

UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO - UNINOVE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

RENATO ALESSANDRO ROCHA SANTOS

FERRAMENTA COMPUTACIONAL WEB BASEADA EM ALGORITMOS
GENÉTICOS PARA ROTEAMENTO DE VEÍCULOS

SÃO PAULO

2017

RENATO ALESSANDRO ROCHA SANTOS

**FERRAMENTA COMPUTACIONAL WEB BASEADA EM ALGORITMOS
GENÉTICOS PARA ROTEAMENTO DE VEÍCULOS**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Nove de Julho – UNINOVE, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Prof. Sidnei Alves de Araújo, Dr. – Orientador.

SÃO PAULO

2017

Santos, Renato Alessandro Rocha.

Ferramenta computacional web baseada em algoritmos genéticos para roteamento de veículos. / Renato Alessandro Rocha Santos. 2017.

92 f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2017.

Orientador (a): Sidnei Alves de Araújo.

1. 1.Roteamento de veículos. 2. Ferramenta web. 3. Google maps. 4. Algoritmos genéticos.

I. Araújo, Sidnei Alves de. II. Título.

CDU 658.5

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

DE

Renato Alessandro Rocha Santos

Título da Dissertação: Ferramenta Computacional Web Baseada em Algoritmos Genéticos para Roteamento de Veículos.

A Comissão Examinadora, Composta Pelos Professores Abaixo, Considero(a) o(a) candidato(a) Renato Alessandro Rocha Santos Aprovado.

São Paulo, 22 de fevereiro de 2017.

Prof(a). Dr(a).Sidnei Alves de Araújo (UNINOVE/PPGEP)

Prof(a). Dr(a).Rodrigo Franco Gonçalves (UNIP/PPGEP)

Prof(a). Dr(a).Fabio Henrique Pereira (UNINOVE/PPGEP)

Dedico este trabalho a Deus, aos meus pais, familiares, especialmente aos amigos Auro, Fabricio, e Francisco, que sem a ajuda de cada um, não teria tantas forças para continuar nesta trajetória.

Aos professores do Stricto Sensu, bem como os membros das bancas de qualificação e defesa, além das empresas entrevistadas que colaboraram diretamente e indiretamente no trabalho.

À Uninove, À Diretoria dos Cursos de Informática, e Ao PPGEF, por investirem no meu profissional.

Ao orientador Sidnei pela oportunidade e compreensão no desenvolvimento da pesquisa, e essencialmente a Valéria Curuchi, que continua sendo o combustível de tudo que acredito ser a Docência, inspirando-me a continuar a ser e fazer a Diferença.

AGRADECIMENTOS

Agradecer: mostrar ou manifestar gratidão, render graças... Muitos significados, mas o mais importante e principal: reconhecer...

Reconhecer aqueles que fizeram parte desta história, cheia de desafios e superação.

Primeiramente agradeço à minha mãe Dirce por reacender a chama de minha Fé que em muitos momentos nesta trajetória quase foi apagada...

Ao Cristiano de Loura Santana, pelo apoio e incentivo de começar esta nova jornada acadêmica, principalmente com suas orientações para desenvolver o meu primeiro projeto de pesquisa científica.

Ao prof. Dr. Marcos Alberto Bussab pelo incentivo e apoio incondicional para recomeçar depois de um trauma que abalou minhas estruturas cognitivas, e de me proporcionar um novo desafio: de me tornar mestre em Engenharia de Produção.

Ao prof. Dr. André Felipe Henriques Librantz, por me inspirar e clarificar o que eu realmente poderia contribuir com a pesquisa científica, incentivando-me a não desistir deste desafio.

Ao prof. Dr. Milton Vieira Júnior pelas palavras de incentivo e apoio para superar os entraves da pesquisa científica.

Ao meu grande amigo Fabricio Saab, que me auxiliou e ajudou com seu conhecimento a não desistir deste projeto, mostrando-me que tudo ainda era possível.

Agradeço também aos meus grandes amigos Auro de Jesus Cardoso Correia e Francisco Elânio Bezerra, grandes guerreiros, os quais não me permitiram perder o ânimo nesta árdua jornada da pesquisa científica, completando-me no que faltava e principalmente me inspirando a continuar sem nunca esquecer do nosso objetivo.

Ao professor Paulo Ricardo Batista Mesquita pela Grande ajuda em um dos momentos mais críticos da pesquisa.

Meu muito obrigado ao meu orientador prof. Dr. Sidnei Alves de Araújo, pela oportunidade, pelo conhecimento imensurável, pela paciência em me atender e me orientar, e essencialmente por não desistir de mim em um dos momentos mais difíceis de minha vida.

À Universidade Nove de Julho - Uninove, eu agradeço a bolsa de estudos investida, e por ter realizado o meu sonho de me tornar Docente Universitário, e agora futuro Pesquisador.

E, especialmente aos membros da banca de qualificação e defesa pelo pronto atendimento ao convite, e pela oportunidade de contribuir ainda mais com a nossa dedicação.

“Não há nada como o sonho para criar o futuro.

Utopia hoje, carne e osso amanhã.”

(Victor Hugo)

RESUMO

Nas últimas décadas o Problema de Roteamento de Veículos (PRV) tem sido temática de pesquisas de diversos autores, principalmente por causa de 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 desenvolver 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. Para tanto, inicialmente realizou-se uma pesquisa bibliográfica acerca de métodos de solução para o PRV, a fim de subsidiar a escolha de uma estratégia baseada em Algoritmos Genéticos empregada no SGRV. Em seguida, foi feito um novo levantamento bibliográfico com intuito de encontrar *softwares* de uso livre para a solução do PRV, os quais foram objeto de uma análise que visou balizar a implementação do SGRV. Para o desenvolvimento dessa pesquisa foi empregada a metodologia *Design Science Research*. Uma avaliação qualitativa do SGRV foi realizada por quatro microempresas de diferentes ramos, as quais utilizaram a ferramenta 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.

Palavras-chave: Roteamento de Veículos, Ferramenta *Web*, *Google Maps*, Algoritmos Genéticos.

ABSTRACT

Over the last decades the Vehicle Routing Problem (VRP) has been subject of research of several authors, mainly because of difficulties found in its optimization as well as its application 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, micro enterprises. 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 features and aims to meet the needs of micro enterprises. Therefore, initially it was conducted a literature search about solution methods for VRP, to support the choice of strategy based on genetic algorithms employed in SGRV. Then, a new bibliographic research was made with the purpose of finding free softwares for the VRP solution, which were object of analysis to mark out the development of the SGRV. For the development of this research was used the methodology Design Science Research. A qualitative evaluation of the SGRV was carried out by four microenterprises from different branches, that used the tool for a certain period and, in the end, answered six questions opened from semi-structured interviews. The experiences of these microenterprises were transcribed and the data obtained reveal the effectiveness of the SGRV in the management of its tasks related to the orders and deliveries of products.

Keywords: Vehicle Routing, Web tool, Google Maps, Genetic Algorithms.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Exemplo de roteamento de veículos a partir do centro de distribuição. ...	30
Figura 2 – Ilustração da representação cromossômica proposta por Bermudez et al.	35
Figura 3 – Exemplo de recombinação de informações de dois indivíduos	36
Figura 4 – Ilustração da representação cromossômica proposta por Lee e Nazif.....	37
Figura 5 – Ilustração da representação cromossômica proposta por Lu e Yu	38
Figura 6 – Ilustração da representação cromossômica proposta por Lau et al.	39
Figura 7 – Cromossomo sugerido por Lima, Santos e Araújo	40
Figura 8 – Exemplo da permutação proposto por Lima, Santos e Araújo	40
Figura 9 – Ilustração da representação cromossômica proposta por Lima, Santos e Araújo.....	41
Figura 10 – Abordagem conceitual para qualidade do processo de utilização de um <i>software</i>	42
Figura 11 – Etapas do <i>Design Science Research</i> utilizadas na pesquisa	45
Figura 12 – Interface inicial ODLStudio.....	50
Figura 13 – Interface inicial <i>OptaPlanner</i>	52
Figura 14 – Uma solução para o cenário de trinta e dois clientes	53
Figura 15 – Interface inicial do suplemento	54
Figura 16 – Ilustração de todas as funcionalidades do suplemento	55
Figura 17 – Sistema de Mapas Bing – roteamento otimizado	56
Figura 18 – Interface inicial LOGVRP	57
Figura 19 – Roteamento feito com o ROTASORV	59
Figura 20 – Visão geral do roteamento feito pelo ROTASORV	60
Figura 21 – Comparativo dos softwares analisados na pesquisa.....	61
Figura 22 – Fluxograma geral do SGRV	61

Figura 23 – Interface do SGRV	63
Figura 24 – Sistema de mapas e descrição de cada rota	64
Figura 25 – Menu Configurações	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AG	Algoritmo Genético
API	<i>Application Programming Interface</i>
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CSS	<i>Cascading Style Sheets</i>
DSR	<i>Design Science Research</i>
FLGA	Lógica <i>Fuzzy</i> guiada por um Algoritmo Genético
GAs	<i>Genetic Algorithms</i>
GB	<i>Golden Ball</i>
GM	Algoritmo de Gillett & Miller
GIS	<i>Geographical Information System</i>
HGA	<i>Hybrid Genetic Algorithm</i>
HGSADC	<i>Hybrid Genetic Search with Adaptive Diversity Control</i>
LGA	Algoritmo Genético Localizado
ME	Microempresa – Empresa com receita bruta anual até R\$ 360 mil – BNDES
NSGA	<i>Non-dominated Sorting Genetic Algorithm</i>
OCGA	<i>Optimised Crossover Genetic Algorithm</i>
PCV	Problema do Caixeiro Viajante
PHP	<i>Hypertext Preprocessor</i>
PRV	Problema Roteamento de Veículos
PRVC	Problema de Roteamento de Veículos Capacitado
PRVCDF	Problema de Roteamento de Veículos Capacitado com Demanda <i>Fuzzy</i>
PRVCE	Problema de Roteamento de Veículos com Coleta e Entrega
PRVJT	Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo
SA	<i>Simulated Annealing</i>
SGRV	Sistema de Gestão de Roteamento de Veículos
SOGA	<i>Single Objective Genetic Algorithm</i>
VBA	<i>Visual Basic for Applications</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Conjunto de arestas
c_{ij}	Custo do percurso do vértice i ao vértice j
ct	Custo total do roteiro
cv	Capacidade do veículo
d_i	Demanda de cada cliente
G	Grafo
i	Índice de linha
j	Índice de coluna
k	Índice de veículo
K	Conjunto de veículos
N	Conjunto de nós
nc	Número de clientes
S	Conjunto de Clientes
$v(S)$	Número mínimo de veículos para atender S
x_{ijk}	Percurso do vértice i ao vértice j com o veículo k

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	20
1.2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	26
1.3. OBJETIVOS:.....	26
1.3.1. Objetivo Geral:	26
1.3.2. Objetivos Específicos:	26
1.4. DELIMITAÇÃO DO ESTUDO.....	26
1.5. JUSTIFICATIVA E CONTRIBUIÇÕES.....	27
1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	28
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	29
2.1. PROBLEMA DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS	29
2.1.1. Problema de Roteamento de Veículos Capacitado.....	30
2.2. ALGORITMOS GENÉTICOS	32
2.2.1. Métodos de solução do PRV baseados em AG	34
2.2.2. Algumas representações Cromossômicas do Algoritmo Genético para a Solução do Problema de Roteamento de Veículos.....	34
2.2.2.1. Representação Cromossômica 1	35
2.2.2.2. Representação Cromossômica 2	36
2.2.2.3. Representação Cromossômica 3	37
2.2.2.4. Representação Cromossômica 4	38
2.2.2.5. Representação Cromossômica 5	39
2.2.3. Análise resumida das Representações Cromossômicas investigadas ..	41
2.3. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS.....	42
3. MÉTODOS E MATERIAIS	45
3.1.MÉTODOS DE PESQUISA.....	45
3.2. MATERIAIS EMPREGADOS	47

3.3.METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DAS FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS PARA ROTEAMENTO DE VEÍCULOS ENTRADAS NA LITERATURA CIENTÍFICA.....	47
3.4. METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DO SGRV	48
4. RESULTADOS.....	50
4.1. ANÁLISE DAS FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS PARA ROTEAMENTO DE VEÍCULOS ENCONTRADAS NA LITERATURA CIENTÍFICA.....	50
4.1.1. ODLstudio	50
4.1.2. <i>OptaPlanner</i>	51
4.1.3. <i>VRP Spreadsheet Solver</i>	54
4.1.4. LOGVRP	57
4.1.5. ROTASORV	58
4.2 FERRAMENTA COMPUTACIONAL WEB PROPOSTA PARA GESTÃO DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS.....	61
4.3. AVALIAÇÃO DO SGRV PELAS MICROEMPRESAS	66
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71
APÊNDICES	75
APÊNDICE A - PUBLICAÇÕES RESULTANTES DAS PESQUISAS REALIZADAS DURANTE O MESTRADO	75
APÊNDICE B – ROTEIRO EMPREGADO NAS ENTREVISTAS COM AS ME	76
APÊNDICE C – MANUAL DE USO DO SGRV	77
APÊNDICE D – RESPOSTAS OBTIDAS NAS ENTREVISTAS COM AS ME.....	87

1. INTRODUÇÃO

A logística consiste em três atividades primárias: Transportes, Manutenção de estoques e Processamento de pedidos. Entre as três, a mais importante é a atividade de transporte, pois 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 PRV é um problema de otimização combinatória, originado do Problema do Caixeiro Viajante (PCV), que consiste na visita de um Caixeiro em determinadas cidades, partindo e voltando de uma cidade de origem, visitando uma única vez cada cidade.

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, a complexidade do problema aumenta para soluções exatas.

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 aberto 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 deverá 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 requer a 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, podendo ter seu desempenho aprimorado com inserção de técnicas de inicialização populacional, fazendo o AG gerar novas gerações a partir de pontos mais promissores, ou também o refinamento de uma solução obtida baseada em algum critério de parada, conforme discutido em detalhes nos trabalhos pesquisados e comentados a seguir.

Lee e Nazif, (2011) implementaram o AG com operador de cruzamento otimizado (OCGA) para solução do PRVC. Nesse trabalho foram realizados diversos experimentos e, para a validação dos resultados, foram empregadas instâncias do problema propostas por Christofides (1979) e Taillard (1993). Para enfatizar a qualidade da técnica, os resultados foram comparados aos resultados de outros trabalhos com diferentes técnicas e ou abordagens para as mesmas instâncias. Os experimentos demonstraram uma competitividade entre o algoritmo proposto aos demais comparados (aferindo uma qualidade quando o algoritmo confirmou uma solução conhecida e até mesmo a superação da mesma).

Bermudez et al. (2010) compararam a recombinação de operadores em diferentes populações de Algoritmo Genético como solução do PRVC. Para a validação dos dados foram utilizadas as instâncias CMT. A proposta foi de comparar os operadores PMX (combina informações de dois indivíduos), ERX (foca na ligação entre clientes (nós)), e BRBAX (transmite as melhores rotas (grupo de clientes) a um novo indivíduo da população), aplicados a populações distintas de AG. Os resultados

evidenciam que a incorporação dos operadores supracitados gera melhora e acurácia ao método.

