é transportada. A Figura 1 apresenta a localização dos mananciais e dos beneficiários no estado do Rio Grande do Norte.

Figura 1: Localização dos mananciais e dos beneficiários no Rio Grande do Norte.

(a) Mananciais.



(b) Beneficiários.



A partir dos dados fornecidos, o problema foi modelado como um Problema de Roteamento de Veículos (PRV). O objetivo é minimizar o custo total da operação, composto pelo custo de transporte dado pelo volume transportado, a quantidade de abastecimentos, a distância percorrida e o fator da pista. Como referência, considera-se um consumo médio de 20 litros por pessoa por dia, e uma capacidade de 13 mil litros por carro pipa.

2.2. Modelo

O modelo de programação linear idealizado para o problema tem por objetivo minimizar o custo total da operação, dado pelo volume de entregas multiplicado pelo seu custo relativo. Além disso, devem ser respeitadas as restrições operacionais de cada manancial e o atendimento do consumo médio diário de cada beneficiário.

Modelo 1 Modelo para roteirização de carros pipa

1. Função objetivo:
1.1. Minimizar o custo da operação.
2. Sujeito a:
2.1. Cada beneficiário utilizar o mesmo manancial em todas as entregas.
2.2. Respeitar o número máximo de abastecimento diário por manancial.
2.3.1. **Se** o volume do reservatório do beneficiário na data for menor ou igual ao consumo mínimo.
2.3.2. **Então** realizar a entrega.

Devido à complexidade do modelo, o volume de dados e o custo computacional elevado, optou-se por utilizar uma heurística para resolução do problema.

2.3. Heurística

Uma estratégia para buscar uma solução eficiente para o problema de roteirização de carros pipa é a aplicação de heurística, como pode ser observado na metaheurística Variável Aleatória com Redução de Vizinhança de (RVND) desenvolvido por Vieira et al. [2021]. A proposta de heurística neste estudo segue no Modelo 2.

Modelo 2 Heurística para roteirização de carros pipa

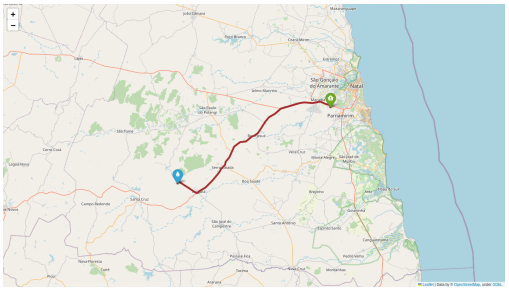
1. Preprocessamento:
1.1. Calcular a matriz de distâncias/custo entre os beneficiários e fontes.
1.2. Dado o estado inicial da cisterna e consumo médio, calcular intervalos e cronograma de reabastecimento em 1 ano para dias úteis.
1.3. Calcular quantidades de reabastecimentos por beneficiário.
1.4. Ordenar os beneficiários com maior quantidades de reabastecimentos.
2. Roteirização:
2.1. **Para cada** beneficiário:
2.1.1. **Obter a fonte** mais próxima/menor custo:
2.1.1.1. **Calcular a fonte** mais próxima/menor custo.
2.1.1.2. **Se** a fonte sobrepor limite de abastecimento diário, desconsiderar fonte para beneficiário e **Obter a fonte** mais próxima/menor custo.
2.1.2. Definir como fonte do beneficiário.

Neste modelo obtém-se um cronograma de atendimento, a definição da fonte mais próxima e o custo de abastecimento para cada beneficiário dado as restrições de capacidade de abastecimento diário e capacidades das cisternas e a demanda de consumo de água.

3. Resultados e discussão

Como resultado, é obtido a roteirização de abastecimento para cada beneficiário, com a fonte mais próxima e menor custo de abastecimento dado as restrições. A Figura 2 apresenta um exemplo de rota de um manancial para um beneficiário.

Figura 2: Exemplo de roteamento de carro pipa de manancial para beneficiário.



Quando comparado custo total da operação com o custo total da operação atual, é possível verificar uma redução de 26.39% no custo total da operação, sendo que o custo total calculado da operação atual é de R$ 33,084,807.86 e o custo total da operação obtida é de R$ 24,354,171.57. Portanto é possível verificar que a proposta de roteirização de carros pipa para abastecimento de cisternas é eficiente.

4. Conclusão e trabalhos futuros

Este trabalho apresentou uma proposta de roteirização de carros pipa para abastecimento de cisternas no estado do Rio Grande do Norte. A proposta foi modelada como um Problema de Roteamento de Veículos (PRV) e foi aplicada uma heurística para a resolução do problema. Como resultado, é possível verificar uma redução de 26.39% no custo calculado da operação.

Como trabalhos futuros, pretende-se realizar a análise da proposta com adição de outras fontes de abastecimento, como poços artesianos, além de adicionar ao conjunto de beneficiários, aqueles que estejam em situação de seca, contudo não estão ativos no programa.

Referências

Alpino, T. d. M. A., Freitas, C. M., Costa, A. M., et al. (2014). Seca como um desastre.

BRASIL, M. (2005). Nova delimitação do semiárido brasileiro. *Ministério da Integração Nacional. Secretaria de Políticas e Desenvolvimento Regional. Brasília*.

Lima, R. P. T. B. d. (2016). A efetividade da operação carro pipa na região do seridó: um estudo de caso no 1° batalhão de engenharia de construção. B.S. thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Ortiz, D. R. (2022). Modelo de otimização na operação carro-pipa do nordeste brasileiro com a construção de novas estações de água.

Vieira, Y. E. M., de Mello Bandeira, R. A., e da Silva Júnior, O. S. (2021). Multi-depot vehicle routing problem for large scale disaster relief in drought scenarios: The case of the brazilian northeast region. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 58:102193.