

REESTRUTURAÇÃO DAS EQUIPES DE MANUTENÇÃO EM UMA EMPRESA DE SANEAMENTO BÁSICO UTILIZANDO O ROTEIRIZADOR GEO-ROTA WEB

RESTRUCTURING THE MAINTENANCE TEAMS IN A WATER AND SEWAGE COMPANY USING THE GEO-ROTA WEB ROUTER

Carlos Leonardo Ramos Póvoa* E-mail: clrp@uenf.br

Paula Daudt Grativol Keller* E-mail: pauladgkeller@gmail.com

Ricardo de Souza Barreto Barcelos* E-mail: rsbbarcelos@gmail.com

*Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), Campos dos Goytacazes, RJ

Resumo: Este trabalho consiste no desenvolvimento de uma proposta de reestruturação de equipes de manutenção em uma empresa prestadora de serviços de saneamento básico. A pesquisa é justificada pela alta demanda de serviços, o que torna vital para o sucesso das operações o máximo aproveitamento da capacidade produtiva dos recursos disponíveis. Com o modelo de reestruturação proposto obteve-se um aumento na produtividade das equipes a partir da otimização dos roteiros de deslocamento, que permitiram reduzir o tempo total de rota e a quilometragem total percorrida. Como consequência, o número de equipes necessárias para atender uma mesma demanda de serviços foi reduzida. Ao aumentar a produtividade das equipes em campo é possível cumprir com prazos cada vez mais rigorosos de execução de serviços e fornecer um atendimento de maior qualidade, atendendo as exigências de clientes, investidores e órgãos reguladores. Uma nova formulação matemática para o Problema de Roteirização de Ordens de Serviço (SOVRP) é proposta, bem como testes computacionais do modelo.

Palavras-chave: Roteirização de veículos; Logística; Transporte.

Abstract: The present study aims at the development of a team restructuring proposal in a company that provides basic sanitation services. The research is justified by the high demand of services, which makes maximizing the productive capacity of available resources vital for the success of operations. The proposed restructuring model achieved the objective of improving efficiency by optimizing the vehicle routes, allowing the reduction of total route time and total mileage. As a result, the number of teams required to meet the same service demand has been reduced. By increasing the execution rate of teams in the field, it is possible to meet increasingly stringent deadlines in the execution of services and to provide higher quality customer service, serving customer, investors and regulatory records demands. A new mathematical formulation for the Service Orders Vehicle Routing Problem (SOVRP) is proposed, as well as computational tests.

Keywords: Vehicle routing; Logistics; transport.

1 INTRODUÇÃO

Um problema comum às empresas é encontrar o equilíbrio entre os custos de operação e a oferta de serviços de qualidade. A gestão adequada da cadeia de suprimentos é um fator de competitividade e diferenciação das empresas. Como definido pelo *Council of Supply Chain Management Professionals* (BALLOU, 2006):

a logística é a parte da gestão da cadeia de suprimentos que planeja, implementa e controla o fluxo e armazenamento eficaz, eficiente, para frente e reverso de bens, serviços e informação entre o ponto de origem até o ponto de consumo, de forma a atender os requisitos dos clientes.

Segundo Ballou (2006), o transporte representa entre metade e dois terços dos custos logísticos totais, evidenciando a importância de maximizar a utilização dos recursos nessa área. A escolha do transporte exige uma avaliação cuidadosa dos custos e da velocidade, uma vez que estas variáveis estão, em geral, inversamente relacionadas.

Uma das atividades mais importantes na atividade de transporte consiste na montagem dos roteiros de entrega dos veículos, ou seja, quais clientes cada veículo deve atender e qual a rota que cada um deve fazer de forma a percorrer todos os pontos de entrega com um custo mínimo de operação. Numa malha viária, ou rede de vias, pode-se obter o percurso mínimo para os veículos considerando: os custos de operação mínimos, os tempos de percurso mínimos, as distâncias mínimas ou o menor consumo de combustível.

Esse problema é conhecido como problema de roteirização de veículos (PRV), que segundo Laporte *et al.* (2000) consiste em definir roteiros que minimizem o custo total de atendimento, cada um dos quais iniciando e terminando no depósito ou base de veículos, assegurando que cada ponto seja visitado exatamente uma vez e a demanda em qualquer rota não exceda as restrições do veículo que a atenda.

De forma similar as empresas prestadoras de serviço de telefonia, energia, água e esgoto, dentre outras, necessitam manter equipes externas para atender as solicitações dos seus clientes e realizarem serviços de manutenção em sua rede de equipamentos. Um gerenciamento eficiente dessas equipes permite um aumento na qualidade e redução de custos nos serviços prestados. A definição da distribuição das ordens de serviços entre as equipes é o ponto crítico dessa operação e deve ser feita de forma a minimizar o custo operacional e assegurar o atendimento de todas os consumidores.

O problema de roteirização de ordens de serviço (SOVRP) pode ser caracterizado como uma adaptação do problema de roteirização de veículos com múltiplos-compartimentos (MCVRP), onde a frota utilizada é heterogênea e os consumidores não podem ser visitados por mais de uma equipe de serviço. Veículos

com multi-compartimentos são utilizados para o transporte de diferentes produtos que não podem ser misturados devido a alguma característica física, como diferença de temperatura de armazenamento, tipos de combustíveis, diferentes tipos de resíduos, dentre outros. No MCVRP deve ser adicionado a restrição de quais tipos de produtos o compartimento está apto a transportar.

No SOVRP os veículos são as equipes e cada uma possui um ou mais compartimentos que definem sua capacidade de executar diferentes tipos de serviços. Para exemplificar podemos citar equipes de manutenção de prestadoras de serviço de água e esgoto, onde existem equipes especializadas em manutenção da rede de esgoto, outras dedicadas a manutenção do sistema de abastecimento de água e equipes mistas que podem executar determinados serviços de água e esgoto. A capacidade das equipes em realizar os serviços é delimitada pela jornada diária de trabalho. Conforme Azeredo *et al.* (2009a) e Póvoa e Galdino (2018), a única diferença significativa entre os dois problemas trata-se do primeiro ser aplicado a roteirização de clientes que demandam produtos tangíveis, enquanto o segundo trata da roteirização de clientes que demandam por serviços.

Nessas empresas, a requisição de um serviço pelo cliente gera uma ordem de serviço (OS), a partir da qual a empresa possui um prazo para atendimento da demanda. O cumprimento desse prazo é crucial para a percepção da qualidade do serviço pelo cliente. O sucesso das operações, portanto, depende do gerenciamento eficiente das ordens de serviço. Azeredo *et al.* (2009a) dividem esse gerenciamento nas seguintes fases: 1) Definição das OS que serão atendidas a partir de critérios de prioridade de atendimento; 2) Definição das equipes e 3) Distribuição das OS as equipes a partir de critérios operacionais. Apesar da relevância do SOVRP para as empresas prestadoras de serviço, o tema ainda apresenta poucos estudos.