Lu e Yu (2012) combinaram diferentes operadores e parâmetros de um Algoritmo Genético para a solução do PRV com coleta e entrega e com janelas de tempo flexíveis. A estratégia proposta utilizou as instâncias de Solomon (1987) baseadas inicialmente para problemas com Janela de Tempo, mas com adaptação para o tema da pesquisa. O principal objetivo da proposta foi a otimização por meio de quatro operadores de cruzamento, como o *1PX* (Um ponto de corte randômico), o *CX* (Cruzamento preservando uma parte do cromossomo de um Indivíduo para um nova prole, trocando material genético em pontos específicos com outros descendentes), o *PMX* (Combina informações de dois indivíduos) e o *LOX* (Dois pontos de cortes selecionados de maneira randômica), além de quatro operadores de mutação (1 – migrando um cliente de maneira aleatória, 2 – Preservando o melhor cliente; 3 – Migrando clientes com janela de tempo similar; e 4 – Reordenando clientes pela rota selecionada). A validação dos resultados não foi comparada com os melhores resultados da literatura científica pelo fato de ser a primeira proposta de otimização para a solução do problema investigado. No entanto, os autores contribuíram com *benchmarks* para outras pesquisas visando a solução do problema investigado.

Lau et al. (2010) implementaram uma proposta com a Lógica *Fuzzy* guiada por um Algoritmo Genético (FLGA) para a solução do PRV com múltiplos depósitos. Nesta pesquisa foi utilizado um AG padrão e seus parâmetros de cruzamento e mutação foram ajustados por meio da Lógica *Fuzzy*, a cada dez gerações consecutivas. Para validação da estratégia foram utilizadas trinta e três instâncias de Cordeau et al (1997). Os resultados obtidos foram comparados com os melhores resultados conhecidos para o problema, e comparados com os resultados de outras quatro técnicas (*Branch and Bound*, AG padrão, *Simulated Annealing* e *Tabu search*). Nas trinta e três instâncias utilizadas o FLGA confirmou vinte e dois melhores resultados conhecidos, e comparado com as outras técnicas superou a maioria, evidenciando a qualidade da estratégia.

Lima, Santos e Araújo (2015) propuseram abordagens heurísticas para a melhoria e otimização de um AG padrão na solução do PRVC. A estratégia consistiu em utilizar heurísticas com dois propósitos: para que o AG inicie sua população com soluções factíveis (Gillet & Miller), e uma outra para refinar as soluções geradas após

um determinado número de gerações sem melhoria (Descida de Encosta). Para a validação da estratégia, foram utilizadas duas instâncias da literatura científica: TSPLIB e Christofides. A estratégia apresentou boas soluções com um tempo computacional aceitável, confirmando a maioria dos resultados conhecidos, ou chegando muito próximos deles.

Kuo, Zulvia e Suryadi, (2012) desenvolveram um Algoritmo Enxame de Partículas que utiliza os operadores genéticos de um AG para a solução do PRV com demanda *Fuzzy* (PRVCDF). A proposta utilizou a técnica de Enxame de Partículas como melhor solução global, a qual foi aprimorada na combinação de operadores de cruzamento e mutação do AG (HPSOGA). A Validação da estratégia foi realizada com a utilização das instâncias: Chen, gr-n24-k4 e Swiss42. Os experimentos evidenciaram, boa performance do método para o problema de pesquisa tratado, não somente pelas soluções, mas também pela sua estabilidade e rapidez.

Dalfard, Kaveh e Nosratian, (2012) implementaram duas estratégias, uma com Algoritmo genético Híbrido (HGA) e outra com *Simulated de Annealing* (SA), para solução do PRV com capacidade heterogênea para diferentes rotas (foram utilizadas duas escalas de capacidade distintas), restringindo também a distância máxima percorrida de cada veículo. A estratégia híbrida com AG consistiu em uma mescla de rotinas de SA, além de outras heurísticas para inicialização da população. Já a outra estratégia foi uma fusão do SA com alguns operadores genéticos. Os resultados obtidos com ambas estratégias foram comparados com os resultados extraídos da ferramenta denominada LINGO 8, considerando uma instância de até vinte nós. Tal comparação evidenciou que ambas propostas apresentaram boas soluções com rápida convergência e um pequeno desvio padrão.

Masum et al. (2011) desenvolveram um AG otimizado com inserção de heurísticas para solução do PRV. A otimização do AG consistiu em: reparar indivíduos não factíveis e aplicar penalidades no processo de seleção. Os resultados dos experimentos evidenciam boas soluções, entretanto em muitos casos não foram constatados os melhores resultados.

Osaba, Diaz e Oniera, (2014) criaram uma nova meta-heurística denominada *Golden Ball* (GB) proposta como solução para o Problema do Caixeiro Viajante (PCV) e o PRVC, a qual foi comparada com diferentes abordagens de Algoritmo genético (AG). GB consiste, de modo geral, no treinamento de um time, possuindo uma população denominada jogadores e uma subpopulação chamada time. Cada ciclo de

da estratégia representa semanas de treinamento. Os times são treinados para competições, podendo os jogadores e treinadores trocarem de time, quando a temporada acaba. O processo é repetido até o critério de parada escolhido ser atingido. A validação da nova meta-heurística consistiu na sua comparação com diferentes propostas de AG, com operadores de Mutação distintos além de AGs paralelizados, na solução das instâncias de Christofides e Eilton. Os experimentos realizados sugerem que GB é uma boa alternativa para solução dos problemas considerados.

Wang e Lu (2010) propuseram um método híbrido com Algoritmo Genético para solução do PRVC. A proposta consistiu em criar a população inicial com o uso de heurísticas, explorando a capacidade de diversificação da população do AG. Foram utilizadas instâncias da literatura com até cem nós para validação da solução proposta. Nos experimentos realizados os autores consideraram o método proposto, em termos de qualidade de solução, mas destacaram como ponto fraco o tempo computacional.

Vidal et al. (2012) propuseram um Algoritmo Genético Híbrido (HGSADC) como solução para o PRVC com múltiplos depósitos e entrega periódica. A estratégia consiste na manipulação de soluções factíveis e não factíveis, as quais são separadas em dois subgrupos, combinando operadores para a seleção de novos indivíduos, e busca local para repará-los. Foram realizados experimentos com as instâncias de Cordeau et al. (1997), os quais, segundo os autores, revelaram que o método adotado propiciou boa qualidade nas soluções, quando comparadas aos resultados conhecidos na literatura científica.

Reiter e Gutjahr (2012) combinaram *Branch-and-cut* com dois Algoritmos Genéticos (SOGA e NSGA-II) na solução do PRVC, também usando função de avaliação bi-objetivo. Foram analisadas cinquenta e quatro instâncias da TSPLIB para a validação das estratégias. Os experimentos mostraram a capacidade das abordagens propostas em solucionar e otimizar pequenas e médias instâncias. Em adição, os autores relataram que não foram observadas diferenças significativas entre as estratégias.

Tasan e Gen (2011) propuseram uma abordagem do AG para a solução do PRV com coleta e entrega simultânea. Para a validação da estratégia foram utilizadas instâncias propostas por Augerat et al. (1995). Os resultados foram comparados com os resultados conhecidos da literatura científica e com os resultados obtidos pela

ferramenta CPLEX. Segundo os autores, a qualidade da estratégia com AG pode ser evidenciada em decorrência do tempo de processamento e dos bons resultados obtidos.

Ursani et al. (2011) criaram um esquema denominado Algoritmo Genético Localizado (LGA) para a solução do PRV com Janelas de tempo. A estratégia foi validada com base nas instâncias propostas por Solomon (1987) e seus resultados foram comparados com os resultados alcançados por outras estratégias propostas por diferentes autores. No geral, boa parte dos resultados se igualou aos resultados conhecidos para algumas das instâncias analisadas.

É importante ressaltar que os autores supracitados propuseram versões próprias do AG, ilustrando a versatilidade da técnica, que pode ter seu desempenho melhorado, seja pela formulação de sua representação cromossômica, mas também pela calibração de seus operadores ou mesmo pela inserção de heurísticas.

Contudo, 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, considerando os últimos seis anos, tal escolha de período se deu pela atualidade e relevância dos artigos sobre resolução do PRV usando Algoritmos Genéticos.

O objetivo principal das análises feitas nos trabalhos encontrados foi investigar uma representação cromossômica compacta que pudesse ser empregada para gerar soluções para o PRV com baixo custo computacional, no que tange o tempo de processamento. Os resultados obtidos a partir de tais análises estão descritos na seção 2.2.2 e foram reportados em Santos, Lima e Araújo (2016).

Também foi conduzida neste trabalho uma revisão da literatura científica (apresentada na seção 4) com o intuito de encontrar e descrever algumas ferramentas computacionais disponíveis para a solução do PRV.

A partir dessas revisões, propôs-se uma ferramenta *Web* para otimização do PRVC, denominada Sistema de Gestão de Roteamento de Veículos (SGRV). Em adição, foi com base nas análises descritas na seção 2.2.2 que se escolheu a abordagem proposta por Lima, Santos e Araújo (2015) para ser empregada no SGRV, uma vez que ela obedece aos critérios determinados e apresenta resultados promissores no que diz respeito a qualidade das soluções.

A ferramenta proposta foi desenvolvida 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 controle de pedidos e roteamento de veículos.

1.2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Pretende-se com a presente pesquisa responder a seguinte pergunta: 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?

1.3. OBJETIVOS:

Para um melhor entendimento, os objetivos foram separados em objetivo geral e objetivos específicos.

1.3.1. Objetivo Geral:

Desenvolver uma ferramenta computacional para roteamento de veículos, de maneira a incorporar uma abordagem promissora encontrada na literatura, e que possa ser manuseada com facilidade por usuários finais.

1.3.2. Objetivos Específicos:

Analisar métodos de solução do PRV propostos na literatura científica entre os anos de 2010 e 2016;

Avaliar ferramentas de uso livre disponíveis na internet que solucionam o PRV em cenários reais.

Desenvolver e promover a avaliação da ferramenta computacional desenvolvida, do ponto de vista qualitativo, a partir de experiências de seu uso por algumas microempresas.

1.4. DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Como existem diversas estratégias na literatura que solucionam o PRV, escolheu-se uma abordagem, baseada em Algoritmo Genético, proposta por Lima, Santos e Araujo (2015), que soluciona o PRV considerando apenas a restrição de

capacidade do veículo, ou seja, o PRVC. Tal escolha foi balizada por uma análise realizada em trabalhos propostos na literatura entre os anos de 2010 e 2016, a qual é apresentada na seção 2.2.2.

Nos levantamentos bibliográficos realizados nesta pesquisa foram consideradas as principais bases de periódicos, a partir dos portais CAPES e Proquest.

Foram convidadas sete Microempresas (MEs) para avaliarem a ferramenta, contudo apenas quatro concordaram em participar e colaborar com suas experiências de uso do SGRV.

Embora a área de logística possua três atividades primárias, a ferramenta computacional proposta neste trabalho está relacionada com apenas duas delas: Transportes e Processamento de pedidos.

1.5. JUSTIFICATIVA E CONTRIBUIÇÕES

Na realidade da logística empresarial, a atividade de transporte representa a maior parte dos custos de uma empresa (BALLOU, 1993). Devido a este fato, faz-se necessário utilizar ferramentas que permitam otimizar esses custos, a partir da minimização da distância percorrida e, principalmente, de um melhor aproveitamento dos recursos disponibilizados, como por exemplo, a capacidade de um veículo.

Microempresas infelizmente realizam suas entregas de maneira intuitiva, já que para elas as ferramentas de roteamento normalmente têm custo elevado.

No campo científico muitas estratégias são desenvolvidas para solucionar o PRV, nas mais variadas restrições, contudo elas se restringem a cenários fictícios, uma vez que não são projetadas para uma empresa utilizar em seu cotidiano.

Nesse contexto, a presente pesquisa tem como principal contribuição adaptar uma estratégia que soluciona o PRVC no campo científico para que ela possa ser empregada na solução de problemas de transporte em microempresas. Para isso foi necessário o desenvolvimento de uma aplicação dotada de uma interface gráfica intuitiva, com a preocupação pautada na sua utilização por usuários que não necessariamente possuam conhecimentos acerca do PRV.

1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado em seis capítulos, descritos a seguir:

No Capítulo 1 é feita a introdução da pesquisa de maneira contextual, também apresenta-se a formulação do problema de pesquisa, bem como os objetivos gerais e específicos, a delimitação do estudo e também a justificativa e contribuições da presente pesquisa.

No Capítulo 2 é apresentada a fundamentação teórica: define-se o Problema de Roteamento de veículo, bem como a ramificação mais clássica: o PRVC, abordada no trabalho. Também se apresentam a definição de Algoritmo Genético e uma revisão da literatura científica sobre Representações Cromossômicas.

No Capítulo 3, primeiro é apresentada a caracterização da pesquisa. Em seguida, apresentam-se os materiais empregados no desenvolvimento da ferramenta computacional proposta, por fim, é descrita a metodologia de avaliação da ferramenta.

No Capítulo 4 é feita uma análise de algumas ferramentas computacionais de uso livre para roteamento de veículos, a fim de mensurar alguns resultados que contribuíram para o desenvolvimento da ferramenta proposta. Por fim, apresenta-se o SGRV, bem como sua avaliação com base nas opiniões de quatro microempresas sobre o seu uso.

No Capítulo 5 são apresentadas conclusões sobre a avaliação qualitativa, bem como recomendações para a continuidade do trabalho.

Após a apresentação dos capítulos são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas para o embasamento teórico do trabalho e, em seguida, são apresentados os trabalhos publicados resultantes desta dissertação, além de outros documentos relacionados a pesquisa, que estão reunidos nos Apêndices.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. PROBLEMA DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS

O PRV situa-se na gestão de veículos e distribuição de produtos. Empresas e organizações estão engajadas em entregas e coletas de bens, que na prática os objetivos e as restrições são variáveis. Neste enfoque, algoritmos e *softwares* são desenvolvidos para um número específico de problemas, de maneira otimizada, podendo ser adaptados para diferentes contextos (CORDEAU et al., 2007).

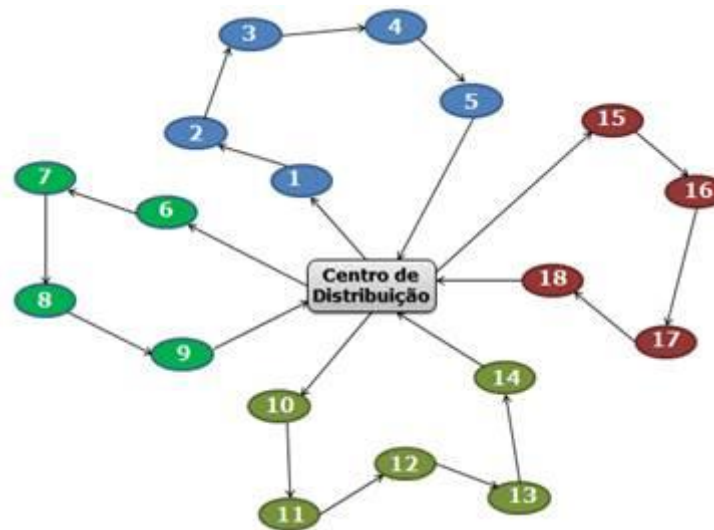
Devido a sua complexidade de solução, o PRV tem despertado a atenção de pesquisadores no mundo inteiro e se caracteriza basicamente como o planejamento de um conjunto de veículos partindo de um ou mais depósitos.

