



Interdisciplinary

LINKSCIENCEPLACE

DOI: 10.17115

ISSN: 2358-8411

Scientific Journal



Interdisciplinary Scientific Journal. ISSN: 2358-8411

Nº 3, volume 4, article nº 7, April/June 2017

D.O.I: <http://dx.doi.org/10.17115/2358-8411/v4n3a7>

Accepted: 12/04/2017 Published: 30/09/2017

WEB COMPUTER TOOL BASED ON GENETIC ALGORITHMS FOR ROUTING VEHICLES

FERRAMENTA COMPUTACIONAL WEB BASEADA EM ALGORITMOS GENÉTICOS PARA ROTEAMENTO DE VEÍCULOS

Renato Alessandro Rocha Santos¹

Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Nove de Julho – UNINOVE

Stanley Jefferson de Araujo Lima²

Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Nove de Julho – UNINOVE

Sidnei Alves de Araújo³

Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo – USP

Resumo: Nas últimas décadas o Problema de Roteamento de Veículos (PRV) tem sido temática de diversas pesquisas, principalmente devido às dificuldades encontradas para sua resolução, bem como sua aplicabilidade em situações reais do cotidiano. Na literatura científica há diversas propostas de soluções para o PRV empregando diferentes técnicas de otimização. No entanto, tais soluções raramente são transformadas em ferramentas computacionais que possam ser utilizadas por usuários finais como, por exemplo, as microempresas. Assim, o foco do presente trabalho foi o desenvolvimento de uma ferramenta computacional *Web* para roteamento de veículos, denominada SGRV □ Sistema de Gestão de Roteamento de Veículos, que emprega recursos do *Google Maps* e visa suprir as necessidades de microempresas. Todas as etapas da presente pesquisa foram conduzidas de acordo com a metodologia *Design Science Research*. O SGRV foi avaliado qualitativamente por quatro microempresas de diferentes ramos, que o utilizaram por um determinado período e, ao final, responderam seis questões abertas a partir de entrevistas semiestruturadas. As experiências dessas microempresas foram transcritas e os dados obtidos revelam a efetividade do SGRV no gerenciamento de suas tarefas relacionadas aos pedidos e entregas de produtos.

¹ Universidade Nove de Julho – UNINOVE, Diretoria dos Cursos de Informática, São Paulo – SP, alessandro3santos@uni9.pro.br

² Universidade Nove de Julho – UNINOVE, Programa de Pós-Graduação em Informática e Gestão do Conhecimento (PPGI), São Paulo – SP, stanleyjefferson@outlook.com

³ Universidade Nove de Julho – UNINOVE, Programa de Pós-Graduação em Informática e Gestão do Conhecimento (PPGI), São Paulo – SP, saraujo@uninove.br

Palavras-chave: Roteamento de Veículos; Ferramenta *Web*; Algoritmos Genéticos.

Abstract: Over the last decades the Vehicle Routing Problem (VRP) has been subject of several researches, mainly due to the difficulties found in its optimization as well as its applicability in real-world situations. In the scientific literature there are several proposed solutions for the PRV using different optimization techniques. However, such solutions are rarely transformed into software tools that can be used by end users, for example, microenterprises. Thus, the focus of the present work was to develop a Web computational tool for vehicle routing, called SGRV □ Sistema de Gestão de Roteamento de Veículos, which uses Google Maps resources and aims to meet the needs of microenterprises. All steps of this research were conducted based on Design Science Research methodology. The SGRV was qualitatively evaluated by four microenterprises from different branches, that used it for a certain period and, at the end, answered six opened questions through semi-structured interviews. The experiences of these microenterprises were transcribed and the obtained data reveal the effectiveness of the SGRV in the management of their tasks related to the orders and deliveries of products.

Keywords: Vehicle Routing; Web system; Genetic Algorithms.

1. INTRODUÇÃO

A logística consiste basicamente em três atividades primárias: Transportes, Manutenção de estoques e Processamento de pedidos. A atividade de transporte representa, em média, de um a dois terços dos custos logísticos (BALLOU, 1993). Diante disso, muitos pesquisadores têm investido seus esforços a fim de solucionar diversos problemas relacionados à essa atividade primária, entre eles o Problema de Roteamento de Veículos (PRV), o qual é um problema de otimização combinatória originado do Problema do Caixeiro Viajante (PCV) que, por sua vez, consiste na visita de um caixeiro a um conjunto de cidades, partindo e voltando de uma cidade de origem, visitando uma única vez cada cidade (FREITAS et al., 2014).

Nesta ótica, quando há múltiplos caixeiros, o problema se torna um PRV, caracterizado como NP-difícil, ou seja, sua solução exaustiva se torna inviável na prática, pois o número de combinações possíveis cresce exponencialmente na medida que se aumenta o número de clientes a serem atendidos.

Tal complexidade aumenta ainda mais devido aos vários desdobramentos e aplicações práticas do PRV, como a distribuição de bens ou serviços num dado período (periódico), com quantidade de bens (capacidade ou demanda), possivelmente de tipos diferentes (heterogêneas), que devem ser entregues ou

recolhidos (coleta e ou entrega), e com períodos específicos durante os quais o cliente está disponível ou a localização pode ser alcançada, devido a limitações de tráfego (Janela de tempo) (TOTH; VIGO, 2000).

De maneira geral o PRV consiste em definir as rotas que um conjunto de veículos deve seguir para suprir a demanda de determinados clientes, respeitando as restrições operacionais impostas pelo contexto o qual está inserido. Os objetivos mais comuns do PRV são: minimizar a distância total percorrida, melhorar o tempo de transporte, minimizar o número de veículos necessários e reduzir o custo total das rotas.

Xu et al. (2001) relatam que os principais desdobramentos do PRV são: o Problema de Roteamento de Veículos Capacitado (PRVC), que considera um conjunto homogêneo de veículos de capacidade limitada, localizados inicialmente no mesmo depósito, no qual a única restrição imposta é a capacidade do veículo; o Problema de Roteamento de Veículos com Coleta e Entrega (PRVCE), que consiste na maneira que se atende as demandas dos clientes, podendo ser divididas em duas partes, por exemplo: a coleta em um local e a entrega em outro; e o Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo (PRVJT), que é uma generalização do PRVC, e constitui-se na realização de entregas em determinados horários, os quais são determinados pelos clientes, pois eles necessitam ser atendidos no horário previsto.