1.1 Definição do problema de pesquisa

A empresa em estudo, que nesse trabalho será denominada por Empresa X, é responsável pelos serviços de saneamento em uma determinada cidade do Brasil. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a cidade possui mais de 4.000 km² de área territorial. De forma a atender a demanda da cidade, bem como das áreas urbanas dos distritos e das mais de 50 localidades do interior, o

sistema de tratamento e distribuição de água conta com 1.200 quilômetros de redes e adutoras, enquanto o sistema de esgoto possui 950 quilômetros de redes e 200 elevatórias. A grandiosidade dos sistemas de água e esgoto, a dispersão da área de atuação e o caráter contínuo da prestação de serviços de saneamento geram uma alta demanda para toda a empresa. O atendimento aos serviços demandados é feito por diversos setores, cada qual com um escopo de atuação.

O setor de operações, como o nome indica, é o responsável por garantir o atendimento dos serviços dos segmentos de operações de água e operações de esgoto. A alta demanda de serviços exige o máximo aproveitamento das equipes, o que não é obtido, entre outros fatores, devido ao:

1. Alto tempo de deslocamento pelas equipes. Como a estrutura atual exige equipes separadas para a execução de serviços de água e serviços de esgoto, por vezes é necessário deslocar duas equipes para atender uma mesma região, que demanda serviços de escopos diferentes. Outra situação recorrente é a necessidade de deslocar uma equipe de água para apoio na execução de serviços de esgoto ou vice-versa. Isso ocorre, por exemplo, quando, durante a operação, um ramal do outro serviço é erroneamente atingido e necessita de reparo;
2. Desequilíbrio entre demanda de água e demanda de esgoto, o que leva a períodos no qual um tipo de equipe está sobrecarregada enquanto a outra está com capacidade ociosa.

Atualmente o setor de Operações da Empresa X conta com nove equipes diurnas de água, três equipes diurnas de esgoto e uma equipe noturna mista i.e. habilitada para realizar serviços tanto de água como de esgoto. Na disposição vigente, as equipes diurnas realizam exclusivamente serviços de água ou esgoto. No entanto, os bons resultados alcançados pela equipe mista noturna fizeram surgir a hipótese de reestruturar parte das equipes diurnas a fim de transformá-las em equipes diurnas mistas.

Por limitações práticas, uma vez que cláusulas contratuais impedem a execução de serviços de esgoto por funcionários que não foram explicitamente contratados para esse fim, as equipes consideradas para a reestruturação foram as

três equipes de esgoto, visto que essas estão contratualmente aptas a executar ambos os tipos de serviços imediatamente.

Identificada a oportunidade, faz-se necessário um estudo para saber se de fato a transformação das três equipes diurnas de esgoto em três equipes diurnas mistas é capaz de trazer retornos positivos para a concessionária.

Diante do exposto, o presente trabalho visa atender ao seguinte questionamento de pesquisa: quais os ganhos em tempo de rota e quilometragem ao se reestruturar as equipes de manutenção do setor de operações de forma a transformar as três equipes diurnas de esgoto em três equipes diurnas mistas de água e esgoto?

1.2 Objetivos e justificativas

O presente trabalho objetiva realizar a estruturação das equipes de manutenção, analisando e quantificando o ganho de desempenho (tempo) e quilometragem ao transformar as três equipes diurnas de esgoto em equipes mistas. Todos os testes foram realizados utilizando o roteirizador Geo-Rota web (Póvoa *et al.*, 2020) e os resultados obtidos foram comparados com a atual configuração.

A nova configuração das equipes de manutenção deve ser clara e eficaz, respeitando as limitações práticas da empresa de forma a tornar viável sua implementação. Além disso, deve resultar em ganho de produtividade através da redução da quilometragem total percorrida e do tempo total de atendimento.

A reestruturação dessas equipes é justificada pela alta demanda de serviços, tornando vital para o sucesso das operações o máximo aproveitamento da capacidade produtiva dos recursos disponíveis. Com a implementação do novo arranjo das equipes, espera-se aumentar a produtividade, reduzindo o número de ordens de serviço em atraso na programação e fornecendo um serviço com maior qualidade ao cliente.

O presente artigo é estruturado em quatro seções, além da introdução. A segunda seção é dedicada a caracterizar o problema de roteirização de ordens de serviço; o roteirizador Geo-Rota web, utilizado na análise das equipes, é descrito na terceira seção; a quarta seção descreve a metodologia utilizada para reestruturar as

equipes e os resultados obtidos. Por fim, na quinta seção são apresentadas as conclusões e considerações finais.

2 PROBLEMA DE ROTEIRIZAÇÃO DE ORDENS DE SERVIÇO (SOVRP)

2.1 Revisão da literatura

Como o problema de roteirização de ordens de serviço (SOVRP) é caracterizado como um caso específico do problema de roteirização de veículos com múltiplos-compartimentos (MCVRP) será feita uma revisão do MCVRP.

O problema de roteirização de veículos com múltiplos-compartimentos (MCVRP) aparece pela primeira vez no trabalho de Brown e Graves (1981) e em Brown *et al.* (1987) onde é descrito como uma aplicação para o problema de distribuição de combustíveis.

Ostermeier *et al.* (2020) identificaram um total de 84 publicações relacionadas ao MCVRP e montaram uma tipologia das diferentes variações do problema bem como suas aplicações. A tipologia desenvolvida considera os atributos relacionados aos compartimentos e aos requisitos de atendimento do pedido. Em relação aos compartimentos os autores identificaram três tipos de atributos: a) flexibilidade dos tamanhos dos compartimentos: fixos (FixS) ou flexíveis (FlexS). b) Atribuição de tipos de produtos aos compartimentos: fixo (FixA) ou flexível (FlexA). c) Compartilhamento dos compartimentos: compartilhado (SC) e não compartilhado (UC).

Em relação a forma de atender a demanda do consumidor foram identificados dois tipos de atributos: a) número de visitas por consumidor: visita por um único veículo (SV) ou múltiplos veículos (MV). b) Atendimento da demanda: a demanda de um consumidor por um único produto pode ser atendida por mais de um veículo (SD) ou a demanda deve ser atendida por um único veículo (UD). Em relação as principais aplicações os autores identificaram as seguintes: distribuição de combustível, coleta de materiais recicláveis, distribuição de alimentos e transporte marítimo.