De modo geral, a solução do PRV consiste em construir um conjunto de rotas para os 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 roteamento, a Figura 1 demonstra um roteamento de veículos no qual cada cliente foi atendido com determinada demanda, sendo necessário quatro veículos (cada rota é atendida por um veículo capacitado) para atender os dezoito 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 deve ter sua carga máxima 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 . Quando $c_{ij} = c_{ji}$, problema é reconhecido como simétrico, do contrário, o problema é identificado como assimétrico.

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

Neste contexto, o PRVC consiste resumidamente em encontrar um conjunto de rotas. Cada rota deve ser percorrida por um veículo, com o objetivo de minimizar o custo total do roteiro (conjunto de rotas) respeitando as seguintes restrições: 1- Cada

rota deve iniciar e terminar no mesmo depósito; 2- Cada cliente deve ser atendido uma única vez e por um mesmo veículo; 3 - A soma das demandas dos clientes incluídos em uma rota não deve exceder a capacidade do veículo.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Em que:

- d_i : demanda do cliente i ;
- k : Número de veículos;
- K : conjunto de veículos;
- S : conjunto de clientes;
- nc : Número de clientes;
- $v(S)$: número mínimo de veículos para atender S ;
- c_{ij} : custo do percurso do vértice i ao vértice j ;
- ct : custo total do roteiro (conjunto de rotas);

cv : 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 garantido, 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 .

Por causa dos problemas combinatórios, caracterizados como NP-difícil, a resolução exaustiva se torna inviável na prática. Uma meta-heurística muito utilizada é o Algoritmo Genético, pela sua possibilidade de incorporar outras técnicas a fim de aprimorar o seu resultado, bem como pelo seus resultados promissores. Na seção a seguir, será comentado sobre a técnica.

2.2. ALGORITMOS GENÉTICOS

A Computação Evolucionária representa um conjunto de técnicas de busca e otimização concebidas da evolução natural das espécies. Desta forma, cria-se uma população de indivíduos que vão reproduzir e competir pela sobrevivência. Os mais aptos sobrevivem e transferem suas características genéticas a novas gerações (BANZHAF, 1998).

O desenvolvimento de simulações computacionais evolutivas teve seu início no século XX, nas décadas de 50 e 60, John Holland foi quem iniciou as pesquisas sobre o tema. David Edward Goldberg, seu aluno na década de 80, foi o precursor com uma aplicação industrial com AG, os quais são utilizados para solucionar problemas de otimização e aprendizado de máquinas até hoje (GOLDBARG; LUNA, 2005).

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.

Não obstante, 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 conhecido 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.

Um cromossomo bem estruturado (ou representado) leva a soluções mais otimizadas para um problema, as quais são avaliadas por uma função objetivo que determina se os cromossomos são aptos ou não (LINDEN, 2012).

O cruzamento consiste na recombinação dos genes dos indivíduos mais aptos, gerando descendentes mais aptos ainda para a próxima geração. Com um determinado número de gerações os indivíduos tendem a não se diversificarem mais. Neste caso aplica-se a mutação em uma taxa determinada 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. Neste enfoque, na próxima seção foi realizado um levantamento sobre métodos de solução do PRV baseados no AG.

2.2.1. Métodos de solução do PRV baseados em AG

Na literatura científica se encontram diversas propostas para a solução e otimização para o PRV. Para fins de delimitação do tema aqui estudado, realizou-se uma revisão bibliográfica sobre métodos envolvendo a utilização do Algoritmo genético (AG), na qual pode-se verificar diversas estratégias. Entre elas, pode-se citar os trabalhos a seguir relacionados, já comentados na Introdução: Lee e Nazif (2011); Bermudez et al. (2010); Lu e Yu (2012); Lau et al. (2010); Lima, Santos e Araújo (2015); Kuo, Zulvia e Suryadi (2012); Dalfard, Kaveh e Nosratian (2012); Masum et al. (2011); Osaba, Diaz e Oniera, (2014); Wang e Lu (2010); Vidal et al. (2012); Mandal et al. (2015); Reiter e Gutjahr (2012); Tasan e Gen (2011); e Ursani et al. (2011).

A estratégia escolhida para ser empregada no SGRV foi a de Lima, Santos e Araujo (2015). Tal escolha foi balizada por uma análise, apresentada a seguir, das diferentes representações cromossômicas utilizadas pelo AG na solução do PRV.

2.2.2. Algumas representações Cromossômicas do Algoritmo Genético para a Solução do Problema de Roteamento de Veículos

O modelo matemático básico apresentado na seção 2.1.1 sugere a codificação de soluções (representação cromossômica) para o PRV usando AG, por meio de uma matriz binária tridimensional na qual as linhas estão associadas com os veículos, as colunas com os clientes e a profundidade com a ordem de visita. A utilização do modelo matemático com representações cromossômicas diferentes é possível, desde que a solução codificada na representação empregada seja recodificada para a matriz binária de três dimensões x_{ijk} .

Essa codificação binária, além de dispendiosa, em termos de custo computacional, tem se mostrado pouco eficiente no que tange a diversidade populacional, essencial para propiciar a convergência do AG para ótimos globais. Assim, nos diversos trabalhos encontrados na literatura científica, muitas são as representações cromossômicas utilizadas no AG para codificar as soluções do PRV.

Neste contexto, a exploração de formas mais eficientes de codificação de soluções no AG, torna-se um importante objeto de estudo, principalmente quando se necessita implementar aplicações práticas para solução do PRV que sejam robustas e de baixo custo computacional.

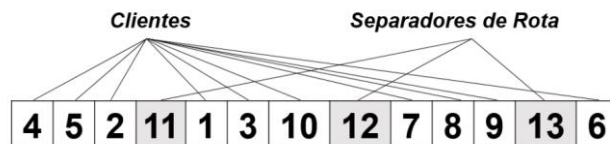
Nos itens 2.2.2.1 a 2.2.2.5 apresentam-se as discussões acerca de cinco diferentes formas de representações cromossômicas no AG para solução do PRV oriundas de trabalhos apresentados na introdução. Como se verifica, as formas de codificação podem envolver cromossomos binários ou inteiros. É importante observar, em ambos os casos, como as rotas são separadas e também a questão relacionada à geração de soluções não factíveis quando aplicado o operador de cruzamento, pois são fatores importantes para a qualidade das soluções encontradas.

A escolha desses cinco trabalhos levou-se em conta o nível de detalhes fornecidos na proposta de codificação das soluções do PRV no cromossomo do AG.

2.2.2.1. Representação Cromossômica 1

Bermudez et al. (2010) propuseram uma representação por meio de números inteiros, à qual são aplicadas permutações para gerar as possíveis soluções do PRV. Cada rota é composta de clientes entre dois separadores de rota. É importante ressaltar que o conceito de separador de rota não é comentado pelos autores, apesar da sua importância para a representação. A ordem do vetor determina a sequência de atendimento dos clientes por diferentes veículos, ficando implícito na representação o início e o retorno de cada veículo para o depósito, como ilustra a Figura 2.

Figura 2 – Ilustração da representação cromossômica proposta por Bermudez et al.

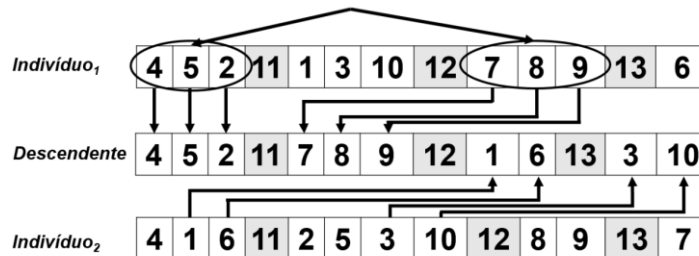


Adaptado de: Bermudez et al. (2010)

Para a otimização das rotas são feitas permutações usando operadores de cruzamento que: (a) combinam informações de dois indivíduos, como ilustrado na Figura 3; (b) focam na ligação entre clientes (nós) e (c) transmitem as melhores rotas

(grupo de clientes) a um novo indivíduo da população. Tais operadores tiveram seus resultados comparados e analisados pelos autores.

Figura 3 – Exemplo de recombinação de informações de dois indivíduos



Adaptado de: Bermudez et al. (2010)

Com base na figura 2, a explicação encontrada a respeito do separador de rota é o número de seu índice, sendo atribuído por meio do seguinte raciocínio: um cromossomo pode ter de 1 a n clientes. Uma vez definido n (no exemplo, 10), o separador de rota recebe este valor incrementado de 1 a cada vez que se faz necessária a separação de uma nova rota (no exemplo os índices 11, 12 e 13 separam os clientes em diferentes rotas).

Para otimização do processo são utilizados três operadores de mutação: um que seleciona o gene, seja um cliente ou uma rota separadora, reinserindo aleatoriamente em um outro lugar para o mesmo tipo de gene; outro que consiste na seleção de dois genes e a mudança entre eles; e um terceiro aplicando a ideia do primeiro e segundo operadores para cada indivíduo com igual probabilidade.

2.2.2.2. Representação Cromossômica 2

Lee e Nazif, (2011) adotaram também uma representação usando números inteiros. Contudo, eles não deixam claro como é feita a separação de rotas em sua abordagem, enfatizando que a inclusão de um bit separador de rotas inviabiliza a validade de um indivíduo, ou seja, o número de soluções não factíveis poderia aumentar. Na Figura 4, é possível ver um exemplo com a roteirização de doze clientes, sendo que o índice do vetor representa a ordem de entrega.

Figura 4 – Ilustração da representação cromossômica proposta por Lee e Nazif

<i>Rota N.º. 1:</i>	0	2	3	1	4	0						
<i>Rota N.º. 2:</i>	0	5	6	10	0							
<i>Rota N.º. 3:</i>	0	8	9	7	11	12	0					
<i>A codificação inteira do cromossomo é:</i>												
	2	3	1	4	5	6	10	8	9	7	11	12

Adaptado de: Lee e Nazif (2011)

Os autores propuseram ainda otimizações no operador de cruzamento para determinar possivelmente novos indivíduos para a recombinação, as quais eles denominaram “*O-Child*” e “*E-Child*”. Contudo, é de difícil compreensão como é feito tal processo de otimização, e qual operador de cruzamento foi otimizado. Como a estratégia evita soluções não factíveis, é provável que se faça uma verificação dos elementos de cada vetor, a fim de avaliar se há números iguais, mas esta explicação fica apenas na interpretação do leitor.

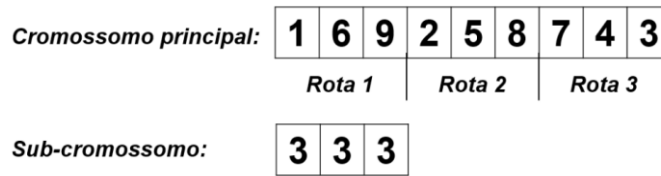
Pode-se analisar ainda que são utilizados dois operadores de mutação com probabilidades iguais (um na inversão de dois pontos selecionados; e outro atua na randomização entre dois pontos e a troca entre eles). Em adição, é utilizado um operador de seleção com elitismo porém, se houver dois indivíduos iguais na elite, um é preservado e o outro é randomizado, gerando um outro diferente para aumentar a diversidade populacional.

Nos experimentos realizados, a estratégia proposta foi comparada com resultados conhecidos na literatura científica, levando-se em conta a performance e qualidade das soluções encontradas.

2.2.2.3. Representação Cromossômica 3

Lu e Yu (2012) não diferente dos anteriores, propuseram uma representação empregando números inteiros, com um diferencial em relação às outras propostas: a adoção de um subcromossomo representando o número de clientes em cada rota. Na Figura 5 é apresentado um exemplo com nove clientes, podendo-se notar que existem três rotas com três clientes cada. A ordem do vetor determina a sequência de entrega.

Figura 5 – Ilustração da representação cromossômica proposta por Lu e Yu



Adaptado de: Lu e Yu (2012)

Os autores não explicam como a estratégia evita soluções não factíveis, apenas ilustram e comentam o processo de otimização pela utilização de operadores de cruzamentos (quatro propostas são evidenciadas) de mutação (mais quatro variações são propostas) e métodos de seleção (três tipos foram utilizados). Contudo não fica evidente quais os operadores foram utilizados e como foram implementados. Assim, suas análises se limitam à comparação dos resultados entre operadores.

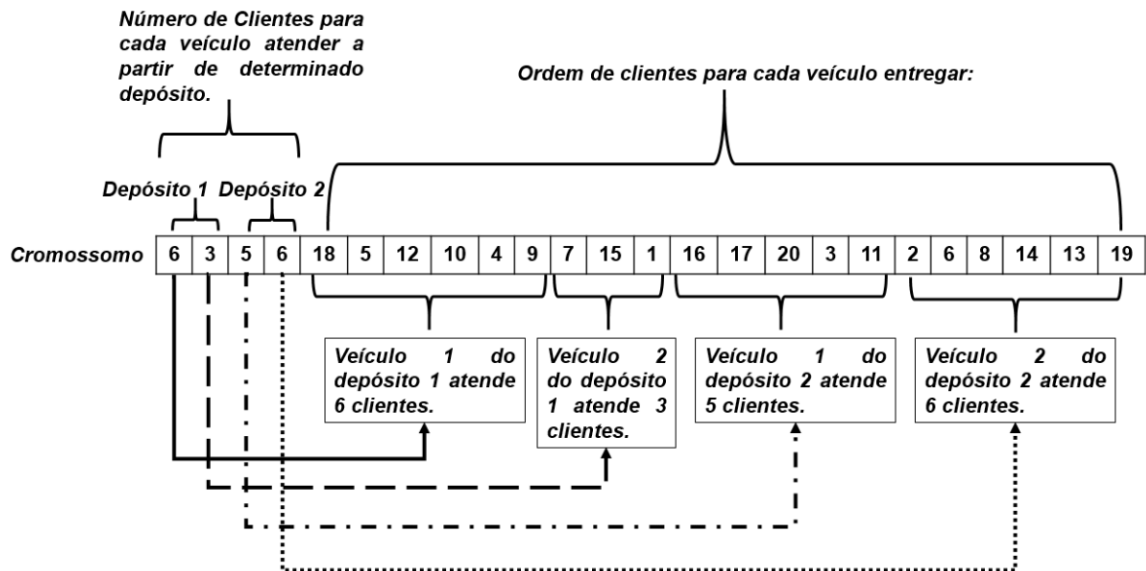
2.2.2.4. Representação Cromossômica 4

Lau et al. (2010) adotam também uma representação cromossômica por números inteiros para o PRV com múltiplos depósitos, com um novo diferencial, as primeiras posições do cromossomo representam o número de clientes que cada veículo vai atender, bem como de qual depósito o veículo partirá a fim de efetuar as entregas, por exemplo, na figura 6 é ilustrado um cromossomo cuja as quatro primeiras posições do vetor representam os veículos, e os seus índices, o número de clientes que cada veículo irá atender, partindo dois do primeiro depósito e dois do segundo. Nesta representação o critério de como se roteirizou os veículos em depósitos distintos, fica subtendido pelas falta de detalhes.

Para se evitar os indivíduos não factíveis os autores adotam um ciclo de reparação, o qual consiste na verificação dos elementos do vetor. Contudo, não ficou claro se ela é uma boa alternativa para diminuir soluções não factíveis.