Na literatura científica se encontram diversas propostas de soluções para o PRV empregando diferentes técnicas determinísticas, heurísticas e meta-heurísticas de otimização, entre as quais estão: Enumeração completa, *Simplex*, *Branch and Bound* (SOUZA; GUARDIA, 2007), Busca Tabu (Tabu Search), Algoritmos Genéticos (*Genetic Algorithms*), Arrefecimento Simulado (*Simulated Annealing*), Otimização por Colônia de Formigas (*Ant Colony Optimization*), Busca em Vizinhança Variável (*Variable Neighborhood Search*), além das meta-heurísticas híbridas (VIEIRA, 2008).

De todas as técnicas existentes para solução do PRV, os Algoritmos Genéticos (AG) se destacam pela sua versatilidade de construção e pelos bons resultados que vem apresentando na última década para problemas complexos como o PRV, como pode ser visto em Lau et al. (2010); Bermudez et al. (2010);

Wang e Lu (2010); Lee e Nazif, (2011); Tasan e Gen (2011); Ursani et al. (2011); Lu e Yu (2012); Kuo, Zulvia e Suryadi (2012); Vidal et al. (2012); Reiter e Gutjahr (2012); Osaba, Diaz e Oniera, (2014); Lima, Santos e Araújo (2015).

Contudo, apesar de existirem muitos métodos na literatura científica para solução do PRV e seus desdobramentos, tais soluções raramente são transformadas em ferramentas computacionais que possam ser utilizadas, por exemplo, pelas microempresas. Essa constatação foi feita por meio de um levantamento bibliográfico realizado em 2015, considerando os últimos cinco anos.

Nesse contexto, surge a seguinte pergunta de pesquisa: como adaptar uma abordagem computacional para solução do PRV no âmbito científico, tornando-a uma ferramenta prática para ser utilizada no dia a dia das microempresas? Para responder essa pergunta é que se propôs o desenvolvimento de uma ferramenta *Web* denominada SGRV – Sistema de Gestão de Roteamento de Veículos, a qual é apresentada na seção 4.2. Em adição, foi com base na revisão da literatura que se escolheu a abordagem desenvolvida por Lima, Santos e Araújo (2015) para ser empregada no SGRV, uma vez que ela possibilita soluções de boa qualidade com baixo custo computacional.

O SGRV foi desenvolvido de maneira que um usuário, mesmo não possuindo conhecimentos técnicos acerca do problema de roteamento de veículos, consiga realizar a gestão de tarefas relativas ao roteamento de veículos e, por consequência, de controle de pedidos. Para balizar o desenvolvimento do SGRV realizou-se um levantamento das ferramentas computacionais de uso livre para solução do PRV disponíveis na literatura, cujos resultados estão apresentados na seção 4.1.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Problema de roteamento de veículos

O PRV situa-se na atividade logística de transportes e distribuição de produtos. Empresas e organizações estão engajadas em entregas e coletas de bens, que na prática possuem objetivos e restrições variáveis. Neste enfoque, algoritmos e *softwares* são desenvolvidos para problemas específicos, de maneira

otimizada, podendo ser adaptados para diferentes contextos (CORDEAU et al., 2007).

Devido a sua complexidade de solução, o PRV tem despertado a atenção de pesquisadores no mundo inteiro e se caracteriza basicamente como o planejamento de rotas para um certo número de veículos atenderem um conjunto de clientes, a fim de otimizar, por exemplo, o custo total de roteamento, o número de veículos utilizados ou ainda o balanceamento de carga, respeitando algumas restrições operacionais.

O PRV possui diversas variantes, as quais levam em conta a capacidade (cada veículo tem uma capacidade específica), janelas de tempo (os clientes são atendidos em tempo determinado), rota de veículos heterogênea (veículos distintos), e múltiplos depósitos (os veículos podem partir de diferentes depósitos (centros de distribuição) (MANDAL et al., 2015).

Para fins de compreensão sobre o PRV, a Figura 1 demonstra um roteamento de veículos no qual cada cliente foi atendido com determinada demanda, sendo necessário 4 veículos (cada rota é atendida por um veículo capacitado) para atender os 18 clientes dispersos geograficamente.



Figura 1 – Exemplo de roteamento de veículos a partir do centro de distribuição.

Fonte: Lima (2015)

A seguir é detalhado, considerando a delimitação desse estudo, o Problema de Roteamento de Veículos Capacitado.

2.1.1. Problema de Roteamento de Veículos Capacitado

O Problema de Roteamento de Veículos Capacitado (PRVC) é uma das versões mais básicas do PRV e consiste em determinar um conjunto de rotas de veículos, cada uma iniciando e terminando no mesmo depósito, com a seguinte restrição: cada cliente deve ser atendido por um único veículo, o qual não pode ter sua capacidade de carga excedida (LEE; NAZIF, 2011).

Seja um grafo $G = (N, A)$, em que A é um conjunto de arestas, representando os caminhos que ligam os clientes entre si e ao depósito, os quais são representados por um conjunto de nós $N = \{0, 1, \dots, n\}$. Para cada aresta (i, j) é associado um custo, c_{ij} , representando o custo do trajeto do nó i ao nó j .

Um conjunto K de veículos homogêneos e com capacidade cv é alocado ao depósito. Para cada cliente v se associa uma demanda d_i . Define-se o depósito $d_0 = 0$.

A formulação matemática do PRVC, conforme Lima (2015), é expressa a seguir:

$$\text{Minimizar} \quad ct = \sum_{i=0}^{nc} \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^{nc} \sum_{k=1}^K c_{ij} x_{ijk} \quad (1)$$

$$\text{Sujeito a} \quad \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{nc} x_{0jk} \leq K \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{nc} x_{0jk} = \sum_{j=1}^{nc} x_{j0k} = 1, \quad k = 1, \dots, K \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=0}^{nc} x_{ijk} = 1, \quad i = 1, \dots, nc \quad (4)$$

$$\sum_{j=0}^{nc} x_{ijk} - \sum_{j=0}^{nc} x_{jik} = 0, \quad k = 1, \dots, K \quad i = 1, \dots, nc \quad (5)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_{ijk} \leq |S| - v(S), \quad \forall S \subseteq V \setminus \{0\}, |S| \geq 2 \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^{nc} d_i \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^{nc} x_{ijk} \leq cv, \quad k = 1, \dots, K \quad (7)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\}, \quad i = 1, \dots, nc, \quad j = 1, \dots, nc, \quad k = 1, \dots, K \quad (8)$$

Em que:

d_i : demanda do cliente i ;

- K : Número de veículos;
 K : conjunto de veículos;
 S : conjunto de clientes;
 N_c : Número de clientes;
 $v(S)$: número mínimo de veículos para atender S ;
 c_{ij} : custo do percurso do vértice i ao vértice j ;
 C_t : custo total do roteiro (conjunto de rotas);
 C_v : capacidade do veículo;
 x_{ijk} : percurso do vértice i ao vértice j com o veículo k .