Chajakis e Guignard (2003) estudaram o problema aplicado a distribuição em lojas de conveniência com veículos com divisórias de tamanhos variáveis e

desenvolveram uma solução utilizando relaxação lagrangiana. Avella *et al.* (2004) descreve uma aplicação no setor de distribuição de combustíveis com frota heterogênea. Os autores desenvolveram uma heurística simples para solução do problema e um algoritmo *branch and price*. Cornillier *et al.* (2008) estende o problema para múltiplos períodos de entrega e frota heterogênea.

O trabalho de El Fallahi *et al.* (2008) descreve o problema num contexto da distribuição de ração animal para fazendas, onde os tamanhos dos compartimentos são fixos e cada produto só pode ser alocado em um tipo de compartimento e não podem ser misturados com nenhum outro similar. Foi proposta uma solução para o problema usando algoritmos meméticos e busca tabu. Tasar *et al.* (2019) estende o problema considerando os tempos de carga e descarga e desenvolveram uma heurística de vizinhança variável (VNS).

Muyldermans and Pang (2010) aplicam o MCVRP para a coleta de lixo doméstico e desenvolveram um algoritmo de busca local guiada (GLS) para a solução do problema. Reed *et al.* (2014) estudam um problema similar e desenvolveram um algoritmo de colônia de formigas para solução do mesmo.

Lahyani *et al.* (2015) apresentam um estudo de caso de distribuição de azeite de oliva, que são categorizados em diferentes compartimentos em função de sua qualidade. Um algoritmo de busca em vizinhança variável (VNS) foi desenvolvido para a solução do problema. Mendoza *et al.* (2010) resolveu o problema utilizando algoritmo memético. O trabalho de Mendoza *et al.* (2011) resolve o MCVRP com demanda estocástica, utilizando heurísticas construtivas.

Derigs *et al.* (2011) desenvolveram um modelo utilizando programação inteira para resolver de forma exata. No mesmo artigo os autores implementaram diversos algoritmos heurísticos e compararam os resultados. Silvestrin e Ritt (2017) desenvolveram uma busca tabu iterativa (ITS) e obtiveram melhores resultados em quase todas as instâncias de El Fallahi *et al.* (2008).

Henke *et al.* (2015) apresentam uma versão do problema adaptado a coleta de material reciclado, onde os tamanhos dos compartimentos podem assumir valores discretos pré-definidos. O problema foi resolvido utilizando um algoritmo de busca local variada (VNS). Os trabalhos de Ostermeier e Hübner (2018, 2019) apresentam uma extensão do problema, onde a capacidade dos compartimentos é

flexível e pode ser ajustada. Os autores desenvolveram um modelo de programação inteira e uma heurística *large neighborhood search* (LNS).

Chen *et al.* (2019) aplicaram o MCVRP em uma empresa de distribuição de produtos congelados, considerando a restrição de janelas de tempo e o consumo do combustível. Os autores desenvolveram um modelo de programação matemática e uma heurística *adaptive large neighborhood search* (ALNS) para a solução do problema. Para um maior detalhamento dos trabalhos envolvendo MCVRP, suas diversas variantes e aplicações consultar Ostermeier *et al.* (2020).

Até o presente momento não encontramos nenhum trabalho de roteirização de veículos aplicado ao setor de serviço. Até mesmo o problema de roteirização de veículos com multi-compartimentos só foi estudado por alguns pesquisadores e ainda é muito carente de estudos.

2.2 Modelo matemático proposto (SOVRP)

De acordo com a tipologia desenvolvida por Ostermeier *et al.* (2020) o problema de roteirização de ordens de serviço (SOVRP) pode ser classificado como um MCVRP onde as capacidades dos compartimentos são fixas (FlexS) e o número de compartimentos é predeterminado para cada veículo. Quanto aos tipos de produtos que podem ser associados aos compartimentos é considerado fixo (FixA), ou seja, os produtos somente podem ser atribuídos a compartimentos específicos e os compartimentos são compartilhados (SC) podendo conter a demanda de vários consumidores. Conseqüentemente, só pode ser alocado um veículo para atendimento ao consumidor se o mesmo tiver o conjunto de compartimentos compatível com a demanda do cliente. As demandas de um consumidor por múltiplos serviços devem ser atendidas por uma única equipe (SV) e a demanda de um consumidor por um único serviço não pode ser atendida por mais de uma equipe (UD).

O SOVRP pode ser formulado da seguinte forma: dado um grafo não direcionado $G = (N, E)$, o conjunto de vértices $N = \{0, 1, \dots, n\}$ representa os pontos nos quais os serviços serão realizados ($\{1, \dots, n\}$). Sendo o elemento ($\{0\}$) a base de operações onde as equipes irão partir. Os serviços serão executados por um conjunto de equipes (veículos) $V = \{1, 2, \dots, v\}$ não idênticos com diferentes custos.

Cada equipe está habilitada para executar tipos específicos de serviços, que serão representados pelo seu conjunto de compartimentos $C = \{1, \dots, m\}$. O conjunto de arestas $E = \{(i, j) \in N, i < j\}$ representa as ligações entre os vértices e tem um custo de deslocamento não negativo $c_{ij} = c_{ji}$. Todos esses custos satisfazem a desigualdade triangular. O conjunto de tipos de serviços é definido por $P = \{1, 2, \dots, p\}$. Em cada consumidor i há uma demanda por um ou mais serviços e o tempo de execução do serviço p no cliente i é definido por t_{ip} .

As seguintes variáveis de decisão são utilizadas no modelo: x_{ij}^k indica se a equipe k viaja da localização i para j , y_{ip}^k indica se o serviço requisitado pelo consumidor i vai ser atendido pela equipe k e w_{pm}^k decide se o serviço p vai ser realizado pela equipe k utilizando o compartimento m . A variável $\mu_{pm}^k \in \{0, 1\}$, apesar de não ser uma variável de decisão, indica se o compartimento m da equipe k pode executar o serviço p .