A estratégia foi comparada com resultados conhecidos na literatura científica para o problema investigado, evidenciando a qualidade da técnica.

Figura 6 – Ilustração da representação cromossômica proposta por Lau et al.



Adaptado de: Lau et al. (2010)

2.2.2.5. Representação Cromossômica 5

Lima, Santos e Araújo (2015), diferenciando-se das outras propostas, propuseram uma representação binária para solução do PRVC. Para a otimização dos roteiros, parte do cromossomo, denominada índice para permutação, a qual é usada para permutar os clientes associados aos veículos. A Figura 7 exemplifica a representação cromossômica proposta para solução de uma instância do PRVC com sete clientes e dois veículos. As sete primeiras colunas de cada linha indicam os clientes a serem atendidos por um veículo, enquanto as seis 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.

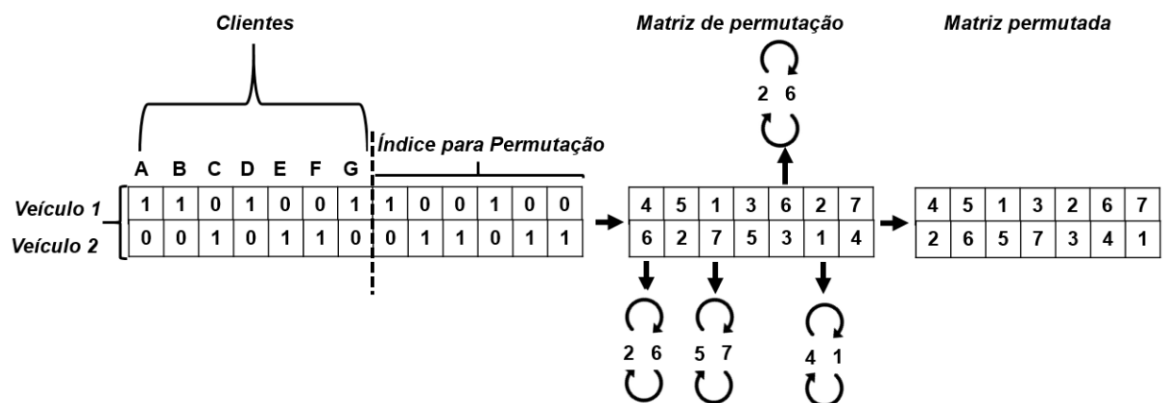
Figura 7 – Cromossomo sugerido por Lima, Santos e Araújo

	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

Adaptado de: Lima, Santos e Araújo (2015)

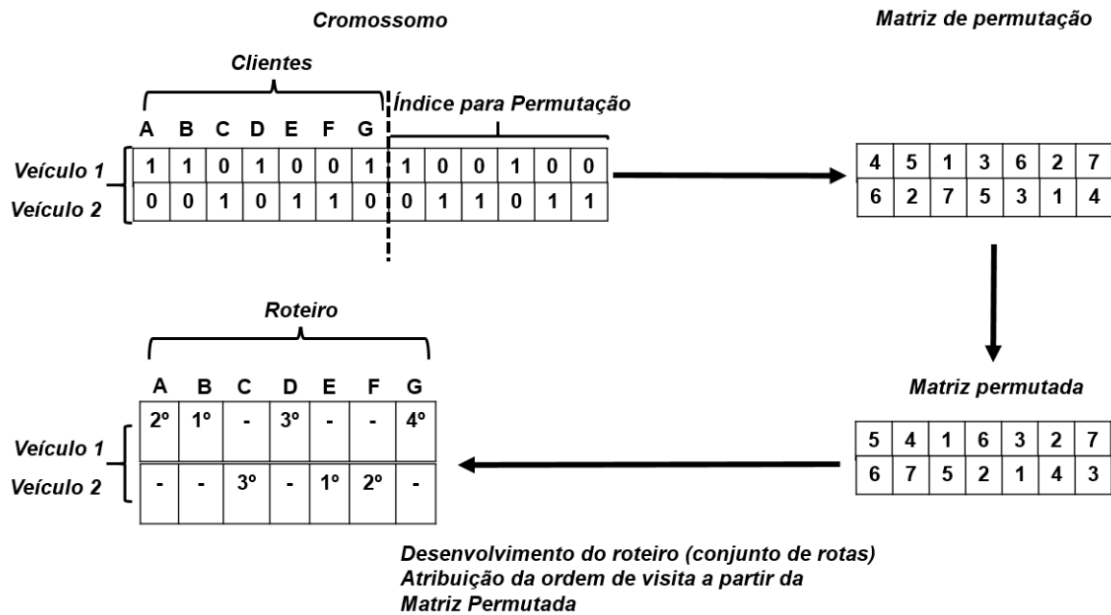
Nas Figuras 8 e 9 pode-se observar o processo de permutação. A matriz de inteiros que representa as rotas, denominada Matriz de Permutação, quando combinada com os cromossomos, resulta em diferentes matrizes permutadas, ou diferentes conjuntos de rotas. Cada matriz permutada tem como objetivo definir a ordem em que os clientes devem ser atendidos pelos veículos.

Figura 8 – Exemplo da permutação proposto por Lima, Santos e Araújo



Adaptado de: Lima, Santos e Araújo (2015)

Figura 9 – 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 não factíveis após aplicação do operador de cruzamento. Os resultados experimentais foram comparados com resultados ótimos conhecidos na literatura científica, evidenciando a qualidade da estratégia.

2.2.3. Análise resumida das Representações Cromossômicas investigadas

Os trabalhos analisados apresentam propostas diferenciadas de representação cromossômica para o PRV, sendo mais utilizada a representação por números inteiros.

É válido acrescentar que a compreensão das estratégias propostas ficou prejudicada pela falta de detalhes, imprescindíveis para reprodução dos experimentos descritos. Foi percebido que, de um modo geral, não há muita preocupação no detalhamento da codificação do cromossomo, que constitui um ponto crucial e importante pois, dependendo de como é feita tal codificação, pode-se obter resultados diferenciados e ganho de performance na solução do problema.

Outro ponto a se destacar é o fato de que não se encontrou neste levantamento abordagens práticas para o PRV resultante das estratégias propostas. Os trabalhos ficam restritos ao âmbito teórico focando na otimização de cenários fictícios, conhecidos como “instâncias da literatura”.

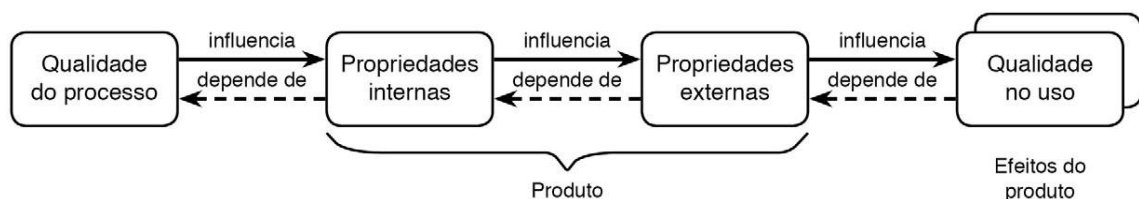
2.3. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

Para Bartié (2002) o processo de qualidade de *software* é uma maneira de garantir que o ciclo de desenvolvimento do *software* produza de modo efetivo tudo o que foi planejado e previsto na metodologia empregada, bem como que a ferramenta esteja de acordo com os requisitos documentados.

O desenvolvimento de *software* baseado em alguma norma de Qualidade de *software* é utilizado normalmente como um guia, isto é, no que diz respeito ao controle das especificações iniciais do sistema, durante todo o processo de implementação até a entrega final ao consumidor. Com esta ótica, existem muitas normas voltadas para o desenvolvimento de qualquer ferramenta computacional, como é o exemplo da ISO/IEC 25010, a qual propõe que a qualidade interna e externa de um *software* como fatores de suma importância para o desenvolvimento de uma ferramenta computacional (ABNT, 2011).

Como pode ser observado da Figura 10, as qualidades internas e externas de uma ferramenta computacional, combinadas, tornam-se uma referência de qualidade, podendo influenciar sua utilização, isto é, quanto mais funcional o *software*, mais ela será utilizada pelo seu usuário.

Figura 10 – Abordagem conceitual para qualidade do processo de utilização de um *software*



Fonte: ISO/IEC 25010 (ABNT, 2011)

É importante acrescentar que as normas ligadas a Qualidade de *software* restringem-se às boas práticas, ou seja, a qualidade de uma ferramenta está pautada

na sua utilização pelo usuário, cabendo ao mesmo aferir se ela condiz, ou não, com a sua expectativa (KOSCIANSKI; SOARES, 2007).

Portanto, as normas, de modo geral, são guias para o processo de desenvolvimento de sistemas, e muitas vezes são pré-requisitos impostos por quem contrata o desenvolvimento.

A norma ISO/IEC 25010 é uma das referências para o desenvolvimento de *software*. Ela é usada essencialmente para aferir a qualidade de qualquer processo de *software* e está organizada em características e subcaracterísticas, que podem nortear a qualidade de um produto final, servindo como um Modelo de Qualidade de Produto. (ABNT, 2011).

O modelo de qualidade é formado por oito características, as quais possuem subcaracterísticas:

1– Adequação funcional: representa o grau em que um produto ou sistema fornece funções que atendem às necessidades declaradas e implícitas quando usadas sob condições determinadas. Suas subcaracterísticas são: Completude funcional; Correção funcional e Adequação funcional.

2– Eficiência de desempenho: representa o desempenho relativo à quantidade de recursos utilizados nas condições indicadas. Suas subcaracterísticas são: Tempo de comportamento, Utilização de recursos e Capacidade.

3– Compatibilidade: Grau em que um produto, sistema ou componente pode trocar informações com outros produtos, sistemas ou componentes e ou executar as funções requeridas, enquanto compartilha o mesmo ambiente de *hardware* ou *software*. Suas subcaracterísticas são: Coexistência e Interoperabilidade.

4– Usabilidade: Grau a que um produto ou sistema pode ser usado por um grupo de usuários para atingir os objetivos especificados com eficácia, eficiência e satisfação, em um contexto especificado de uso. Suas subcaracterísticas são: Reconhecimento de adequação, Aprendizagem, Operabilidade, Proteção de erro do usuário, Estética da interface do usuário e Acessibilidade.

5– Confiabilidade: Grau em que um sistema, produto ou componente executa funções especificadas em condições especificadas por um período de tempo especificado. Suas subcaracterísticas são: Maturidade, Disponibilidade, Tolerância ao erro e Recuperabilidade.

6– Segurança: Grau em que um produto ou sistema protege as informações e os dados de modo que as pessoas ou outros produtos ou sistemas tenham o grau de acesso aos dados adequado aos seus tipos e níveis de autorização. Suas subcaracterísticas são: Confidencialidade, Integridade, Não repúdio, Prestação de contas e Autenticidade.

7– Manutenibilidade: representa o grau de eficácia e eficiência com que um produto ou sistema pode ser modificado para melhorá-lo, corrigi-lo ou adaptá-lo às mudanças no ambiente e nos requisitos. Suas subcaracterísticas são: Modularidade, Reutilização, Analisabilidade, Modificabilidade e Testabilidade.

8– Portabilidade: Grau de eficácia e eficiência com que um sistema, produto ou componente pode ser transferido de um *hardware*, *software* ou outro ambiente operacional ou de uso para outro. Suas subcaracterísticas são: Adaptabilidade, Instalabilidade e Substituição. (ABNT, 2011).

Quando a ferramenta atinge os objetivos traçados e principalmente atende a todos requisitos solicitados pelo consumidor, e por conseguinte, está em conformidade com a norma de Qualidade de software, o desenvolvimento de qualquer ferramenta se torna sinônimo de qualidade, ou seja, há uma maior garantia que o novo *software* atenderá às necessidades e expectativas do consumidor final.

Em linhas gerais, a qualidade de uma ferramenta computacional sempre estará relacionada de acordo com o levantamento de requisitos estabelecidos por um cliente. A norma apenas ajudará para que esses requisitos sejam atendidos a fim de satisfazer as características do produto informado, e por conseguinte às necessidades do cliente.

3. MÉTODOS E MATERIAIS

Nesta seção abordam-se com detalhes as características metodológicas da presente pesquisa, bem como são apresentadas as etapas realizadas de acordo com a sua ordem de execução. Por fim são descritos os materiais utilizados no desenvolvimento da ferramenta computacional proposta.

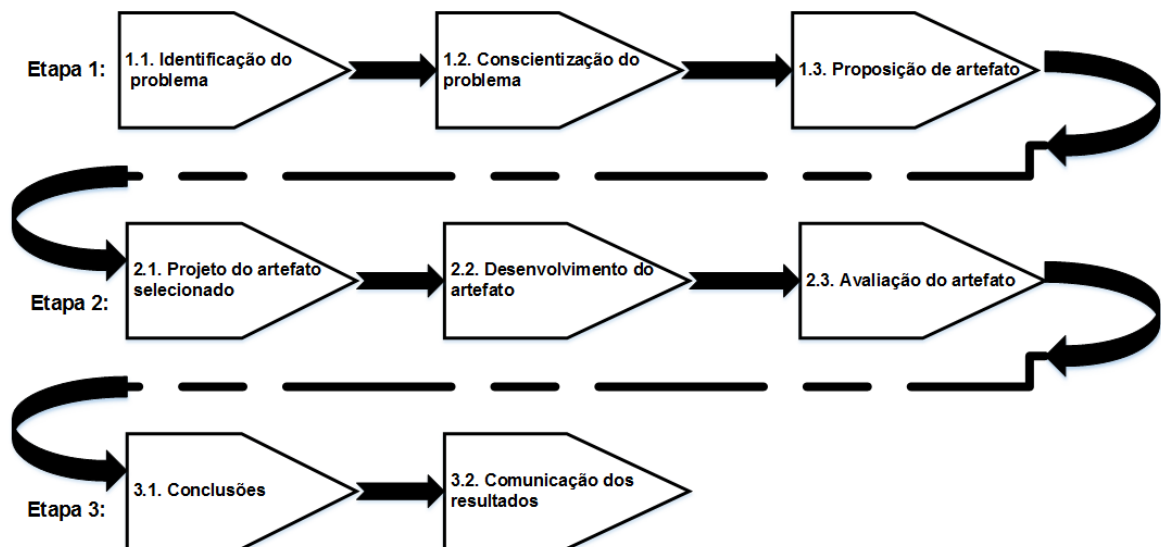
3.1.MÉTODOS DE PESQUISA

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).

Embora um processo de desenvolvimento de *software* e um processo DSR sejam semelhantes, as atividades desenvolvidas são consideravelmente diferentes. Além disso, 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 11.

Figura 11 – Etapas do *Design Science Research* utilizadas na pesquisa



Adaptado de: Dresch (2013)

Para cada processo do DSR a presente pesquisa é caracterizada, conforme segue:

1.1. Identificação do problema: Falta de aplicação de estratégias que solucionam o PRV para 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 levantamento bibliográfico, por meio de uma análise sobre representações cromossômicas 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 científica a uma interface gráfica intuitiva e que possa 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: Pautado nas duas pesquisas bibliográficas realizadas no presente trabalho. Na primeira foi evidenciada a ausência de abordagens que solucionam o PRV em cenários reais, enquanto na segunda foi possível verificar que existem ferramentas computacionais que até solucionam o PRV, mas que não são adequadas para a utilização de usuários finais, como as microempresas. Assim, foi possível desenvolver uma de ferramenta computacional para roteamento de veículos que pudesse ser utilizada no dia a dia de microempresas.