A Equação 2 assegura que no máximo K veículos serão utilizados a partir do depósito. A Equação 3 garante que cada rota tenha seu início e término no depósito. A Equação 4 define que os clientes devem ser atendidos apenas uma vez. Já a Equação 5 mantém o fluxo garantindo, isto é, uma vez o cliente atendido, o veículo deve sair do mesmo, evitando o término precoce da rota. A Equação 6 evita que sejam formadas rotas que não incluam o depósito. Nesta restrição, $v(S)$ representa o número mínimo de veículos necessários para atender o conjunto de clientes S .

Para que o número de veículos usados para atender aos clientes do conjunto S não seja inferior a $v(S)$, o mínimo necessário, a restrição 6 restringe indiretamente que a capacidade do veículo não seja excedida. Entretanto, para deixar evidenciada a formulação da restrição de capacidade, a Equação 7 é utilizada. E por fim a Equação 8 representa o percurso do vértice i ao vértice j com o veículo k .

Uma vez descrito o problema tratado nesta pesquisa, nas seções 2.2 e 2.3 a seguir apresentam-se a técnica utilizada na abordagem que compõe o núcleo do SGRV (AG), bem como a maneira empregada para codificação do roteamento.

2.2 Algoritmos Genéticos (AG)

Algoritmos Genéticos são técnicas computacionais evolucionárias que simulam os mecanismos de seleção natural, genética e evolução, possuindo diversas aplicações em problemas de busca e otimização. Seu viés é quanto melhor um indivíduo se adaptar ao seu meio ambiente, maior será sua chance de sobreviver e gerar descendentes.

Para compreender o AG é de suma importância alguns conceitos de genética, como genótipo e fenótipo. O termo genótipo refere-se à composição genética do indivíduo. Já o termo fenótipo refere-se às características observáveis de um organismo (BROOKER, 2012). Em outras palavras, o conceito de genótipo associa-

se às características internas do indivíduo, isto é, o conjunto de cromossomos ou sequência de genes herdados dos pais, determinando o seu fenótipo. Já o fenótipo está relacionado com as características externas, morfológicas, fisiológicas e comportamentais dos indivíduos, ou seja, o fenótipo determina a aparência do indivíduo, resultante da interação do meio e de seu conjunto de genes (genótipo).

Um indivíduo do AG representa uma solução em um espaço de busca, mas também é definido como cromossomo, constituído por genes, que representam variáveis de um problema de otimização. Cada posição do gene é um alelo (bit) que representa um valor de um gene. Quando a estrutura do genótipo está pronta, o fenótipo representará a característica de um indivíduo.

O cruzamento consiste na recombinação dos genes dos indivíduos mais aptos, gerando descendentes aprimorados para a próxima geração. Após um certo número de gerações, a tendência é não haver mais diversidade populacional. Neste caso, aplica-se a mutação em uma determinada taxa de indivíduos, isto é, mudança na característica dos genes, normalmente alterando-se os alelos de forma aleatória.

Com base no exposto, observa-se que a escolha da forma de codificação do cromossomo (representação cromossômica) é uma etapa importante para o desenvolvimento do AG, uma vez que está diretamente relacionada com a qualidade das soluções encontradas, bem como o tempo computacional gasto para encontrá-las. Essa observação também foi levada em conta para escolha do método proposto por Lima, Santos e Araújo (2015), apresentada a seguir.

2.3 Método de solução do PRVC adotado no SGRV

Lima, Santos e Araújo (2015) propuseram um AG com representação binária para solução do PRVC. Para a otimização dos roteiros, parte do cromossomo, denominada índice para permutação, é usada para permutar os clientes associados aos veículos. A Figura 2 exemplifica a representação cromossômica proposta para solução de uma instância do PRVC com 7 clientes e 2 veículos. As 7 primeiras colunas de cada linha indicam os clientes a serem atendidos por um veículo, enquanto as 6 últimas colunas consistem em um vetor que determina as permutações a serem feitas em uma matriz de números inteiros, inicializada com o AG de forma aleatória, e que contém a ordem que cada veículo deve visitar os seus clientes, ou seja, a rota de cada veículo.

	Clientes							Índice para Permutação					
	A	B	C	D	E	F	G						
Veículo 1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0
Veículo 2	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1

Figura 2 – Cromossomo sugerido por Lima, Santos e Araújo

Adaptado de: Lima, Santos e Araújo (2015)

Nas Figuras 3 e 4 pode-se observar o processo de permutação. A matriz de inteiros que representa as rotas, denominada Matriz de Permutação, quando combinada com os cromossomos, resulta em diferentes matrizes permutadas, ou diferentes conjuntos de rotas. Cada matriz permutada tem como objetivo definir a ordem em que os clientes devem ser atendidos pelos veículos.

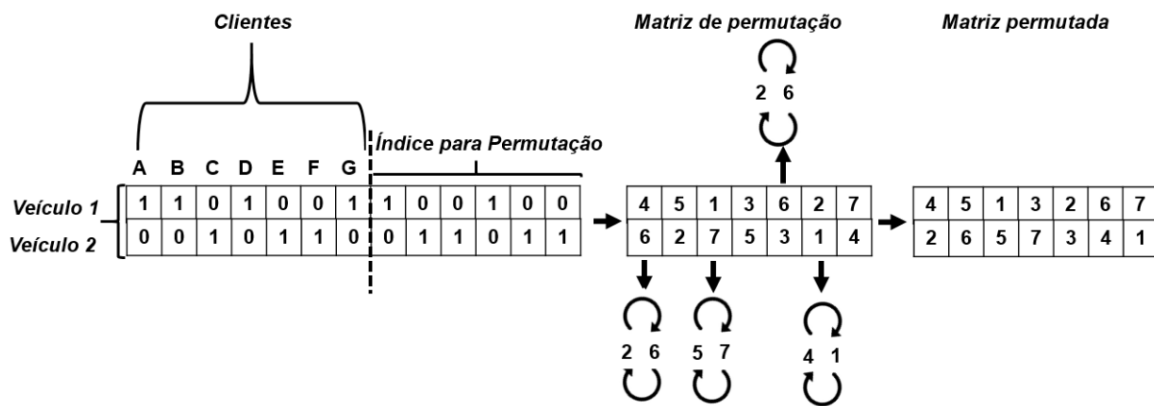


Figura 3 – Exemplo da permutação proposto por Lima, Santos e Araújo

Adaptado de: Lima, Santos e Araújo (2015)