A função objetivo (1) representa o custo total da rota, α_k é custo variável (depende da distância) e F_k é o custo fixo de cada equipe. As restrições (2) asseguram que as equipes só podem ser utilizadas uma única vez. Todos os serviços demandados por cada consumidor só podem ser atendidos por uma única equipe (3). A continuidade da rota é garantida pelas restrições (4), onde se uma equipe chega no ponto deve partir do mesmo. A eliminação de *subtours* é feita pelas restrições (5). O consumidor precisa ser visitado na rota, se ao menos um dos seus serviços for associado a equipe k (6). A demanda do consumidor por um único tipo de serviço deve ser atendida por uma única equipe (7), ou seja a execução do serviço não pode ser dividido por mais de uma equipe. As restrições (8) limitam o tempo de operação das equipes, onde a soma dos tempos dos diferentes tipos de serviços não pode ultrapassar a capacidade do compartimento. A alocação dos serviços para cada compartimento das equipes é garantida pelas restrições (9) e (10). A restrição (11) limita a distância máxima de cada equipe.

$$\min \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in V} x_{ij}^k d_{ij} \alpha_k + \sum_{j \in N} \sum_{k \in V} x_{0j}^k F_k \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j \in N} x_{ij}^k \leq 1 \quad \forall i \in N \setminus \{0\}, \forall k \in V, \quad (2)$$

$$\sum_{j \in N} \sum_{k \in V} x_{ij}^k \leq 1 \quad \forall i \in N \setminus \{0\}, \quad (3)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ij}^k = \sum_{j \in N} x_{ji}^k \quad \forall i \in N \setminus \{0\}, \forall k \in V, \quad (4)$$

$$h_i^k - h_j^k + n x_{ij}^k \leq n - 1 \quad \forall i \neq j \in N \setminus \{0\}, \forall k \in V, \quad (5)$$

$$y_{jp}^k \leq \sum_{i \in N} x_{ij}^k \quad \forall j \in N \setminus \{0\}, \forall k \in V, \forall p \in P, \quad (6)$$

$$\sum_{k \in V} y_{jp}^k = 1 \quad \forall j \in N \setminus \{0\}, \forall p \in P, \quad (7)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{p \in P} t_{ip} y_{ip}^k \leq T_m \quad \forall k \in V, \forall m \in C, \quad (8)$$

$$\sum_{i \in N} y_{ip}^k \leq |N| \sum_{m \in C} w_{pm}^k \quad \forall p \in P, \forall k \in V, \quad (9)$$

$$\sum_{p \in P} w_{pm}^k \leq \sum_{p \in P} \mu_{pm}^k \quad \forall k \in V, \forall m \in C, \quad (10)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} c_{ij} x_{ij}^k \leq L^k \quad \forall k \in V, \quad (11)$$

$$x_{ij}^k \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in N, i \neq j, \forall k \in V, \quad (12)$$

$$y_{ip}^k \in \{0, 1\} \quad \forall i \in N \setminus \{0\}, \forall p \in P, \forall k \in V, \quad (13)$$

$$w_{pm}^k \in \{0, 1\} \quad \forall p \in P, \forall m \in C, \forall k \in V, \quad (14)$$

$$h_i^k \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall i \in N \setminus \{0\}, \forall k \in V \quad (15)$$

2.2.1 Testes computacionais

Para validação do modelo matemático proposto, testes computacionais foram realizados em 10 instâncias geradas aleatoriamente usando dados fictícios. O modelo foi implementado utilizando o *software* de otimização *IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 20.1*. Foi utilizado a API *CPLEX* para *Python* como ambiente de execução dos testes. A Tabela 1 mostra os resultados obtidos para instâncias com 2 e 3 compartimentos e o número de clientes variando entre 5 e 15.

Tabela 1 – Testes do Modelo proposto SOVRP

Instância	Tipos de Serviços	Tipos de Compartimentos	Equipes	Clientes	Função Objetivo	t(s)
Inst_1	2	2	2	5	*872,28	< 1
Inst_2	2	2	2	5	*300,84	< 1
Inst_3	3	3	2	5	*769,44	< 1
Inst_4	3	3	2	5	*345,76	< 1
Inst_5	2	2	3	10	*1041,79	4
Inst_6	2	2	3	10	*518,31	13
Inst_7	3	3	3	10	*483,13	2
Inst_8	3	3	3	10	*807,70	4
Inst_9	2	2	3	15	*629,60	164
Inst_10	3	3	3	15	*1450,40	894

Fonte: Autores - 2021

Os testes foram realizados no ambiente de processamento *IBM Watson Studio* com um computador de 2 núcleos e 8Gb de memória. Nas instâncias de até 10 clientes o tempo de processamento apresentou um resultado bastante competitivo. Nas instâncias de 15 clientes o tempo de processamento aumentou consideravelmente, inviabilizando os testes com instâncias maiores. As instâncias foram testadas com a heurística GRASP utilizada pelo roteirizador Geo-Rota Web e todos os resultados se igualaram com o valor ótimo do modelo proposto, com tempo de processamento inferior a um segundo em todos os problemas.

O objetivo do modelo é descrever o problema em questão. O SOVRP é *NP-hard*, já que é considerado uma generalização do VRP clássico. Apenas pequenas instâncias podem ser resolvidas de forma exata. Essa é a justificativa do uso de heurísticas para a solução de problemas reais (SILVESTRIN e RITT, 2017).

3 ROTEIRIZADOR GEO-ROTA WEB

A solução de problemas de roteirização de veículos e suas variantes vêm sendo amplamente estudados na literatura, principalmente as soluções utilizando algoritmos heurísticos. Entretanto, apenas alguns estudos utilizam esses algoritmos aliados a sistemas de apoio a decisão baseados em dados geográficos (Keenan, 1998). Os trabalhos de Basnet *et al.* (1996), Weigel e Cao (1999), Nussbaum *et al.* (1997), Gayialis e Tatsiopoulos (2004), Mendoza *et al.* (2009), Santos *et al.* (2008), Pamučar *et al.* (2016), Krichen *et al.* (2014), Amal *et al.* (2018) e Savsar *et al.* (2019)

implementam uma estratégia de integração de dados geográficos com algoritmos de roteirização, utilizando *softwares* de informações geográfica comerciais.

O roteirizador Geo-Rota foi desenvolvido inicialmente para funcionar em *desktops* em 2005. Com o objetivo de facilitar o acesso e o uso do sistema por pequenas e médias empresas foi implementada uma versão para funcionar na *web*, inclusive em celulares e *tablets* (PÓVOA *et al.*, 2020). O sistema foi projetado para funcionar em uma arquitetura de processamento distribuída, utilizando três servidores (roteirização, banco de dados e *dbServer*). O servidor de roteirização é responsável por resolver o problema de roteirização de ordens de serviço (SOVRP) e utiliza uma heurística GRASP desenvolvida por Póvoa *et al.* (2020) e Póvoa e Galdino (2018). O servidor de banco de dados é responsável pelo armazenamento da base de dados e o servidor *dbServer* implementa o serviço de arquitetura REST que cuida das requisições de dados da interface *web*.