2.3. Avaliação do artefato: Disponibilização da ferramenta desenvolvida para microempresas utilizarem e, posteriormente, relatarem suas experiências por meio de entrevista semiestruturada com perguntas abertas.

3.1 Conclusões: As discussões sobre os dados coletados por meios das entrevistas estão descritas no Capítulo 5.

3.2- Comunicação dos resultados: Dois artigos resultantes das pesquisas realizadas nesta dissertação foram publicados em importantes congressos da área de Engenharia de Produção. O primeiro deles, publicado no ENEGEP 2016, teve como objetivo analisar representações cromossômicas do AG visando, principalmente, fornecer subsídios para implementação de aplicações robustas e de baixo custo

computacional. Já o segundo, publicado no SIMPEP 2016, consistiu na realização de uma pesquisa bibliográfica acerca de *softwares* de uso livre para a solução do PRV, bem como na apresentação do SGRV. Tais artigos são apresentados na íntegra, no Apêndice A.

3.2. MATERIAIS EMPREGADOS

Para o desenvolvimento do SGRV foi utilizada a linguagem de programação *web* PHP, pela sua versatilidade e facilidade e integração com *frameworks* de desenvolvimento. O *framework* escolhido foi o Laravel, pelo seus inúmeros recursos (funções) já 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 uma Interface Gráfica *web*. Recursos como CSS, por causa da responsividade de janelas da aplicação, bem como layouts da aplicação como um todo. Além de alguns recursos de *Javascript*, no que diz respeito a repaginação e boas práticas para segurança em edição de dados equivocadas, isto é, na exclusão ou edição de qualquer tipo de dados, o usuário necessita confirmar a ação antes de prosseguir, evitando perda de dados involuntárias.

Como método de resolução do PRV adotou-se a estratégia baseada em Algoritmos Genéticos proposta por Lima, Santos e Araújo (2015), descrita na seção 2.2.2.5. Cabe ressaltar que as soluções geradas são plotadas em mapa georeferenciados, com a utilização da API do *Google Maps*.

3.3. METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DAS FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS PARA ROTEAMENTO DE VEÍCULOS ENTRADAS NA LITERATURA CIENTÍFICA

Foram considerados nesta pesquisa cinco *Softwares* para solução do PRV encontrados na literatura científica, 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/IEC 25010 (ABNT, 2011).

Uma vez definidos os aspectos, a análise de cada ferramenta computacional encontrada consistiu nos seguintes passos: 1- Instalação da ferramenta computacional; 2- Estudo do material de apoio, seja vídeo tutorial, ou manual quando foram encontrados; 3- Utilização do *software*; 4- Análise de cada *software* com base na experimentação formal do pesquisador, considerando os aspectos enumerados anteriormente. Cabe ressaltar que tal avaliação serviu como subsídio para o desenvolvimento do SGRV.

3.4. METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DO SGRV

Na avaliação do SGRV empregou-se a técnica de entrevista semiestruturada, a qual, de acordo com Triviños (1987), 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 no apêndice B, que contempla seis questões abertas, das quais duas são baseadas parcialmente na norma ISO/IEC 25010 (ABNT, 2011).

Para uma melhor compreensão, seguintes questões foram formuladas:

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 a ferramenta *web* poderia ser incorporada 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 *software* proposto e, durante a entrevista, relataram suas opiniões sobre o uso da ferramenta proposta 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. Já 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. A empresa D

possui comércio varejista de eletrônicos em informática, tais como acessórios de computador.

Todas empresas fazem o atendimento de seus clientes de maneira intuitiva, realizando um roteamento sem ferramentas que poderiam auxiliar na 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 feitos contatos telefônicos com o intuito de se realizar uma entrevista com base no roteiro apresentado no Apêndice B. Para validação e análise da presente avaliação qualitativa, as respostas coletadas durante a entrevista em cada empresa foram transcritas e estão apresentadas no Apêndice D.

4. RESULTADOS

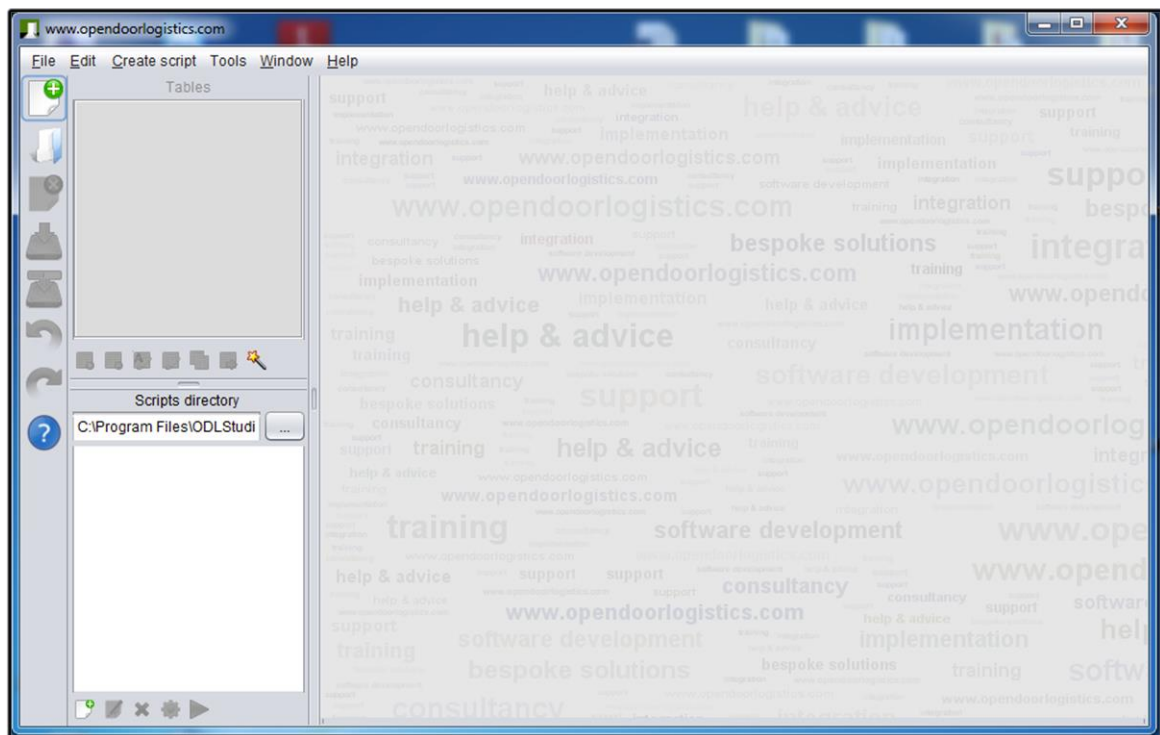
4.1. ANÁLISE DAS FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS PARA ROTEAMENTO DE VEÍCULOS ENCONTRADAS NA LITERATURA CIENTÍFICA

Nesta seção apresentam-se cinco *Softwares* para solução do PRV encontrados na literatura científica.

4.1.1. ODLstudio

O ODLStudio¹, cuja interface está ilustrada na Figura 12, foi desenvolvido por Philip Welch, o qual fundou em 2014 a empresa *Open Door Logistics*.

Figura 12 – Interface inicial ODLStudio



Fonte: *Open Door Logistics*¹

ODLStudio, em relação a aplicabilidade pode ser empregado tanto no campo prático quanto no teórico, pois é possível inserir endereços de entregas reais, ou fictícios. Contudo, a sua customização possivelmente só pode ser feita pela própria empresa, pois navegando pelos menus da ferramenta, não são encontrados itens que permitam ajustes ou inserção de novos módulos.

¹ Disponível em: <http://www.opendoorlogistics.com/new-version-released-vehicle-fleet-scheduling/>

Quanto à sua usabilidade, é de fácil instalação, possuindo duas versões (X64 e X86) para Windows, não necessitando configurações extras. Contudo, a ferramenta não é intuitiva, possuindo diversos ícones espalhados na interface, tornando a navegação confusa e de difícil compreensão. Por esta razão fica evidente a necessidade de um treinamento prévio para utilizá-lo. O sistema de mapas utilizado para plotar as rotas foi o GIS (*Geographical Information System*).

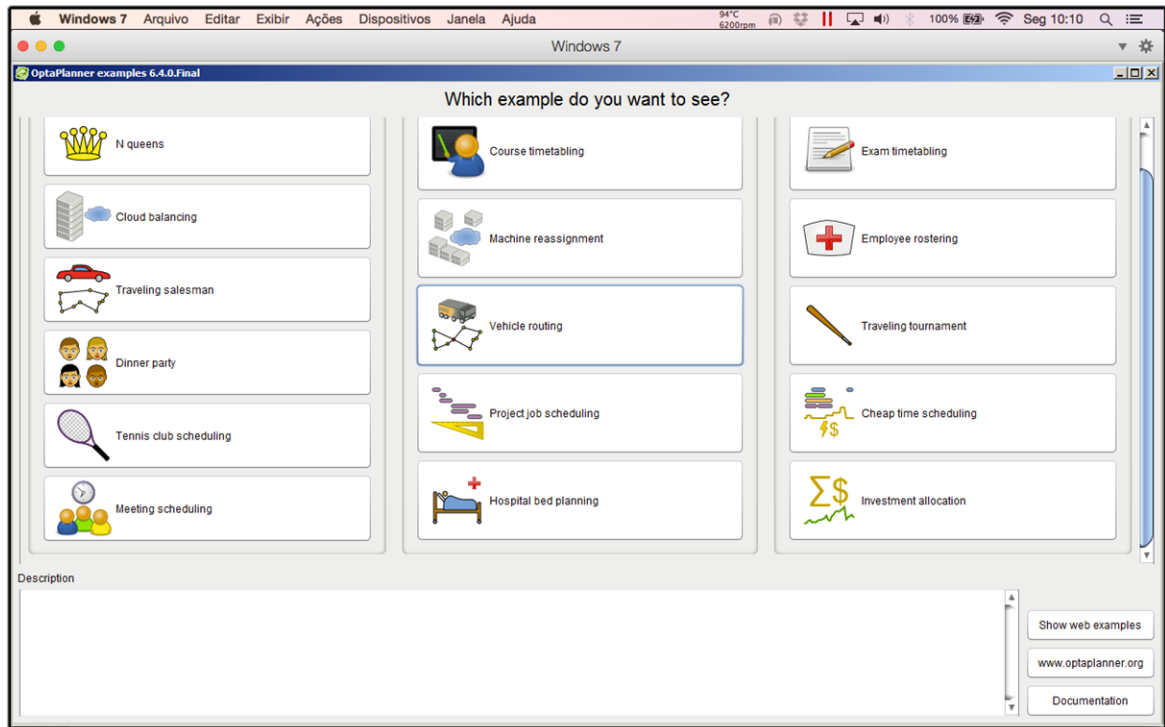
No que diz respeito à portabilidade, além de ter sido desenvolvido para o Windows, ele pode ser utilizado no MacOs e no Linux, por meio de um executável em Java (.jar), não necessitando instalação. A documentação do *software* é descrita por meio de tutoriais e o suporte pode ser prestado diretamente pela empresa, por meio da contratação dos seus serviços. Especificamente para o roteamento de veículos, é disponibilizado um vídeo ilustrando a sua utilização.

Em resumo, a ferramenta como um todo não está adequada para utilização sem um treinamento ou estudo específico para o seu manuseio. Mesmo com a utilização dos tutoriais e vídeo (passo a passo) da ferramenta de roteamento disponíveis, a experiência de um leigo pode se tornar frustrante pela complexidade da ferramenta e pela ausência de configurações automatizadas.

4.1.2. *OptaPlanner*

O *OptaPlanner*² (Figura 13) foi desenvolvido pela empresa *JBOSS* criada por Marc Fleury, com uma parceria de outra empresa, no caso a *RedHat*. Neste projeto há uma série de exemplos de problemas de pesquisa em sua interface inicial. Para fins de análise, foi utilizado o roteamento de veículo (*vehicle routing*) seguindo os quesitos definidos na presente pesquisa.

² Disponível em: <http://www.optaplanner.org/>

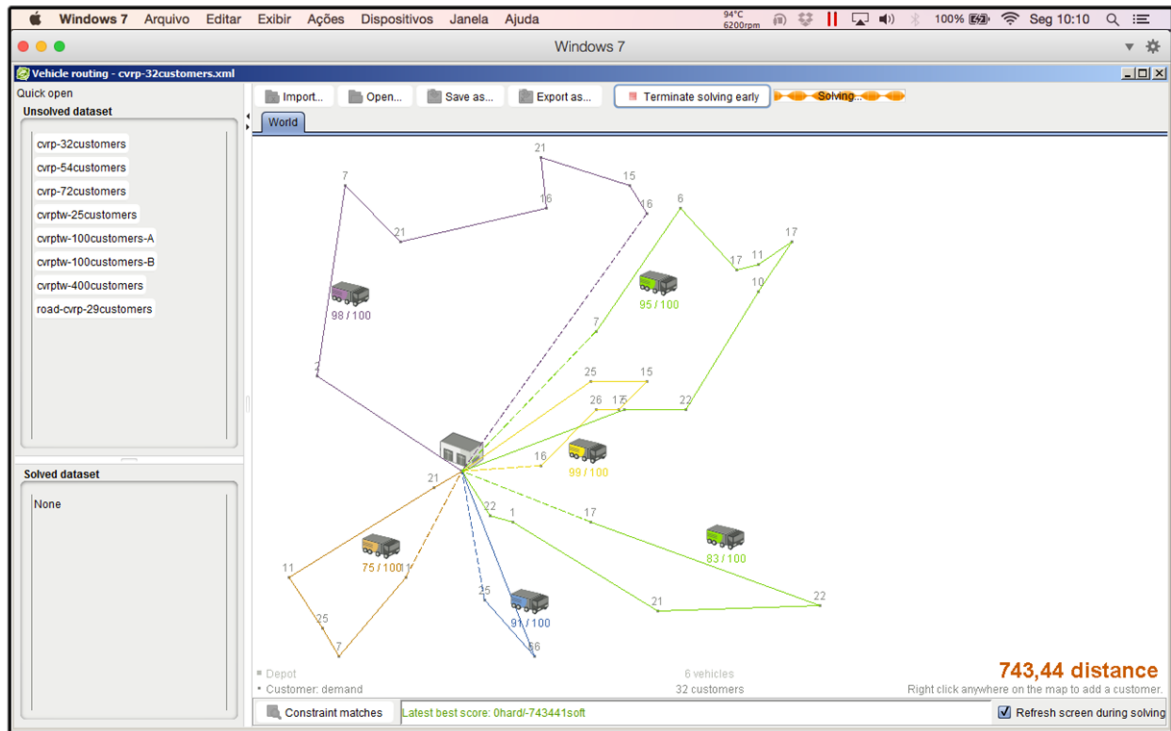
Figura 13 – Interface inicial *OptaPlanner*

Fonte: *OptaPlanner*

No roteamento de veículos, sua aplicabilidade é restrita a cenários fictícios, sem a possibilidade de inserir endereços de localização geográfica, para ilustrar cenários reais. Assim, não é possível customizar o seu código para algum cenário realístico. Contudo, ele pode ser utilizado como referência para desenvolver aplicativos semelhantes, ou para ter uma compreensão sobre cada situação que permeia o problema.