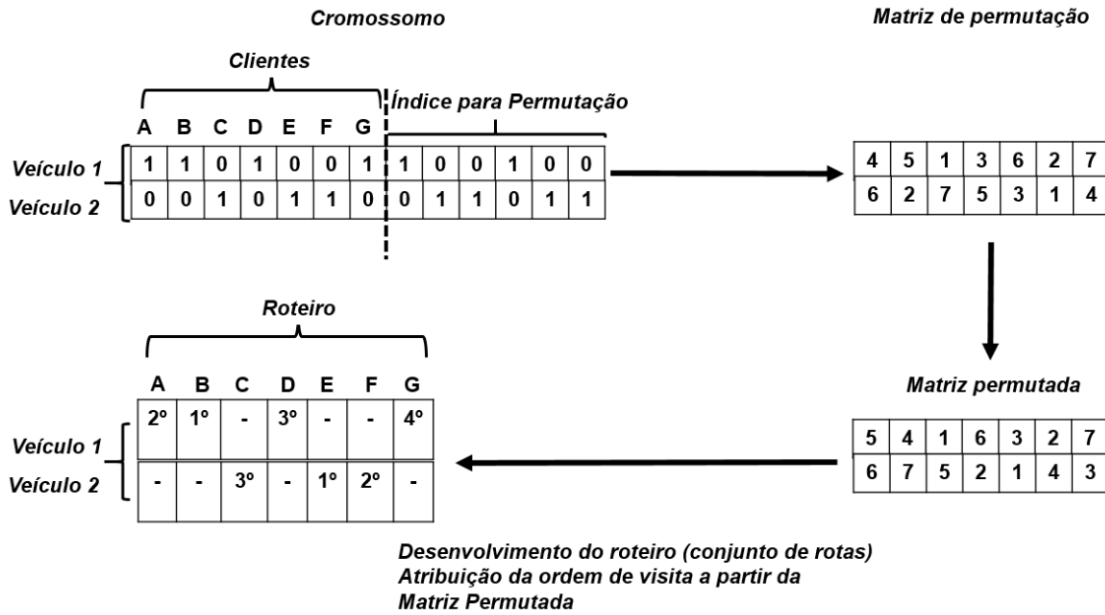


Figura 4 – Ilustração da representação cromossômica proposta por Lima, Santos e Araújo

Adaptado de: Lima, Santos e Araújo (2015)

A estratégia proposta pelos autores, devido à sua natureza, não gera soluções infactíveis após aplicação do operador de cruzamento. Os resultados experimentais foram comparados com resultados ótimos conhecidos na literatura, evidenciando a qualidade e a rapidez dessa abordagem (LIMA, SANTOS e ARAÚJO, 2015), justificando a sua escolha para compor o núcleo do SGRV.

3. MÉTODOS E MATERIAIS

3.1. Método de pesquisa

Para a realização desta pesquisa foi utilizada a metodologia denominada *Design Science Research* (DSR), a qual tem sido amplamente empregada para fundamentar e dar respaldo científico em pesquisas que objetivam a geração de algum artefato (BAYAZIT, 2004). O que torna o modelo de processo DSR diferente do modelo de processo de projeto correspondente é o fato de que a contribuição acadêmica precisa ser um foco chave da DSR (VAISHNAVI; KUECHLER JR, 2015).

Para o embasamento metodológico foi utilizada a interpretação adaptada das etapas do DSR de Dresch (2013), como pode ser visto na Figura 5.

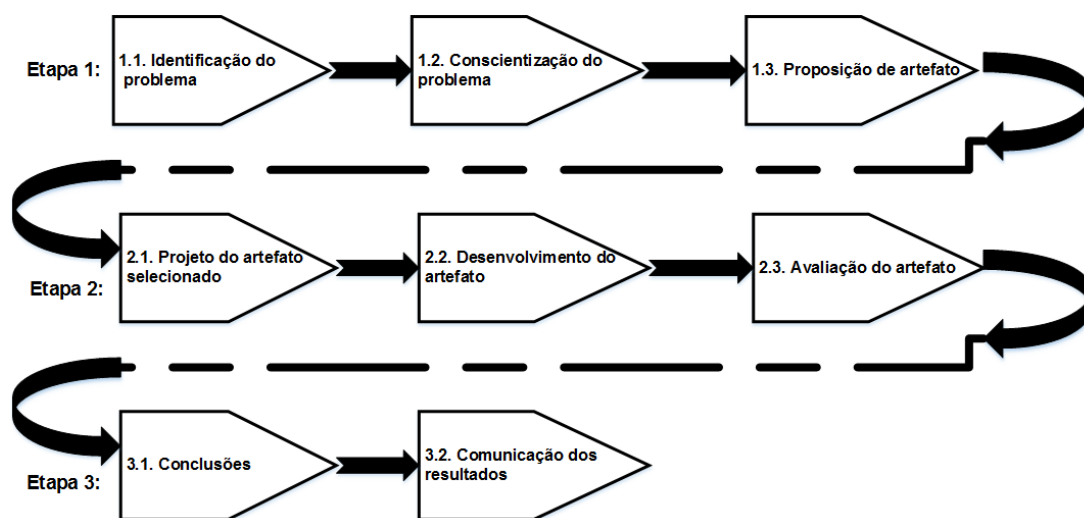


Figura 5 – Etapas do *Design Science Research* utilizadas na pesquisa

Fonte: Adaptado de Dresch (2013)

Esta pesquisa é caracterizada para cada etapa do DSR, conforme segue:

1.1. Identificação do problema: Falta de aplicação de estratégias que solucionam o PRV em situações reais, de maneira que qualquer usuário de microempresas possa obter soluções para o seu dia a dia.

1.2. Conscientização do problema: realizada por meio de levantamentos bibliográficos sobre métodos de solução do PRV baseados em AG e sobre ferramentas computacionais de uso livre propostas para a solução do PRV.

1.3. Proposições de artefatos: Foi gerado um artefato de *software* com objetivo de incorporar uma técnica validada na literatura a uma interface gráfica intuitiva que pudesse ser utilizada no dia a dia de microempresas.

2.1. Projeto do artefato selecionado: Utilização de linguagem programação *web* com *framework* para acelerar o desenvolvimento de interfaces, bem como a inclusão de APIs *Google Maps* para a ilustração e geração de rotas.