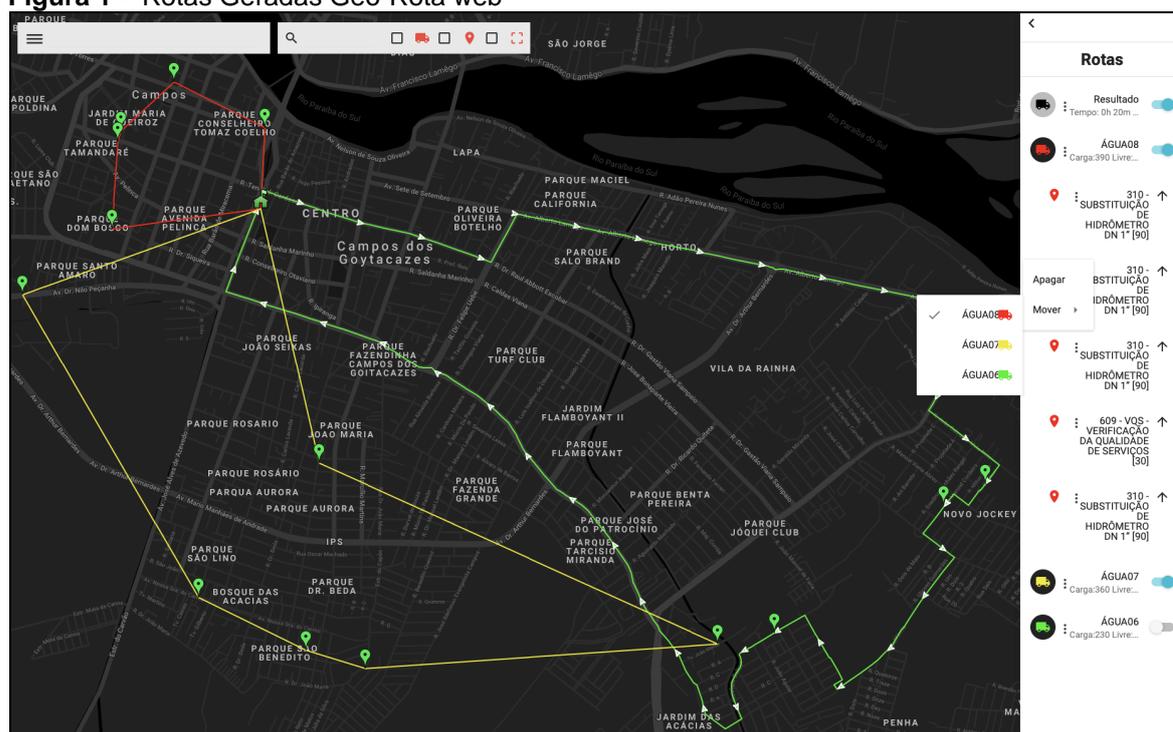
A interface do sistema foi construída utilizando a biblioteca *React (javascript)*. A interação do usuário é feita utilizando um menu (painel) que dá acesso as funções de gerenciamento de dados: clientes, equipes, compartimentos e tipos de serviço. A base de dados cartográfica utilizada para desenhar as rotas e localizar os clientes foi a do *Google Maps*.

O sistema permite de forma bastante intuitiva a edição das rotas geradas, permitindo o ajuste dos roteiros de visitas. Destaca-se que apenas um navegador *web* é necessário para a utilização do sistema. A Figura 1 apresenta uma tela do roteirizador. Para maiores detalhes da arquitetura e das funcionalidades do sistema consultar Póvoa *et al.* (2020).

4 REESTRUTURAÇÃO DAS EQUIPES DE MANUTENÇÃO

O estudo foi realizado no setor de operações da empresa X, que é formado por doze funcionários administrativos, que coordenam as diversas equipes de manutenção externa, que realizam os serviços demandados pelo setor. Destas equipes de manutenção, o presente estudo abrange as nove equipes de serviços de água e as três equipes de esgoto, além da equipe mista noturna de serviços de água e esgoto que servirá de referência para a modelagem das novas equipes. O turno diário é de nove horas por equipe.

Figura 1 – Rotas Geradas Geo-Rota web



Fonte: Autores - 2021

O setor recebe uma média de 240 ordens de serviços (OS) por semana, que devem ser alocadas para as equipes de água, esgoto ou para a equipe mista noturna, dependendo do tipo de serviço solicitado. Para a equipe noturna prioriza-se a alocação de serviços que possuam características específicas, como por exemplo, a necessidade de fechar uma rua que possui tráfego intenso durante o período diurno.

Tal alocação é feita por funcionários específicos, os programadores de serviços, que devem alocar o serviço em uma equipe habilitada para sua execução, programar e roteirizar, sempre visando a maior produtividade das equipes. A programação é realizada com base no tempo padrão de serviço, i.e. o tempo médio (minutos) que uma equipe leva para executar determinado serviço.

Conforme exposto na descrição do problema de pesquisa, a reestruturação das equipes tem como finalidade transformar as três equipes diurnas de serviços de esgoto em três equipes mistas de serviços de água e serviços de esgoto, tomando como referência a equipe noturna, que já é híbrida.

4.1 Metodologia

Inicialmente, foi obtida a programação de serviços junto ao setor de operações. Foi definido que o estudo de caso analisaria o período de uma semana e foi escolhida a semana do dia 20 a 26 de julho de 2020. Nesta etapa foi tomado o cuidado de escolher uma semana em que todas as doze equipes em estudo estivessem trabalhando, i.e. sem equipes de férias. A tabela de programação fornecida pelo setor descreve o serviço executado, o número da ordem de serviço, o endereço e a data de execução. A programação completa da semana, equivalente a 224 ordens de serviço realizadas, foi desmembrada nos respectivos dias, para melhor análise dos dados. Todas as ordens de serviços foram importadas no roteirizador e todos os clientes foram localizados no mapa (georeferenciados), utilizando o recurso de importação de arquivos CSV disponível no sistema.

A partir da programação fornecida, o passo seguinte foi a modelagem das equipes de manutenção, a fim de adaptar os dados reais em dados que pudessem ser introduzidos no roteirizador. Uma vez modeladas, os dados foram inseridos no sistema.

Dois cenários foram definidos para análise: cenário real otimizado e cenário proposto otimizado. As ordens de serviço foram roteirizadas para cada um dos cenários e os resultados foram computados. O objetivo do cenário real otimizado é, como sugere o nome, obter as rotas otimizadas do cenário real executado pela empresa em campo. Estas rotas serão comparadas com as rotas obtidas no cenário proposto otimizado. Desta forma, a extensão dos ganhos será referente apenas as alterações na estrutura das equipes, uma vez que ambos os cenários apresentam rotas otimizadas.

A análise comparativa entre os cenários foi realizada através da elaboração de tabelas com base nos parâmetros de qualidade de rota utilizados pela empresa em estudo: quilometragem percorrida e tempo total de rota. Além disso, o número de equipes utilizadas e o nível de utilização das equipes (tempo) também foram avaliados.