Com relação a usabilidade, não há necessidade de instalação e não requer configuração. Para utilizar a ferramenta, somente é necessário importar um cenário e selecionar o botão “*Solve*” para efetuar o roteamento, com base no cenário importado. Caso o usuário desejar incluir mais clientes no cenário, apenas é necessário pressionar o botão direito no cenário roteirizado, no local desejado, para adicionar cada cliente. Na Figura 14 é possível visualizar uma solução para um cenário com trinta e dois clientes.

Figura 14 – Uma solução para o cenário de trinta e dois clientes



Fonte: *OptaPlanner*

Nesta ferramenta não é utilizado nenhum tipo de sistema de mapa, mas ela pode ser executada em diferentes sistemas operacionais, pelo fato de ter sido desenvolvida em Java, que se adéqua a diferentes ambientes.

A sua documentação se restringe a breves comentários de cada exemplo do *OptaPlanner*, ilustrando apenas um diagrama da ideia geral de cada desenvolvimento.

De modo geral, a ferramenta é apenas ilustrativa e também para exemplificação de problemas de pesquisa, não possuindo aplicação comercial. Mesmo sem um detalhamento, a sua utilização foi intuitiva. Por fim, vale ressaltar que o *software* possui uma outra versão *Web* que exemplifica o roteamento de veículos com sistema de mapas. Contudo não há um detalhamento de como virtualizar tal página, dificultando uma análise.

4.1.3. VRP Spreadsheet Solver

O VRP *Spreadsheet Solver*³ foi desenvolvido por um grupo de trabalho da Associação das Sociedades de Pesquisa Operacional Europeias. Ele pode ser utilizado como um suplemento Excel, como ilustrado na Figura 15, desde que o office da Microsoft esteja instalado, especificamente a ferramenta de planilha eletrônica (Excel).

Para ter acesso a planilha com o suplemento, é necessário fazer cadastro na página principal do projeto.

Figura 15 – Interface inicial do suplemento

Sequence	Parameter	Value	Remarks
0.Optional - GIS License	Bing Maps Key		You can get a free key at https://www.bingmapsportal.com/
1.Locations	Number of depots	1	[1,20]
	Number of customers	10	[5,200]
2.Distances	Distance / duration computation	Bing Maps driving distances (km)	
	Bing Maps route type	Fastest	Recommendation: use Fastest
	Average vehicle speed	70	Not used for the 'Bing Maps driving distances' options
3.Vehicles	Number of vehicle types	1	Heterogeneous VRP if greater than 1
4.Solution	Vehicles must return to the depot	Yes	Open VRP if no return
	Time window type	Soft	
	Backhauls?	No	If activated, delivery locations must be visited before pickup locations
5.Optional - Visualization	Visualization background	Bing Maps	
	Location labels	Location IDs	
6.Solver	Warm start?	Yes	
	Show progress on the status bar?	No	May slow down the optimization algorithm
	CPU time limit (seconds)	60	Recommendation: At least 60 seconds

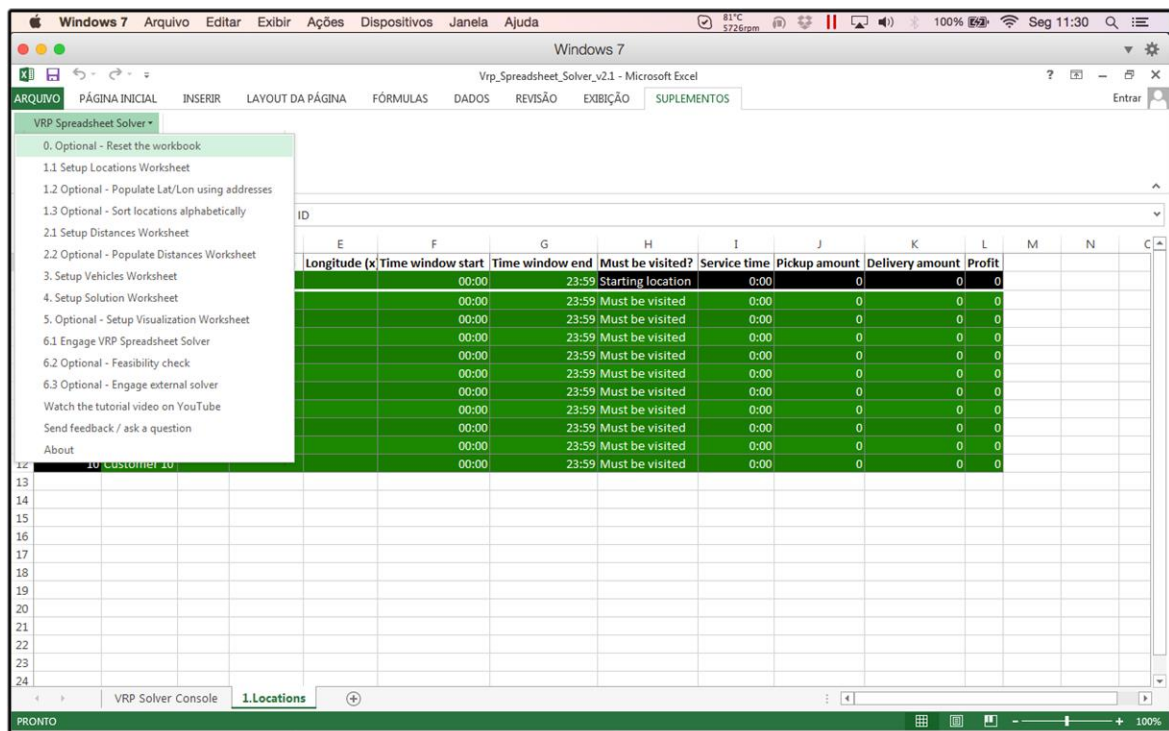
Fonte: Verolog

A utilização da planilha com o suplemento desenvolvido se ajusta bem a cenários reais, podendo incluir endereços, com suas respectivas cidades, que terão as distâncias entre si calculadas com base em suas localizações geográficas. É possível customizar a aplicação facilmente, uma vez que o código pode ser acessado no menu desenvolvedor do aplicativo Excel, para a sua visualização, podendo ser adaptada a qualquer realidade.

³ Disponível em: <http://verolog.deis.unibo.it/vrp-spreadsheet-solver/>

O único pré-requisito para sua utilização é ter o aplicativo Excel da Microsoft, encontrado em qualquer pacote *Office* da mesma empresa. Sua utilização requer um pouco de conhecimento em roteamento de veículos, pois não há uma explicação de como se configurar a planilha a fim de se obter resultados para ramificações diferentes do problema, propostas na ferramenta. Uma vez informados os endereços que se pretende incluir no roteamento, alguns outros passos devem ser feitos, como pode ser visto na Figura 16.

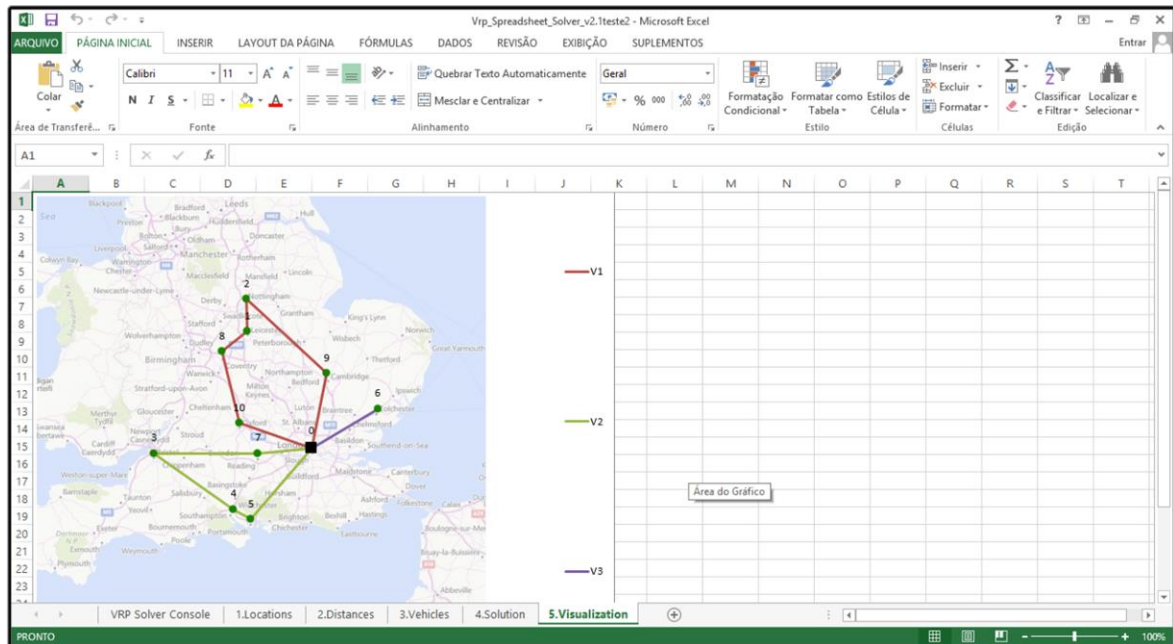
Figura 16 – Ilustração de todas as funcionalidades do suplemento



Fonte: Verolog

Seguindo todos os passos indicados, pode-se visualizar o resultado do roteamento em um mapa. O sistema utilizado é o Bing Mapas, e para o seu funcionamento é necessário o registro de uma chave eletrônica (*Key*), a qual deve ser inserida na planilha principal para o correto funcionamento. Um exemplo de roteamento com o *VRP Spreadsheet Solver* pode ser visto na Figura 17.

Figura 17 – Sistema de Mapas Bing – roteamento otimizado



Fonte: Verolog

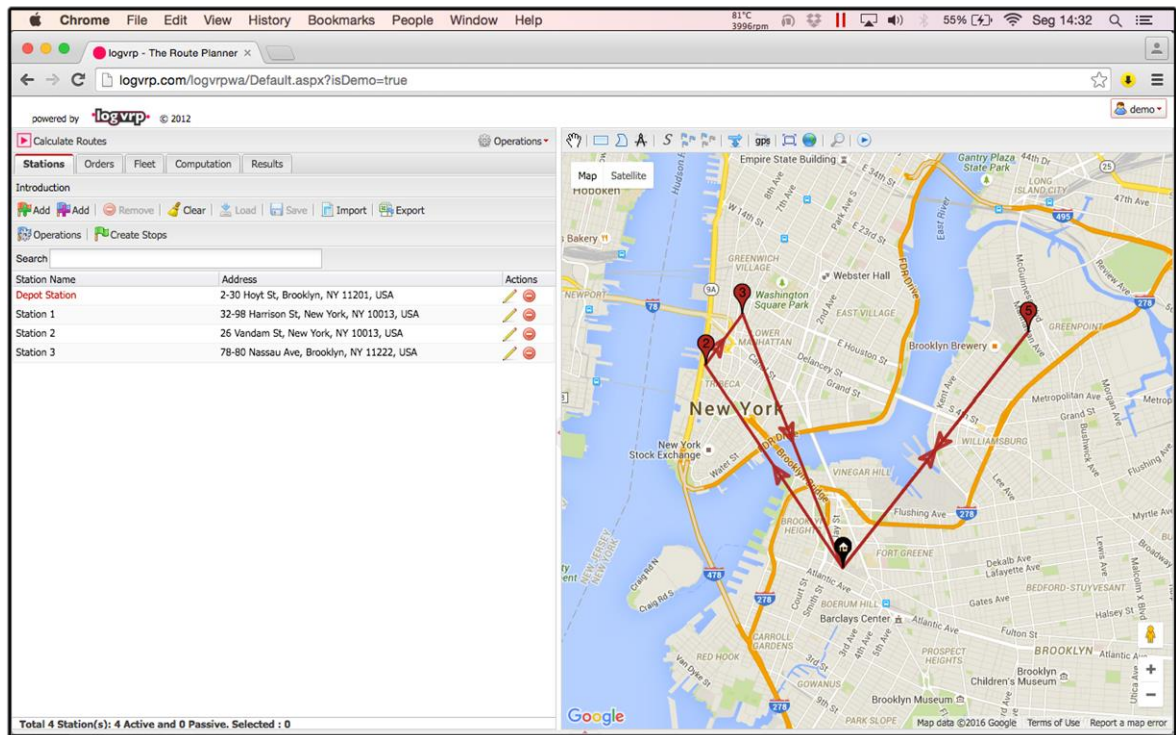
Em virtude da linguagem utilizada para o desenvolvimento da ferramenta (VBA– *Visual Basic for Applications*), não há suporte para outras plataformas diferentes do Windows. O único suporte ao *software* é um vídeo tutorial, que mostra um exemplo de utilização da planilha, podendo ser encontrado na página principal do desenvolvedor.

Em síntese, a utilização da planilha requer um conhecimento prévio em roteamento de veículos para compreender melhor o resultado do Mapa. Pelo fato de ser uma planilha eletrônica, sua navegação se torna difícil, inviabilizando o seu uso por usuários “comuns”. Mesmo com a utilização do vídeo tutorial, a ferramenta não permite compreender facilmente os seus resultados, isto é, não há descrição do caminho a ser seguido em cada rota, sendo necessário a interpretação do usuário pela legenda do mapa e informações da planilha.

4.1.4. LOGVRP

O LOGVRP⁴, cuja interface é mostrada na Figura 18, é uma ferramenta *Web* para roteamento de veículos desenvolvido pela empresa NETAKIL, a qual exige a criação de uma conta no seu site para utilização da ferramenta.

Figura 18 – Interface inicial LOGVRP



Fonte: NETAKIL

O *software* possibilita a inserção de endereços por meio da importação de arquivos ou seleção de pontos no mapa, podendo ser utilizado em cenários reais. É possível realizar alguns ajustes em configurações, mas não há possibilidade de customização do software ao usuário, podendo possivelmente ser solicitado à empresa fornecedora.

Como a ferramenta é disponibilizada na internet, dispensa instalação. A sua utilização implica um estudo dos diversos manuais pontuais espalhados pelo site. Contudo, acompanhando a demonstração exemplo, é possível ter uma ideia geral de como funciona a ferramenta. Vale acrescentar que é necessário um conhecimento prévio em roteamento de veículos para compreender as funcionalidades do sistema, mas ao preencher os dados necessários em cada guia, é possível ter os resultados

⁴ Disponível em: <http://logvrp.com/logvrpwa/Default.aspx?isDemo=true>

de roteamento facilmente nos mapas da *Google* (Figura 18), empregados pelo *software*. Contudo, exige-se uma interpretação do usuário, principalmente no que tange a qual trajeto é realizado em cada rota.

Como se trata de uma ferramenta *Web*, ele pode ser utilizado em diferentes plataformas operacionais, sem a necessidade de qualquer adaptação.

Não há um manual de como se utilizar o *software*, entretanto, pode se utilizar o demonstrativo para se ter uma ideia do seu funcionamento, bem como alguns links úteis para algumas situações. O suporte à ferramenta é exclusivo a quem contrata os serviços da empresa.