2.2. Desenvolvimento do artefato: Baseada nas experiências das pesquisas realizadas no presente trabalho, foi possível desenvolver uma ferramenta computacional com o intuito de microempresas poderem solucionar o PRVC sem a necessidade de ter conhecimentos técnicos acerca de roteamento de veículos.

2.3. Avaliação do artefato: Disponibilização do SGRV para microempresas utilizarem e depois relatarem suas experiências de uso. Tais relatos foram feitos por meio de entrevistas semiestruturadas.

3.1 Conclusões: As discussões sobre os dados coletados por meios das entrevistas estão apresentadas nas seções 4 e 5.

3.2- Comunicação dos resultados: esse passo se concretiza com a publicação de artigos científicos.

3.2. Metodologia para avaliação do SGRV

Na avaliação do SGRV empregou-se a técnica de entrevista semiestruturada. De acordo com Triviños (1987), a entrevista semiestruturada tem como característica questões básicas que são embasadas em teorias e hipóteses ou proposições que se relacionam à temática da pesquisa, seguindo um roteiro. Nesta pesquisa considerou-se o roteiro apresentado abaixo, que contempla seis questões abertas, das quais duas são baseadas parcialmente na norma ISO/IEC 25010 (ABNT, 2011). Para uma melhor compreensão, as questões foram: 1. Como o SGRV poderia contribuir nas entregas de sua empresa?; 2. Comente como foi sua experiência na utilização do SGRV; 3. De que maneira o SGRV poderia ser incorporado em sua empresa? 4. Comente sobre a efetividade do menu ajuda na utilização do SGRV; 5. Agora que já conhece o SGRV, na sua opinião, o que poderia tornar ainda melhor sua experiência com ele?; 6. Qual a sua opinião sobre a utilização de mapas para a visualização das rotas geradas pelo SGRV?

Quatro microempresas utilizaram o SGRV e, durante a entrevista, relataram suas opiniões sobre o seu uso na gestão do roteamento de veículos. Por questões de sigilo e confidencialidade dos dados, os nomes das empresas não são revelados.

A empresa A atua no ramo de produtos naturais, como farináceos, grãos e orgânicos. A empresa B atua no ramo de suporte técnico especializado em vários segmentos da tecnologia de informação. A empresa C é especializada em desenvolvimento de sistemas, suporte e manutenção para os mesmos e, por fim, a empresa D possui comércio varejista de eletrônicos em informática, como acessórios de computador. Todas elas realizam o atendimento de seus clientes de maneira intuitiva, realizando um roteamento sem ferramentas que poderiam auxiliar a otimização de seus serviços.

Cada empresa teve o SGRV à disposição por cerca de um à três dias para sua avaliação, conforme sua disponibilidade. Após esse período foram realizados contatos telefônicos, com o intuito de se conduzir uma entrevista com base no

roteiro anteriormente apresentado. Para validação e análise da presente avaliação qualitativa, as respostas das entrevistas de cada empresa foram transcritas e as interpretações estão apresentadas na seção 4.3.

3.3. Materiais empregados no desenvolvimento do SGRV

Para o desenvolvimento do SGRV foi utilizada a linguagem de programação *web Hypertext Preprocessor* (PHP), pela sua versatilidade e facilidade e integração com *frameworks* de desenvolvimento. O *framework* escolhido foi o Laravel, pelo seus inúmeros recursos (funções) customizados, sendo necessário apenas a integração dos mesmos. Sua utilização propicia um rápido desenvolvimento de *software* no que diz respeito a sua integração a Banco de dados e criação de Interfaces Gráficas *web*.

Também foram empregados recursos como *Cascading Style Sheets* (CSS), por causa da responsividade de janelas da aplicação, além de alguns recursos de *Javascript* para controle de repaginação e edição de dados.

Como método de resolução do PRVC adotou-se a abordagem baseada em Algoritmos Genéticos proposta por Lima, Santos e Araújo (2015), descrita na seção 2.3. Cabe ressaltar que as soluções geradas são desenhadas em mapas georeferenciados, com a utilização da API do *Google Maps*.

4. RESULTADOS

4.1 Ferramenta computacional *web* proposta para gestão de roteamento de veículos

Foram considerados nesta pesquisa cinco *Softwares* para solução do PRV encontrados na literatura, os quais foram analisados com base nos seguintes aspectos: 1. Aplicabilidade (viabilidade de empregar o *software* à alguma realidade prática); 2. Funcionalidade (instalação, configuração, e utilização da ferramenta); 3. Utilização de Mapas; 4. Portabilidade (possibilidade de executar a ferramenta em diferentes sistemas operacionais) e 5. Documentação (manual de utilização e suporte ao *software*). Vale ressaltar que os aspectos 2 e 4 foram inspirados parcialmente na norma ISO 25010 (ABNT, 2011).

Como pode ser visto no Quadro 1 a seguir, dos quesitos analisados, dois se mostraram mais vulneráveis: Funcionalidade e Documentação. Isso pode estar

diretamente ligado ao fato de tais *softwares* não terem sido planejados para uso prático em empresas.

Softwares \ Quesitos	Aplicabilidade	Funcionalidade	Utilização de Mapas	Portabilidade	Documentação
ODLStudio	✓	✗	✓	✓	✗
OptaPlanner	✗	✓	✗	✓	✗
VRP Spreadsheet Solver	✓	✗	✓	✗	✗
LOGVRP	✓	✗	✓	✓	✗
ROTASORV	✓	✗	✓	✓	✗

Quadro 1 – Comparativo dos softwares analisados na pesquisa

Fonte: Autor

4.2 Ferramenta computacional *web* proposta (SGRV)

Nesta seção apresenta-se em detalhes a ferramenta proposta, denominada SGRV – Sistema de Gestão de Roteamento de Veículos, cuja interface está ilustrada na Figura 6. O SGRV propicia o roteamento de cenários reais empregando uma abordagem baseada em Algoritmos Genéticos, proposta originalmente por Lima, Santos e Araújo (2015), para resolver apenas instâncias do PRVC da literatura científica.



Figura 6 – Interface do SGRV

Fonte: Autor

Para se utilizar o SGRV, é necessário o cadastro prévio de depósitos e clientes, para enfim cadastrar pedidos, com suas respectivas demandas (carga ou itens que serão entregues). Quando há pedidos gerados no sistema, é necessário selecionar os pedidos a serem entregues, além de selecionar a partir de qual depósito as entregas serão feitas, bem como o número e a capacidade dos veículos.