Essa metodologia visa o desenvolvimento de um método para avaliar a reestruturação das equipes do setor em estudo de forma a aumentar a produtividade do mesmo, visto que rotas mais eficientes reduzem o tempo de deslocamento e, por

consequência, aumentam o tempo disponível para execução de serviços. Ao aumentar a produtividade do setor, geram-se benefícios para a empresa e para o cliente, através da prestação de um serviço com maior qualidade e eficiência.

4.2 Modelagem das equipes

Cada equipe, portanto, passa a ser representada a partir deste momento por um veículo que represente os serviços por ela realizados. As configurações de um veículo do tipo “ÁGUA”, “ESGOTO” e “MISTA” estão ilustradas respectivamente na Figura 2. Veículos do tipo “ÁGUA” representam as nove equipes diurnas de água e alocam exclusivamente serviços de água. De forma análoga, veículos do tipo “ESGOTO” representam as três equipes diurnas de esgoto e alocam exclusivamente serviços de esgoto. Veículos do tipo “MISTA” representam os três veículos híbridos. Esse veículo é habilitado para realizar todos os serviços de água e todos os serviços de esgoto sob responsabilidade do setor de operações, sem restrições quanto à natureza, escopo ou duração do serviço.

Figura 2: Tipos de veículos



Fonte: Autores (2020)

Todos os veículos do setor possuem tempo de serviço máximo (capacidade) de 540 minutos, referentes ao turno de trabalho na empresa em estudo. A divisão desta capacidade entre serviços de água e serviços de esgoto é flexível nos veículos do tipo “MISTA”.

O passo seguinte foi a inserção de todos os dados no roteirizador Geo-Rota web. Primeiro foram definidos os compartimentos (tipos de serviço), no qual o volume corresponde à carga horária de um dia de trabalho na empresa, o equivalente a 540 minutos. Em seguida, inseriram-se 15 veículos com seus respectivos compartimentos, sendo nove veículos equivalentes as equipes de serviços de água, três de serviços de esgoto e três equipes híbridas de serviços de água e esgoto. As equipes mistas contam com os dois tipos de compartimentos, i.e.

um compartimento para serviços de água e outro para serviços de esgoto, mas sua capacidade total está limitada a 540 minutos, como todas as demais equipes. Todos os serviços, com seu tempo padrão, foram alocados ao seu respectivo compartimento (tipo de serviço), de acordo com a natureza do serviço em questão.

4.3 Análise dos cenários

Com o objetivo de avaliar a mudança de configuração das equipes, foram gerados dois cenários de roteirização dos serviços, sendo:

- 1) Cenário real otimizado: composto por nove equipes de serviços de água e três equipes de serviços de esgoto. Neste cenário, as ordens de serviço são roteirizadas pelo sistema e apresentam valores otimizados para os parâmetros de qualidade de rota, i.e. tempo de rota e quilometragem. O número de equipes utilizadas também foi computado.

- 2) Cenário proposto otimizado: composto por nove equipes de serviços de água e três equipes híbridas de serviços de água e esgoto. As ordens de serviço são roteirizadas e também apresentam valores otimizados para os parâmetros de qualidade de rota e número de equipes utilizadas.

Primeiramente foram geradas as rotas do cenário real otimizado, para cada dia da semana em estudo. Nesta etapa, foi considerada a rota otimizada fornecida pelo roteirizador e foram computados os valores de quilometragem, tempo de rota e número de equipes utilizadas. Em seguida, utilizou-se o cenário proposto otimizado. As ordens de serviço para cada dia da semana foram novamente roteirizadas, mas desta vez utilizando as três equipes híbridas de serviços.

Os resultados computados para ambos os cenários foram analisados através de tabelas elaboradas com base nos parâmetros: quilometragem percorrida, tempo total de rota e equipes necessárias para atender a demanda de solicitações do dia. Os resultados obtidos para o cenário real otimizado, para cada dia são computados na Tabela 2. A distância percorrida (km) para cada dia foi computada utilizando

coordenadas planas, isso é, não foi considerada a distância na malha viária (rede). Já o tempo de rota foi calculado no roteirizador utilizando a malha viária.

Os resultados do cenário proposto otimizado são demonstrados na Tabela 3. Para obter esses valores foram desativadas as três equipes de esgoto e ativados as três equipes híbridas de serviços de água e esgoto. As ordens de serviço foram novamente roteirizadas dia a dia.

Tabela 2 - Resultados cenário real otimizado

	20/07	21/07	22/07	23/07	24/07	25/07	26/07
Quilometragem (km)	104,81	11,79	277,19	192,74	153,68	259,61	220,81
Tempo de rota (s)	15214	3470	40969	34417	29850	35739	34610
Equipes	3	2	8	9	9	6	8

Fonte: Autores (2020)

Tabela 3 - Resultados cenário proposto otimizado

	20/07	21/07	22/07	23/07	24/07	25/07	26/07
Quilometragem (km)	102,94	8,64	253,95	202,91	157,02	230,89	199,81
Tempo de rota (s)	14551	2671	38306	36185	29596	33033	31437
Equipes	2	2	8	8	8	6	8

Fonte: Autores (2020)

Após o registro dos dados obtidos para cada cenário em estudo, os parâmetros quilometragem, tempo de rota, quantidade de equipes e a porcentagem de utilização das equipes, foram analisados de forma comparativa entre os cenários. Os resultados estão expostos na Tabela 4.

Tabela 4 - Comparação dos resultados

	Equipes	Quilometragem (km)	Tempo de rota (s)	Utilização
Cenário real otimizado	45	1220,63	194271	81%
Cenário proposto otimizado	42	1156,16	185781	87%
Diferença	-7%	-5%	-4%	+6%

Fonte: Autores (2020)

A análise dos dados mostra o ganho que a utilização de equipes híbridas proporciona ao setor em estudo. Isto se deve ao fato de que, ao compararmos os resultados obtidos nos dois cenários, houve redução em todos os parâmetros analisados. Para o período de tempo em estudo, a utilização de equipes híbridas

resultou em uma economia de 7% do número de equipes necessária para atender a uma mesma demanda de serviços, o que representa três equipes a menos sendo utilizadas e que, portanto, ficam disponíveis para a execução de outros serviços demandados ao setor.

A diminuição do número de equipes necessárias para atender a uma mesma demanda é acompanhada do aumento no nível de utilização das mesmas. No cenário real otimizado havia uma média de 81% de utilização da capacidade das equipes, enquanto no cenário proposto otimizado foi obtido uma média de 87% de utilização. Este ganho operacional se deve exclusivamente a reestruturação das equipes do setor, uma vez que esta é a única diferença entre os cenários em análise.