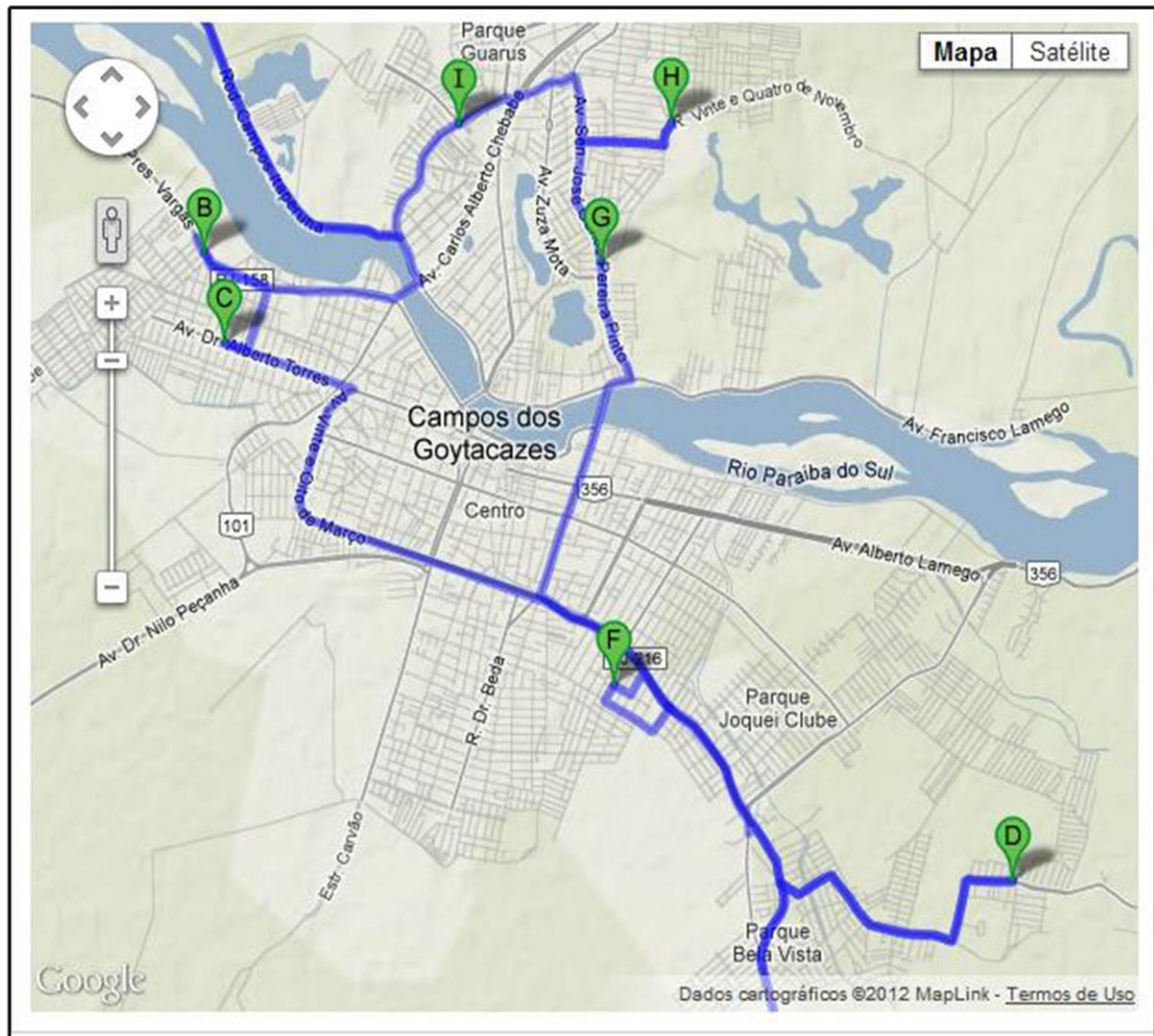
De maneira geral, o LOGVRP é de fácil utilização, desde que se conheça conceitos básicos de roteamento. Caso contrário a navegação se torna dificultosa, por não ser tão intuitiva. Uma vez traçadas as rotas no mapa, não é possível uma compreensão precisa de quais trajetos serão realizados pelos diferentes veículos, restringindo-se à interpretação do usuário.

4.1.5. ROTASORV

Borges, Montané, e Tamariz (2012) propuseram uma ferramenta *web* para roteirização baseada nos cenários de entrega de uma empresa denominada SORVEPLUS.

Como a ferramenta foi idealizada e desenvolvida para uma realidade específica (da SORVEPLUS), sua customização para outra realidade requer mudanças impactantes. Em adição, embora os autores definam o problema de pesquisa como roteamento de veículos, analisando os cenários ilustrados no artigo, independentemente de serem endereços reais, limitam-se ao problema do caixeiro viajante, já que sempre considera um único veículo, como pode ser visto no mapa ilustrado na Figura 19.

Figura 19 – Roteamento feito com o ROTASORV



Fonte: Borges, Montané, e Tamariz (2012)

O sistema de mapas do ROTASORV emprega uma API do *Google Maps*, para a qual é necessária a aquisição de uma *key* para o processamento de mapas.

Pelo fato de ser uma ferramenta *web*, disponibilizada em um servidor de hospedagem, atende às expectativas de portabilidade, podendo ser executada em qualquer sistema operacional, sem a necessidade de instalação.

Como a ferramenta não está disponível para acesso público, não foi possível analisar sua utilização, mas observando as figuras referenciadas no artigo é possível notar uma utilização intuitiva sequencial, que pode se tornar confusa pelo fato de serem apresentadas várias telas no mesmo plano, como ilustrado na Figura 20.

Figura 20 – Visão geral do roteamento feito pelo ROTASORV

The screenshot displays the ROTASORV routing interface. It features three main columns. The left column contains search input fields for address and postal code, a search button, and a map. The middle column includes georeferencing coordinates, a georeferencing button, and another map. The right column shows distance selection options, a calculate button, and details for two routes: 'Trajeto : 1' (150 km) and 'Trajeto : 2' (3,2 km). A summary bar at the bottom lists the start and end points, distances, coordinates, and a 'GRAVAR NA BASE' button.

Fonte: Borges, Montané, e Tamariz (2012)

No que diz respeito ao manual de suporte ao usuário, o mesmo não foi referenciado no artigo, restando a dúvida se a empresa usuária recebeu a ferramenta com suporte ou treinamento.

De modo geral, as análises evidenciaram que nenhum dos cinco *softwares* analisados possui todas as características desejáveis para ser utilizado na atividade de roteamento de veículos em microempresas. Como pode ser visto na Figura 21 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.

Figura 21 – Comparativo dos softwares analisados na pesquisa

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

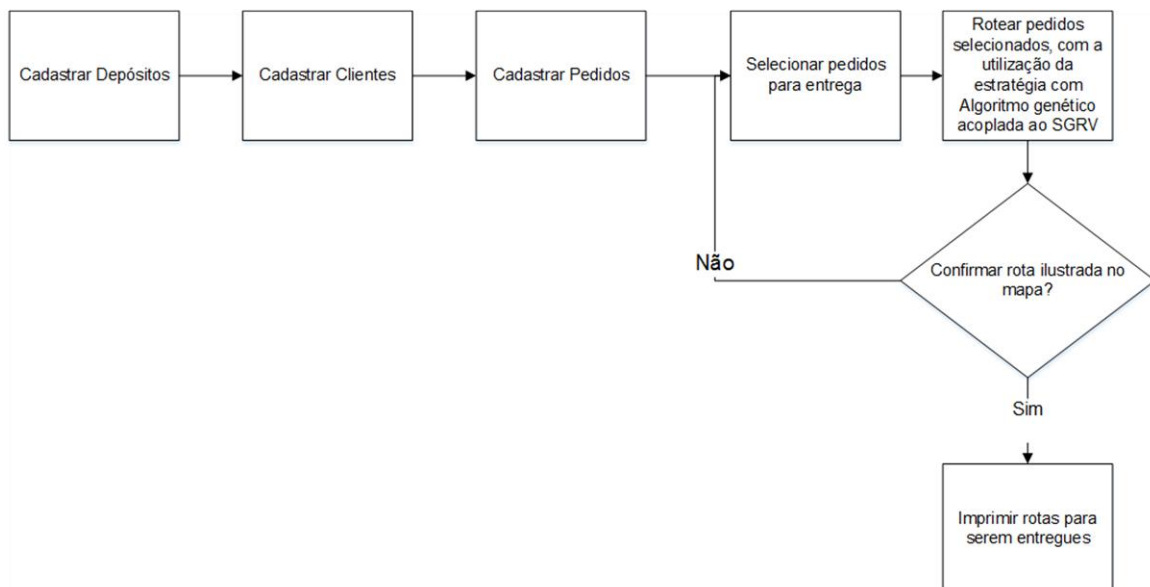
Fonte: Autor

Como mostra a Figura 21, para cada *software* avaliado, há a indicação se ele está em conformidade (✓) ou não (✗) com cada um dos quesitos de avaliação, os quais refletem o grau de qualidade do software, bem como se ele está apto para ser utilizado por usuários finais.

4.2 FERRAMENTA COMPUTACIONAL WEB PROPOSTA PARA GESTÃO DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS

Nesta seção apresenta-se em detalhes a ferramenta proposta, denominada SGRV – Sistema de Gestão de Roteamento de Veículos, cujo o fluxo de dados considerando seu uso pela primeira vez, está ilustrado na Figura 22.

Figura 22 – Fluxograma geral do SGRV



Fonte: Autor

A partir da segunda utilização, o SGRV basicamente se restringe à inclusão de novos pedidos e a seleção dos mesmos para o roteamento, exceto quando for necessário o cadastramento de novos clientes e ou de novos depósitos.

É importante enfatizar que o SGRV, cuja interface é mostrada na Figura 23, propicia o roteamento de cenários reais empregando uma abordagem baseada em Algoritmos Genéticos, proposta inicialmente por Lima, Santos e Araújo (2015) para resolver instâncias do PRVC encontradas na literatura científica.

Para se utilizar o sistema, 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 sistema 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.

Figura 23 – Interface do SGRV



Fonte: Autor

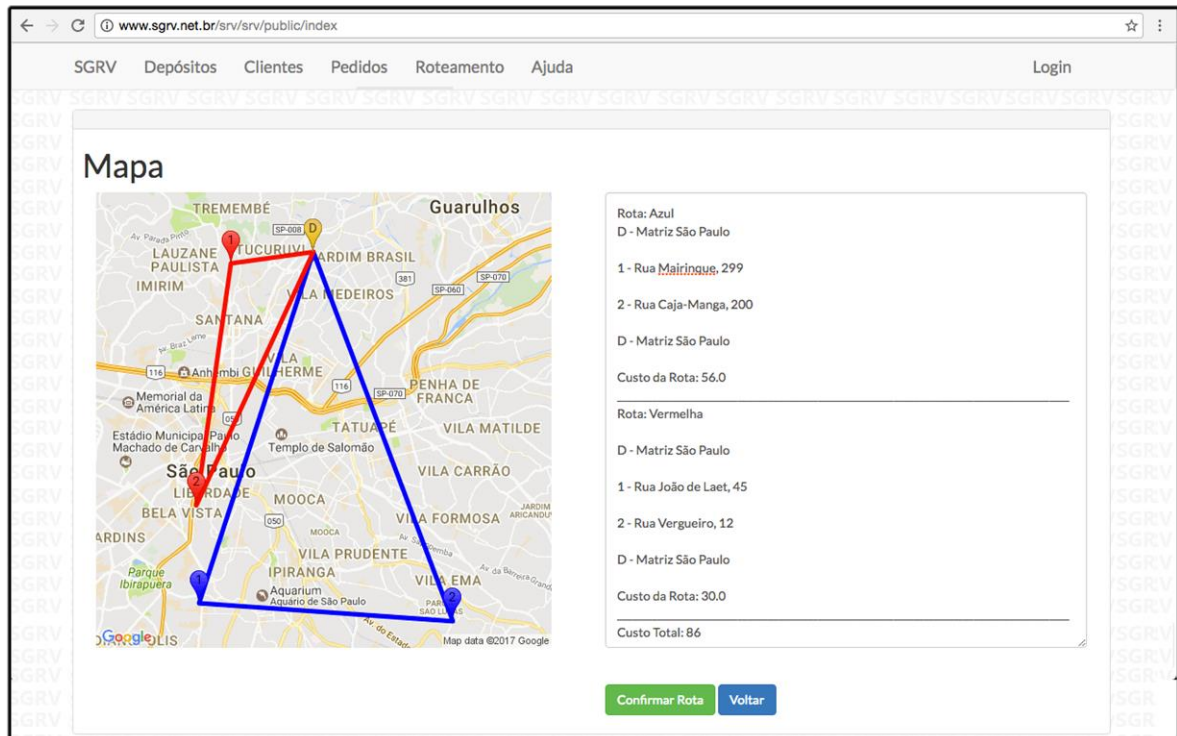
Como a proposta foi de se desenvolver uma ferramenta *Web*, não há necessidade de instalação e configuração por parte do usuário e ela pode ser utilizada em diferentes sistemas operacionais por meio de um navegador *Web*. Sua utilização foi simplificada, de modo que o usuário não tenha dificuldade para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

O SGRV na sua versão final é possível observar a sua aplicabilidade. Basicamente ele faz o controle de clientes (a serem atendidos) e pedidos, que uma vez registrados, podem ser considerados no roteamento, *Google*, como pode ser observado na Figura 24.

O sistema de Mapas da *Google* é utilizado para traçar os diferentes trajetos que os veículos ou entregadores deverão realizar, como ilustra a Figura 24. Para uma melhor distinção do caminho que será percorrido em cada rota, elas são diferenciadas por meio de uma cor. Além disso, há uma descrição completa das paradas a serem realizadas pelo entregador, até voltar ao seu ponto de origem.

É importante ressaltar, que a API do *Google* utilizada retorna a distância entre os endereços selecionados, analisando a condição atual de tráfego no momento do roteamento.

Figura 24 – Sistema de mapas e descrição de cada rota



Fonte: Autor

Em relação a documentação, ponto crítico identificado nas análises realizadas na seção anterior, foi proposto um Manual de uso (APÊNDICE C), 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 empresa de pequeno porte ou Microempresa, podendo ser customizado com o intermédio do desenvolvedor.