O usuário não requer conhecimento de roteamento de veículos para utilizar a ferramenta, mesmo que ele selecione o número de veículos insuficientes para os pedidos selecionados, o SGRV o impedirá de continuar com o roteamento, devendo selecionar novos pedidos, ou ajustar o número de veículos e ou suas cargas para um novo roteamento. Quando as rotas são confirmadas, elas podem ser impressas e distribuídas para os seus respectivos entregadores e, caso não seja confirmada, o processo de seleção de pedidos deverá ser retomado.

Como a proposta foi de se desenvolver uma ferramenta *Web*, não há necessidade de instalação e configuração por parte do usuário e ela pode ser utilizada em diferentes sistemas operacionais por meio de um navegador *web*. Sua utilização foi simplificada de modo que o usuário não tenha dificuldade para gerenciar o cadastro de clientes e pedidos, bem como efetuar o roteamento de veículos nas tarefas de entregas de produtos.

O sistema de Mapas da *Google* é utilizado para traçar os diferentes trajetos que os veículos ou entregadores deverão realizar, como ilustra a Figura 7. Para uma melhor distinção do caminho que será percorrido em cada rota, elas são diferenciadas por meio de cores. Além disso, há uma descrição completa das paradas a serem realizadas pelo entregador, até voltar ao seu ponto de origem.

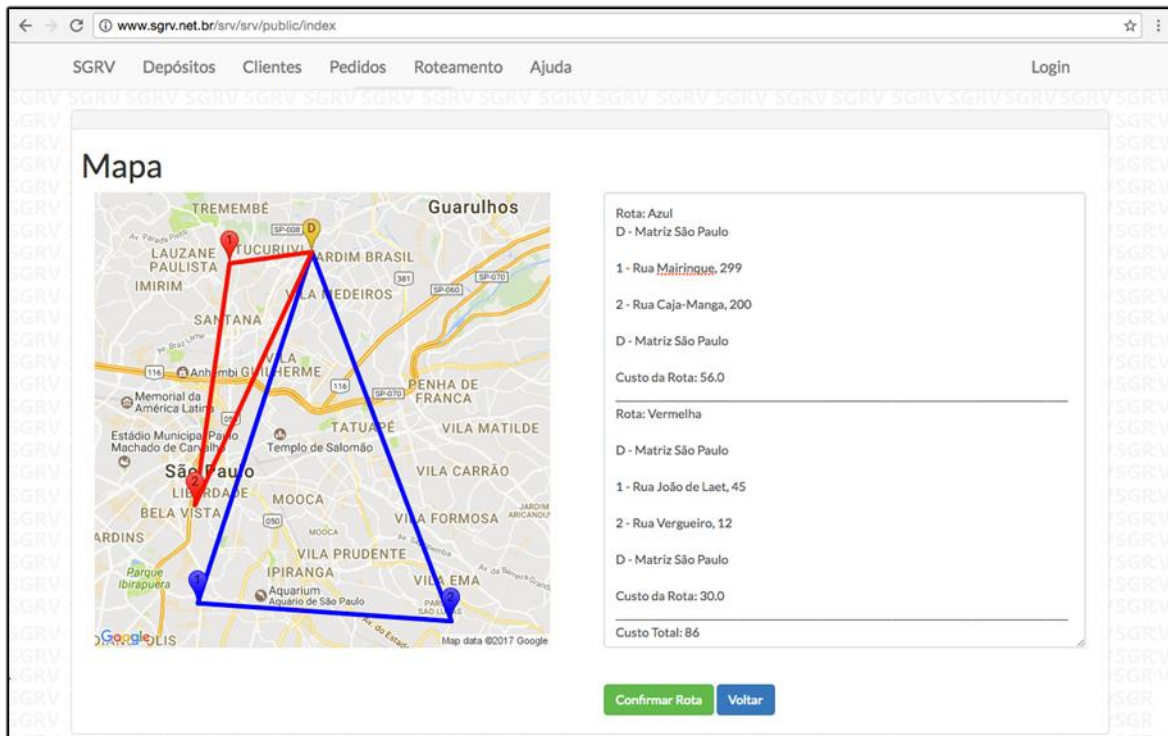


Figura 7 – Sistema de mapas e descrição de cada rota

Fonte: Autor

Com relação à documentação, ponto crítico identificado nas análises realizadas na seção anterior, foi proposto um Manual de uso, no qual o usuário poderá ver um passo a passo para a utilização do SGRV. O objetivo é que o usuário utilize a ferramenta sem a necessidade de um acompanhamento do desenvolvedor, podendo recorrer ao menu Ajuda, caso possua alguma dúvida sobre a utilização do *software*.

O SGRV reúne funcionalidades principais para o dia a dia de uma Microempresa, podendo ser customizado com o intermédio do desenvolvedor. No menu usuário é possível acessar alguns ajustes referentes ao roteamento. Como a abordagem de Lima, Santos e Araújo (2015) parte de uma solução já factível, no caso gerada pelas heurísticas de Gillett & Miller (1974) e Vizinho mais próximo, é possível obter boas soluções rapidamente, como mencionado em Lima (2015).

Em linhas gerais, o SGRV atende os requisitos essenciais de roteamento de veículos e pode ser melhorado permitindo a inclusão ou acoplamento de outros algoritmos de roteamento. O SGRV pode ser acessado, com prévia autorização do autor deste trabalho, pelo link: www.sgrv.net.br.

4.3. Avaliação do SGRV pelas Microempresas

A avaliação da qualidade SGRV foi feita com base nas entrevistas realizadas nas Microempresas (MEs), com a utilização do roteiro composto pelas seis questões apresentadas na seção 3.2, e consiste em uma discussão acerca de suas opiniões.

No que tange a contribuição nas tarefas de entrega de produtos (questão 1 do roteiro), para todas MEs foi evidenciada a efetividade do SGRV. De acordo com a ME A, *“pode contribuir minimizando a demora nas entregas”*, bem como no roteamento *“para traçar as rotas que os nossos técnicos precisarão percorrer para atender e dar suporte ao maior número de clientes”*, de acordo com a ME B. Já as empresas C e D complementam sobre o benefício de sua utilização com os respectivos comentários: *“[...]a rota traçada, conseguirei alcançar o objetivo economizando até mesmo no combustível e nos gastos que eu tenho com meus funcionários”* e *“reduzindo os custos por percorrer a menor quilometragem e diminuindo por consequência o tempo gastos entre as entregas”*.