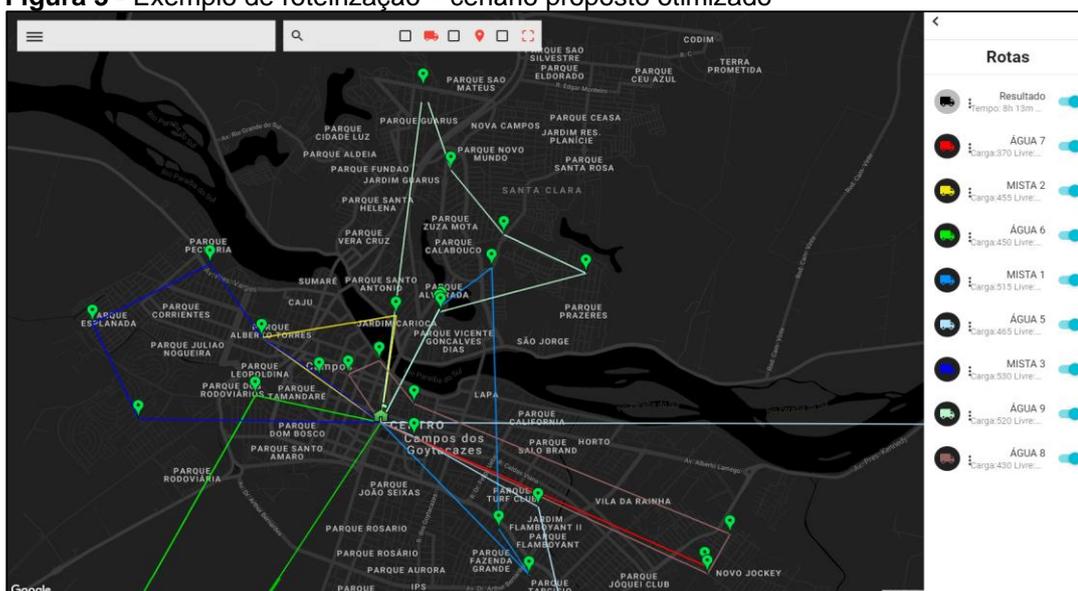
Considerando os parâmetros quilometragem e tempo de rota, novamente são observados ganhos com a reestruturação proposta. Foi obtido um ganho de 5% em quilometragem e 4% em tempo de rota ao substituir as equipes de serviços de esgoto por equipes híbridas. Em valores totais, foram economizados 64,47 quilômetros e 2 horas e 22 minutos de deslocamento. Este resultado é bem compreensível, visto que ao utilizar equipes híbridas é possível alocar serviços de natureza diferentes mas com localizações geográficas próximas, deslocando apenas um veículo para o local e otimizando as rotas. A Figura 3 mostra um exemplo de uma rota gerada para o cenário proposto otimizado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A tendência de crescimento das solicitações de serviços e da busca por níveis cada vez mais altos de qualidade, evidencia a necessidade de incorporação de mudanças que resultem em roteiros mais eficientes para as empresas prestadoras de serviços.

No caso da Empresa X, abordada neste trabalho, há uma extensa área territorial de atuação e um número limitado de equipes disponíveis, o que torna essencial para o sucesso das operações que os recursos sejam utilizados de forma eficiente.

Figura 3 - Exemplo de roteirização – cenário proposto otimizado



Fonte: Autores (2020)

O presente estudo desenvolveu uma aplicação do Problema de Roteirização de Ordens de Serviço (SOVRP) na Empresa X através da reestruturação das equipes disponíveis. Como resultado, as equipes foram remodeladas de forma a aumentar seu escopo de atuação e a melhoria na qualidade dos roteiros foi constatada através de testes realizados no roteirizador Geo-Rota web.

A análise dos parâmetros de qualidade de rota obtidos antes e após a reestruturação das equipes do setor indicou ganhos positivos com a nova configuração. Durante o período analisado, a nova estrutura proposta para as equipes trará ganhos para a empresa, sejam eles operacionais, com pessoal e até mesmo com gastos com veículos.

Este resultado fez com que se cumprissem os objetivos definidos no início do trabalho, de analisar a extensão dos ganhos obtidos em termos de tempo de rota e quilometragem com a transformação das equipes de serviços de esgoto do setor em equipes híbridas. Ademais, também foi analisada a variação no número de equipes necessárias para atender a uma mesma demanda antes e após a reestruturação do setor e o respectivo nível médio de utilização das equipes, obtendo-se ganhos em ambos.

Como sugestão para trabalhos futuros, sugere-se uma continuação do estudo para um horizonte de tempo maior. Ainda, uma nova aplicação na própria empresa, é a análise da extensão dos ganhos ao se transformar todas as equipes de serviços

de água e equipes de serviços de esgoto do setor em equipes híbridas, neste caso considerando-se todos os encargos e gastos com mudanças contratuais e certificações de trabalho que se fazem necessários para que funcionários de serviços de água possam trabalhar com serviços de esgoto.

REFERÊNCIAS

AMAL, L.; L. H. SON; H. CHABCHOUB. Spatial GIS-based genetic algorithm for route optimization of municipal solid waste collection. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, p. 27569–27582, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2826-0>

AVELLA, P.; BOCCIA, M.; SFORZA A. Solving a fuel delivery problem by heuristic and exact approaches. **European Journal of Operational Research** 152, 170 – 179, 2004. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00676-8](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00676-8)

AZEREDO, J. S.; G. P. J. GALDINO; C. L. R. PÓVOA; T. J. M. GONÇALVES; R. B. COLARES. Caracterização e aplicação do problema de roteirização de ordens de serviço: um foco na eficiência logística. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2009. [Anais...]. 2009(a)

AZEREDO, J. S.; J. T. BESSA; C. L. R. PÓVOA. O Problema de Roteirização de Ordens de Serviço: Um Estudo de Caso em uma Concessionária dos Serviços de Água e Esgoto. *In*: ENCONTRO DE EMPREENDEDORISMO, INOVAÇÃO E ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – EMPRO. 2009. [Anais...]. 2009(b).

BALLOU, Ronald. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos**: planejamento, organização e logística empresarial. Tradução de Raul Rubenich. 5. ed. Porto Alegre, Bookman, 2006.