Com relação a experiência na utilização (questão 2 do roteiro), a ME A comentou: *“A utilização [...] foi fácil e intuitiva”*, já a ME B, relata: *“é uma ferramenta objetiva,[...] e de fácil utilização e é bastante ergonômica e intuitiva”*. A ME D acrescentou: *“Achei de fácil utilização e bem intuitiva”*. Tais respostas confirmam o objetivo alcançado que era a utilização do SGRV sem a necessidade de conhecimentos técnicos acerca do PRV. Nesse quesito, a ME C relatou uma certa dificuldade na utilização do SGRV. Contudo, no seu comentário, deixa claro que ela não utilizou o menu ajuda para facilitar sua experiência: *“não pensei utilizar o menu ajuda primeiramente”*, evidenciando que a ferramenta não foi explorada em sua totalidade.

Com relação à questão 3 do roteiro (de que maneira o SGRV poderia ser incorporado em sua empresa?), todas MEs compreendem que a ferramenta poderia ser implantada em suas atividades internas ou externas pela sua portabilidade, possibilitando o controle de seus serviços de qualquer lugar, pelo fato que o SGRV está em um servidor público.

Com base nas análises das ferramentas computacionais encontradas na internet, nas quais se apurou a falta de documentação para auxílio aos usuários, foi criado um Menu Ajuda para auxílio ao usuário do SGRV e formulada a questão 4 do

roteiro (comente sobre a efetividade do menu ajuda na utilização do SGRV). Na opinião da ME C *“a efetividade do menu ajuda é a chave principal, porque sem a ajuda eu poderia ficar um pouco sem norte”*. As MEs A, B e D relataram que o manual de ajuda acabou se tornando dispensável no período de utilização. Contudo, tal resultado não exclui a importância de sua continuidade, uma vez que ele pode ser um documento para consultas futuras, para aqueles que não possuem tanta facilidade com recursos tecnológicos.

Cada ME comentou também sobre o que poderia melhorar sua experiência com o SGRV (questão 5 do roteiro). A ME A relatou que *“poderia ser incluído um roteamento online, o qual iria mostrar, em tempo real, onde o veículo está”*. Tal sugestão poderia ser implementada com inclusão de sensores nos veículos utilizados, a fim de se monitorar o caminho percorrido. Já a ME B comentou que *“poderia ser incluído um recurso para importação dos registros [...] evitando que o usuário tivesse que cadastrar novos pedidos e clientes”*. A sugestão é de grande valia, podendo ser implementada numa próxima versão do SGRV.

A ME C sugeriu *“a inserção de máscaras de campo como telefone, cpf e cep”* e *“o menu ajuda ser o primeiro, na barra de menu”*. A proposta de máscara consiste em um item interessante para a validação de dados e que poderia ser facilmente incorporado com recursos de *javascript* em versões futuras do SGRV. Com relação à alteração da posição do menu ajuda, ressalta-se que na maioria dos *softwares*, o menu ajuda é a última opção. Talvez algo interessante seria a incorporação de um vídeo tutorial complementando o Menu ajuda, facilitando ainda mais a utilização do SGRV.

Já a ME D pensou na questão de integração do SGRV como uma loja virtual. Isso poderia ser implementado, desde que um módulo de importação de dados de clientes e pedidos fosse incorporado ao SGRV. Contudo, isso suscitaria a necessidade de padronização de campos para ser feita a importação com êxito, evitando o retrabalho.

Com relação à questão 6 do roteiro (Qual a sua opinião sobre a utilização de mapas para a visualização das rotas geradas pelo SGRV?), de maneira unânime as MEs aprovaram a utilização de mapas, pois é possível visualizar como as entregas

serão realizadas, bem como quantos entregadores serão necessários para suprir a demanda.

Considerando que o SGRV demonstrou ser uma ferramenta efetiva e intuitiva aos usuários de MEs, visto que eles conseguiram obter soluções de roteamento e controle de pedido, sem a necessidade de compreender o PRV *a priori*, pode-se dizer que os objetivos da presente pesquisa foram alcançados.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo central desenvolver uma ferramenta computacional *web* para roteamento de veículos, bem como promover sua avaliação qualitativa a partir de algumas experiências de seu uso por microempresas. Para tanto, primeiro realizou-se uma análise de métodos de solução do PRV baseados em Algoritmos Genéticos (AGs) propostos na literatura, bem como a avaliação de algumas ferramentas que solucionam o PRV em cenários reais, disponíveis na literatura.

Sobre o primeiro levantamento, pode-se concluir que muitas estratégias são propostas para o PRV, contudo acabam ficando restritas ao campo científico, que tais estratégias normalmente são avaliadas com base em cenários, nem sempre condizentes com situações reais. Com relação ao segundo levantamento, pode-se dizer que foi de suma importância, pois auxiliou na concepção do SGRV, tendo em vista que essa pesquisa revelou que existem algumas propostas de ferramentas computacionais que solucionam o PRV, mas que não têm uma preocupação pautada na experiência do usuário.

Com base na análise qualitativa das respostas acerca da utilização do SGRV pelas MEs, pode-se concluir que o mesmo alcançou o objetivo de ser intuitivo e um facilitador para se manipular um algoritmo que outrora só poderia ser utilizado com alguns conhecimentos técnicos. Assim, pode-se concluir que os principais objetivos traçados nessa pesquisa foram alcançados.

Como contribuições acadêmicas deste trabalho podem-se citar: i) foi realizada uma análise de alguns métodos propostos na literatura para solução do PRVC, a qual propiciou a percepção da necessidade de uma ferramenta *web* empregando uma estratégia de solução que, até então, era explorada apenas no campo teórico. ii) foi desenvolvida e validada uma ferramenta *web* que incorporou uma estratégia

baseada em Algoritmo Genético, adequada para a solução do PRVC em microempresas, e que pode ser acessada, com prévia autorização do autor dessa dissertação, pelo link: www.sgrv.net.br

REFERÊNCIAS

- ABNT. NBR ISO/IEC 25010 - **Engenharia de Software – Qualidade de Produto Parte 1: Modelo de Qualidade**, Rio de Janeiro, ABNT, 2011.
- BALLOU, R. H. **Logística empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física**. São Paulo : Atlas, 1993.
- BAYAZIT, N. Investigating Design: A Review of Forty Years of Design Research. **Design Issues**, v. 20, n. 1, p. 16-29, 2004.
- BERMUDEZ, C.; GRAGLIA, P.; STARK, N.; SALTO, C.; ALFONSO, H. Comparison of Recombination Operators in Panmictic and Cellular Gas to Solve a Vehicle Routing Problem. **Inteligencia Artificial.**, v.46, p. 34-44, 2010.
- BROOKER, R. J. **Concepts of genetics**. New York: McGraw-Hill, 2012.
- CORDEAU, J. F.; GENDREAU, M.; LAPORTE, G. Tabu search heuristic for the periodic and multi-depot vehicle routing problems. **Networks**, v. 30, p. 105-119, 1997.
- CORDEAU, J. F.; LAPORTE, G.; POTVIN, J. Y.; SAVELSBERGH, M.W.P. Transportation on demand In: C. Barnhart and G. Laporte (eds.). **Transportation, Handbooks in Operations Research and Management Science**, v. 14, p. 429–466, North-Holland, Amsterdam, 2007.
- CHRISTOFIDES, N.; MINGOZZI, A.; TOTH, P. The vehicle routing problem, in: CHRISTOFIDES, N.; MINGOZZI, A.; TOTH, P. (Eds.), **Combinatorial Optimization**, 1979, p.315–338.
- DRESCH, A. **Design Science e Design Science Research como Artefatos Metodológicos para Engenharia de Produção**. São Leopoldo: UNISINOS, 2013. 184 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas), 2013.
- FLEURY, P. F. Planejamento do projeto de pesquisa e definição do modelo teórico. In: MIGUEL, P. A. C. (Coord.). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. ed. 2. São Paulo: Elsevier, 2012.
- FREITAS, Beatriz Damica et al. Programação Distribuída para Otimização de Heurística ILS Aplicada a Problemas do Caixeiro Viajante. **LINKSCIENCEPLACE-Revista Científica Interdisciplinar**, v. 1, n. 1, 2014.

- GILLETT, B.; MILLER, L. R. A heuristic algorithm for the vehicle dispatch problem. **Operations Research**, v. 22, p. 340-349, 1974.
- KUO, R. J.; ZULVIA, F. E.; SURYADI, K. Hybrid particle swarm optimization with genetic algorithm for solving capacitated vehicle routing problem with fuzzy demand – A case study on garbage collection system. **Applied Mathematics and Computation**, v. 219, p. 2574-2588, 2012.
- LAU, H. C. W.; CHAN, T. M.; TSUI, W. T.; PANG, W. K. Application of Genetic Algorithms to Solve the Multidepot Vehicle Routing Problem. **IEEE Transactions on Automation Science and Engineering**, v. 7, n. 2, p. 383-392, 2010.
- LEE, S. L.; NAZIF, H. Optimised crossover genetic algorithm for capacitated vehicle routing problem. **Applied Mathematical Modelling**, v. 36, p. 2110-2117, 2011.
- LIMA, S. J. de A. **Otimização do problema de roteamento de veículos capacitado usando algoritmos genéticos com heurísticas e representações cromossômicas alternativas**. 2015. 101f. Dissertação (Programa de Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Nove de Julho, São Paulo.
- LIMA, S. J. A.; SANTOS, R. A. R. ; ARAÚJO, S. A. Otimização do Problema de Roteamento de Veículos Capacitado Usando Algoritmos Genéticos e as Heurísticas de Gillett e Miller e Descida de Encosta. In: **Anais do XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2015. v. 1. p. 1-15.
- LU, C.; YU, V. F. Data envelopment analysis for evaluating the efficiency of genetic algorithms on solving the vehicle routing problem with soft time windows. **Computers & Industrial Engineering**, v. 63, p. 520-529, 2012.
- MANDAL, S. K.; PACCIARELLI, D.; LOKKETANGEN, A.; HASLE, G. A memetic NSGA-II for the bi-objective mixed capacitated general routing problem. **J. Heuristics**, v.21, p. 359-390, 2015.
- OSABA, E.; DIAZ, F.; ONIERA, E. Golden Ball: a novel meta-heuristic to solve combinatorial optimization problems based on soccer concepts. **Applications Intelligence**, v.41, p. 145-166, 2014.
- REITER, P.; GUTJAHR, W. J. Exact Hybrid Algorithms for solving a bi-objective vehicle routing problem. **CEJOR**. v.20, p. 19-43, 2012.
- SANTOS, R. A. R. ; LIMA, S. J. A. ; ARAÚJO, S. A. . Análise de representações cromossômicas para algoritmos genéticos na solução do problema de roteamento de veículos. In: **XXXVI ENEGEP - XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, v. 1. p. 1-14, João Pessoa, PB, 2016.
- SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**, ed. 3, Florianópolis: PPGE/LED, 2001.

- SOUZA, F. S.; GUARDIA, L. E. T. Aplicação do Modelo de Roteamento e Programação de Veículos à Distribuição de Fardamento destinada aos Postos de Vendas e de Encomendas na Marinha do Brasil. **SPOLM 2007**, p. 1-14, Rio de Janeiro, RJ, 2007.
- TASAN, A. S.; GEN, M. A genetic algorithm based approach to vehicle routing problem with simultaneous pick-up and deliveries. **Computers & Industrial Engineering**, v. 62, p. 755–761, 2011.
- TOTH, P.; VIGO, D. Models, relaxations and exact approaches for the capacitated vehicle routing problem. **Discrete Applied Mathematics**, v. 123, p.487-512, 2000.
- TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em Educação**. São Paulo: Atlas, 1987
- URSANI, Z.; ESSAM, D.; COMFORTH, D.; STOCKER, R. Localized genetic algorithm for vehicle routing problem with time windows. **Applied Soft Computing**, v. 11, p. 5375–5390, 2011.
- VAISHNAVI, V. K.; JR, W. K. **Design Science Research Methods and Patterns: Innovating Information and Communication Technology**. New York: CRC Press, 2015.
- VIEIRA, H. P. **Metaheurística para a solução de problemas de roteamento de veículos com janela de tempo**. 2013, 108f. Dissertação (Mestrado em Matemática Aplicada) – Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.
- XU, H., CHEN, Z. L., RAJAGOPAL, S., ARUNAPURAM, S. **Solving a practical pickup and delivery problem**. Tech report, Technical Report, Department of Systems Engineering, University of Pennsylvania, 2001.
- VIDAL, T.; CRAINIC, T. G.; GENDREAU, M.; LAHRICHI, N.; REI, W. A Hybrid Genetic Algorithm for Multidepot and Periodic Vehicle Routing Problems. **Operations Research**, v.60, n. 3, p. 611-624, 2012.
- WANG, C.; LU, J. An effective evolutionary algorithm for the practical capacitated vehicle routing problems. **J. Intelligence Manufacturing.**, v.21, p. 363-375, 2010.