BASNET, C.; L. FOULDS E M. IGBARIA. Fleet manager: a microcomputer-based decision support system for vehicle routing. **Decision Support Systems**, v. 16, n. 3, p. 195–207, 1996. [https://doi.org/10.1016/0167-9236\(95\)00010-0](https://doi.org/10.1016/0167-9236(95)00010-0)

BROWN, G. G.; ELLIS, C. J.; GRAVES, G. W.; RONEN, D. Real-time, wide area dispatch of mobil tank trucks. **Interfaces** 17, 107–120, 1987. <https://doi.org/10.1287/inte.17.1.107>

BROWN, G.; GRAVES, G. W. Real-time dispatch of petroleum tank trucks. **Management Science** 27, 19 – 32, 1981. <https://doi.org/10.1287/mnsc.27.1.19>

CHAJAKIS, E.; GUIGNARD, M. Deliveries in vehicles with multiple compartments. **Journal of Global Optimization** 26, 43 – 78, 2003. <https://doi.org/10.1023/A:1023067016014>

CHEN, L.; LIU, Y.; LANGEVIN, A.. A multi-compartment vehicle routing problem in cold-chain distribution. **Computers & Operations Research** 111, 58–66, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2019.06.001>

CORNILLIER, F.; BOCTOR, F.F.; LAPORTE, G.; RENAUD, J. A heuristic for the multi-period petrol station replenishment problem. **European Journal of Operational Research** 191, 295 – 305, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.08.016>

- DERIGS, U.; GOTTLIEB, J.; KALKOFF, J.; PIESCHE, M.; ROTHLAUF, F.; VOGEL, U. Vehicle routing with compartments: Applications, modelling and heuristics. **OR Spectrum** 33, 885–914, 2011. <https://doi.org/10.1007/s00291-010-0194-3>
- FALLAHI, A. EL.; PRINS, C.; WOLFLER CALVO, R. A memetic algorithm and a tabu search for the multi-compartment vehicle routing problem. **Computers and Operations Research** 35, 1725–1741, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2006.10.006>
- GAYIALIS, S. P.; I. P. TATSIOPOULOS. Design of an IT-driven decision support system for vehicle routing and scheduling. **European Journal of Operational Research**, v. 152, n. 2, 382–398, 2004. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00031-6](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00031-6)
- HENKE, T.; SPERANZA, M.G.; WÄSCHER, G. The multi-compartment vehicle routing problem with flexible compartment sizes. **European Journal of Operational Research** 246, 730–743, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.05.020>
- HÜBNER, A.; OSTERMEIER, M. A multi-compartment vehicle routing problem with loading and unloading costs. **Transportation Science** 53, 282–300, 2019. <https://doi.org/10.1287/trsc.2017.0775>
- KRICHEN, S.; S. FAIZ; T. TLILI; K. TEJ. Tabu-based GIS for solving the vehicle routing problem. **Expert Systems with Applications**, v. 41, n. 14, p. 6483–6493, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.03.028>
- LAHYANI, R.; LAPORTE, G.; COELHO, L.C.; KHEMAKHEM, M. A Multi-Compartment Vehicle Routing Problem Arising in the Collection of Olive Oil in Tunisia. **Omega** 51, 1–10, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.08.007>
- LAPORTE, G. M. GENDRAU; J.Y. POTVIN E F. SEMET. Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem. **International Transaction in Operational Research**, v.7, p. 285-300, 2000. <https://doi.org/10.1111/j.1475-3995.2000.tb00200.x>
- MENDOZA, J. E.; A. L. MEDAGLIA; N. VELASCO. An evolutionary-based decision support system for vehicle routing: The case of a public utility. **Decision Support Systems**, v. 46, n. 3, p. 730–742, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2008.11.019>
- MENDOZA, J.E.; CASTANIER, B.; GUÉRET, C.; MEDAGLIA, A.L.; VELASCO, N. A memetic algorithm for the multi-compartment vehicle routing problem with stochastic demands. **Computers and Operations Research** 37, 1886–1898, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2009.06.015>
- MENDOZA, J.E.; CASTANIER, B.; GUÉRET, C.; MEDAGLIA, A.L.; VELASCO, N. Constructive heuristics for the multicompartment vehicle routing problem with stochastic demands. **Transportation Science** 45, 346–363, 2011. <https://doi.org/10.1287/trsc.1100.0353>
- MUYLDERMANS, L., PANG, G. On the benefits of co-collection: Experiments with a multi-compartment vehicle routing algorithm. **European Journal of Operational Research** 206, 93–103, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.02.020>
- NUSSBAUM, M.; M. SEPULVEDA; A. COBIAN; J. GAETE E J. CRUZ. A fuel distribution knowledge-based decision support system. **International Journal of Management Science**, v. 25, n. 2, p. 225–234, 1997. [https://doi.org/10.1016/S0305-0483\(96\)00059-X](https://doi.org/10.1016/S0305-0483(96)00059-X)

OSTERMEIER, M.; HENKE, T.; HÜBNER, A.; WÄSCHER, G. Multi-compartment vehicle routing problems: State-of-the-art, modeling framework and future directions. **European Journal of Operational Research**, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.11.009>

OSTERMEIER, M.; HÜBNER, A. Vehicle selection for a multi-compartment vehicle routing problem. **European Journal of Operational Research** 269, 682–694, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.01.059>

PAMUČAR, M. Transport spatial model for the definition of green routes for city logistics centers. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 56, p. 72–87, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2015.09.002>

PÓVOA, C. L. R.; P. J. GALDINO. Service orders vehicle routing problem with limited and heterogeneous fleet. **CLAIO – XIX Latin-Iberoamerican Conference on Operation Research**, 2018.

PÓVOA, C.L.R.; A. S. VELASCO; F. G. PAES. Geo-Rota - Sistema web de suporte a decisão para o problema de roteirização de veículos com multi-compartimentos. **Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v. 15, n. 3, p. 133–154, 2020. <https://doi.org/10.15675/gepros.v15i3.2553>

SANTOS, L. E R. J. COUTINHO. Implementing a multi-vehicle multi-route spatial decision support system for efficient trash collection in Portugal. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 42, n. 6, p. 922–934, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2007.08.009>

SAVSAR, M., A. ABOELFOTOH; D. EMBAIREEG. A GIS-based methodology for solving the capacitated vehicle routing problem with time windows: A real-life scenario. **International Journal of Applied Management Science**, v. 11, n. 2, p. 124–152, 2019. <https://doi.org/10.1504/IJAMS.2019.098827>

SILVESTREIN, P.V.; RITT, M. An Iterated Tabu Search for the Multi-compartment Vehicle Routing Problem. **Computers & Operations Research** 81, 192–202, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2016.12.023>

TASAR, B.; TÜRSEL ELIYI, D.; KANDILLER, L. Vehicle routing with compartments under product incompatibility constraints. **Traffic Management** 31, 25–36, 2019. <https://doi.org/10.7307/ptt.v31i1.2670>

WEIGEL D.; B. CAO. Applying GIS and OR techniques to solve Sears technician dispatching and home delivery problems. **Interfaces**, v. 29, n. 1, p. 112–130, 1999. <https://doi.org/10.1287/inte.29.1.112>



Artigo recebido em: 24/04/2021 e aceito para publicação em: 13/06/2021

DOI: <http://dx.doi.org/10.14488/1676-1901.v21i2.4300>