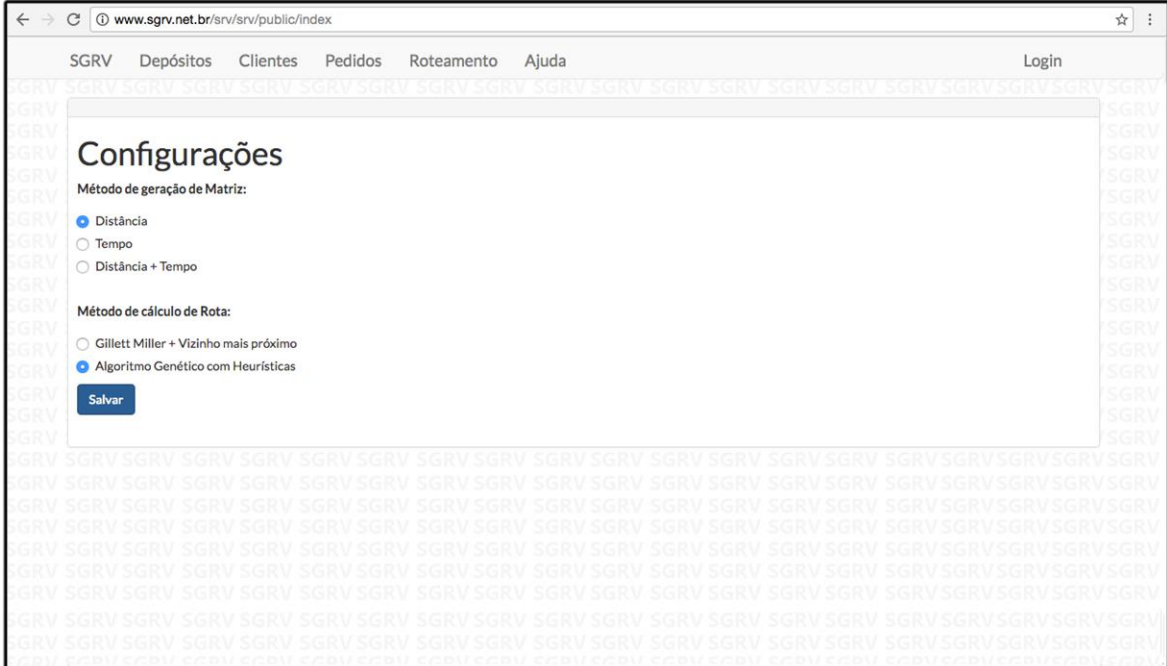
No menu usuário é possível acessar alguns ajustes referente ao roteamento. Como pode ser visto na Figura 25 é possível modificar a geração da Matriz de Distâncias, que será interpretada pela estratégia de Lima, Santos e Araújo (2015). A mudança implica apenas na interpretação do custo das rotas. Neste contexto, entende-se custo como a distância percorrida pelos entregadores (opção padrão), podendo ser alterada pelo Tempo para se percorrer todos os pontos do Mapa.

Como a estratégia 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 Lima (2015) evidencia em sua dissertação de mestrado.

A estratégia escolhida possui dois métodos de solução para o PRVC, os quais podem ser observados na Figura 25.

Como este ajuste pode influenciar no resultado final das rotas, sugere-se que seja habilitado apenas para um usuário específico da empresa, de acordo com seu cargo. A opção padrão para o roteamento é a estratégia completa, ou seja, o Algoritmo Genético com Heurísticas.

Figura 25 – Menu Configurações



The image shows a web browser window with the URL www.sgrv.net.br/srv/srv/public/index. The page title is "Configurações". The navigation menu includes "SGRV", "Depósitos", "Clientes", "Pedidos", "Roteamento", "Ajuda", and "Login". The main content area is titled "Configurações" and contains two sections:

- Método de geração de Matriz:**
 - Distância
 - Tempo
 - Distância + Tempo
- Método de cálculo de Rota:**
 - Gillett Miller + Vizinho mais próximo
 - Algoritmo Genético com Heurísticas

A "Salvar" button is located at the bottom of the configuration form.

Fonte: Autor

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.

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 3.4, 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 E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

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 científica, bem como as representações cromossômicas empregadas nos AGs para codificação das soluções. Por fim, foram avaliadas algumas ferramentas que solucionam o PRV em cenários reais, disponíveis na literatura científica.

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 algum conhecimento técnico sobre PRV. Assim, pode-se concluir que os principais objetivos formulados nessa pesquisa foram alcançados.

Como contribuições acadêmicas deste trabalho podem-se citar: i) foi realizada uma análise de alguns métodos propostos na literatura científica 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

Como trabalhos futuros propõem-se: i) Avaliar a implementação de todas as sugestões propostas pelas microempresas que avaliaram o SGRV, a fim de aprimorá-lo, bem como ampliar as possibilidades de outras MEs se adaptarem melhor à

ferramenta, sem a necessidade de muitos ajustes; ii) Analisar a viabilidade de reescrever a estratégia baseada em AG que soluciona o PRVC usando uma linguagem *web* como, por exemplo, o *Javascript*, visando aprimorar a manutenção do sistema, bem como a facilidade de inclusão de novos módulos; e iii) Propor cenários e gerar *benchmarks* para um desdobramento do PRV, não encontrado na presente pesquisa, que é considerar a restrição de altura de veículos, tendo em vista o grande número de viadutos que geram inúmeros problemas de tráfego nas grandes cidades Brasileiras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. NBR ISO/IEC 25010 - **Engenharia de Software – Qualidade de Produto Parte 1: Modelo de Qualidade**, Rio de Janeiro, ABNT, 2011.
- AUGERAT, P., BELENGUER, J. M., BENAVENT, E., CORBERÁN, A., NADDEF, D., & RINALDI, G. (1995). **Computational results with a branch and cut code for the capacitated vehicle routing problem**. Research report 949-M. Grenoble, France: Universite Joseph Fourier.
- BALLOU, R. H. **Logística empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física**. São Paulo : Atlas, 1993.
- BANZHAF, W; NORDIN, P.; KELLER, R. E.; FRANCONI, F. D. **Genetic Programming: an introduction**. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1998.
- BARTIÉ, A. **Garantia da Qualidade de Software**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2002.
- 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.
- BORGES, D. C.; MONTANÉ, F. A. T.; TAMARIZ, A. D. R. Rotasorv: Uma Ferramenta Web para Roteirização Aplicada a Empresa Sorveplus Ltda. **Inter Science Place.**, v.1, n. 8, p.138-156, 2012.
- 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.
- DALFARD, V. M.; KAVEH, M.; NOSRATIAN, N. E. Two meta-heuristic algorithms for two-echelon location-routing problem with vehicle fleet capacity and maximum route length constraints. **Neural Computing and Applications**, v. 23, p. 2341-2349, 2012.
- 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.

GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. P. L. **Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

GOLDBERG, D. E. **Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning** (1st ed.). Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA, 1989.

GILLET, B.; MILLER, L. R. A heuristic algorithm for the vehicle dispatch problem. **Operations Research**, v. 22, p. 340-349, 1974.

KOSCIANSKI, A.; SOARES, M. S. **Qualidade de software: Aprenda as metodologias e técnicas mais modernas para o desenvolvimento de software**. 2 ed. São Paulo: Novatec, 2007.

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, v. 1. p. 1-15, 2015.

LINDEN, R. **Algoritmos Genéticos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2012.

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.

MASUM, A. K. M.; SHAHJALAL, M.; FARUQUE, Md. F.; SARKER, Md. I. H. Solving the Vehicle Routing Problem using Genetic Algorithm. **Internacional Journal of Advanced Computer Science and Applications**, v. 2, n.7, p. 126-131, 2011.

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.

SOLOMON, M. M. Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints. **Operations Research**, v. 35 n. 2, p. 254-265, 1997.

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.

TAILLARD, É. Parallel iterative search methods for vehicle routing problems, **Networks**, v. 23 n. 8, p. 661–673, 1993.

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.

APÊNDICES

APÊNDICE A - PUBLICAÇÕES RESULTANTES DAS PESQUISAS REALIZADAS DURANTE O MESTRADO

1. Trabalhos completos publicados em anais de congressos

- 1.1. 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, 2016, João Pessoa, PB, 2016.
- 1.2. SANTOS, R. A. R., ARAÚJO, S. A. Sistema Web para Roteamento de Veículos. In: **XXIII SIMPEP - Simpósio de Engenharia de Produção**, v. 1. p. 1-14, 2016, Bauru, SP, 2016.

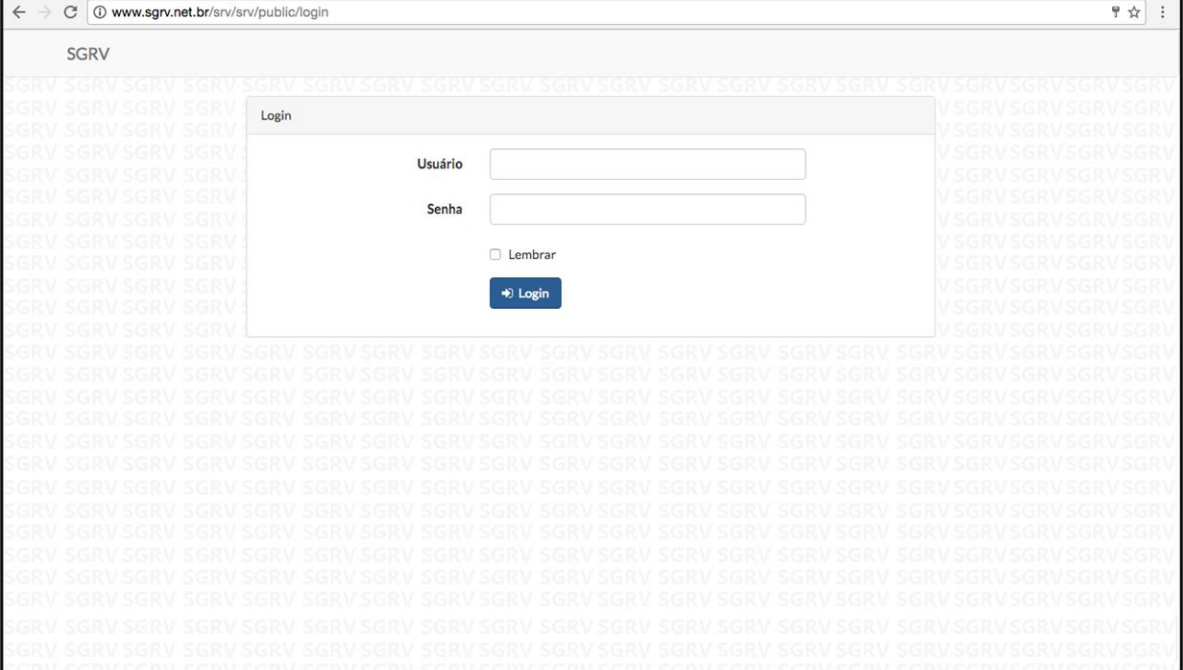
APÊNDICE B – ROTEIRO EMPREGADO NAS ENTREVISTAS COM AS ME

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 a ferramenta <i>web</i> poderia ser incorporada 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?

APÊNDICE C – MANUAL DE USO DO SGRV

- Acessar o sistema:

Para conhecer a ferramenta de maneira experimental, o desenvolvedor disponibilizará um usuário e senha temporários para o acesso à ferramenta.

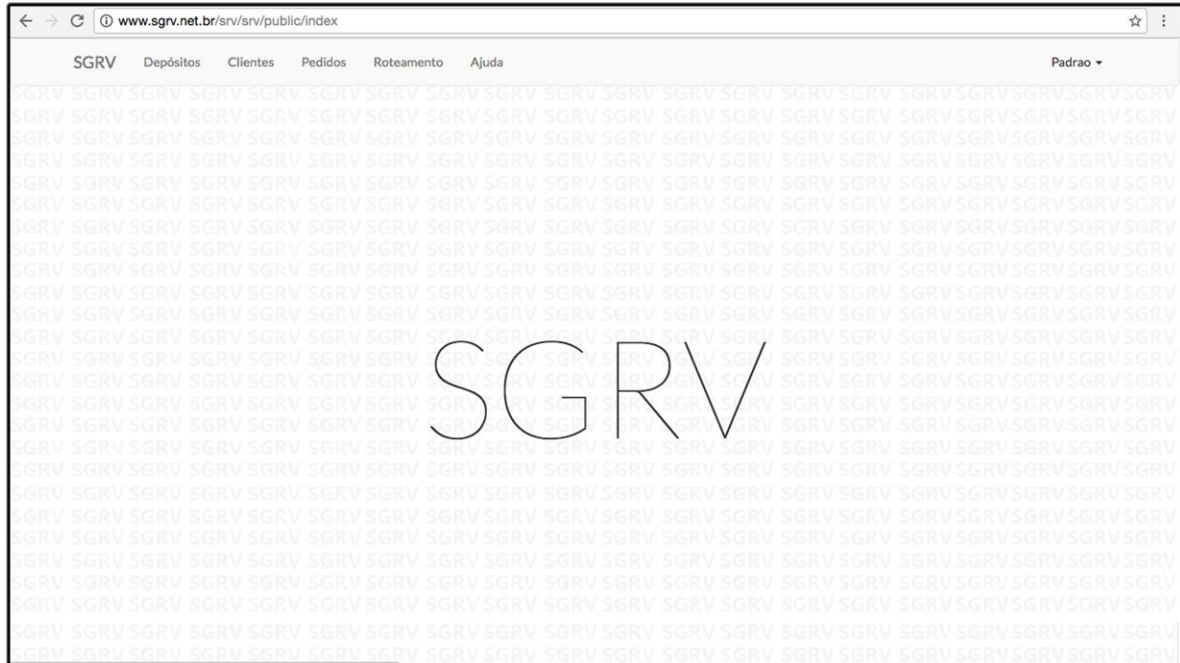


The image shows a web browser window displaying the login page for the SGRV system. The browser's address bar contains the URL 'www.sgrv.net.br/srv/srv/public/login'. The page title is 'SGRV'. The login form is centered and contains the following elements: a 'Login' header, two input fields labeled 'Usuário' and 'Senha', a checkbox labeled 'Lembrar', and a blue 'Login' button with a right-pointing arrow icon.

Fonte: Autor

- Conhecendo a interface inicial:

Uma vez conectado você visualizará a interface inicial do SGRV. Ao navegar pelos menus da ferramenta é possível voltar para a página inicial, com um clique na sigla SGRV na barra de menu.



Fonte: Autor

- Menu Depósitos:

Neste módulo você deverá cadastrar de onde sairão as entregas. Caso tenha mais de uma filial, todas podem ser cadastradas, podendo ser ainda editadas ou excluídas se houver necessidade.

Nome	Endereço	Telefone	Latitude	Longitude	Editar
Matriz São Paulo	Rua Manuel de Moura, 63	12341234	-23.4745983	-46.594719	Editar
Matriz II São Paulo	Rua Maria Paula, 140	12341234	-23.5469802	-46.6498532	Editar
Matriz IV São Paulo	Rua Dona Vicentina Alegratti, 265	12341234	-23.5208226	-46.538171	Editar
Matriz V São Paulo	Rua Capão Redondo, 6	12341234	-23.6768056	-46.7537659	Editar
Matriz VI São Paulo	Rua Ozimo Sales de Menezes, 34	12341234	-23.6246384	-46.7992407	Editar

Fonte: Autor

A seguir é possível ver os campos necessários para se cadastrar um novo depósito. Após esta primeira tela, é necessário o número da localidade para finalizar o cadastro.

The screenshot shows a web application interface for 'Cadastro de Depósito'. At the top, there is a navigation menu with 'SGRV', 'Depósitos', 'Clientes', 'Pedidos', 'Roteamento', and 'Ajuda'. A 'Padrao' dropdown is visible on the right. The main content area is titled 'Cadastro de Depósito' and contains three input fields: 'Nome:', 'Telefone:', and 'CEP:'. Below these fields is a blue button labeled 'Cadastrar Depósito'.

Fonte: Autor

- Menu Clientes:

Abaixo pode-se ver o módulo cliente. Neste módulo é possível cadastrar, editar e se necessário excluir os dados do cliente.

The screenshot shows a web application interface for 'Lista de Clientes'. At the top, there is a navigation menu with 'SGRV', 'Depósitos', 'Clientes', 'Pedidos', 'Roteamento', and 'Ajuda'. A 'Padrao' dropdown is visible on the right. The main content area is titled 'Lista de Clientes' and contains a blue button labeled 'Cadastrar Cliente'. Below the button is a table with the following data:

Código de Cliente	Nome	CPF/CNPJ	Endereço	Telefone	Latitude	Longitude	
2	Francisco Coelho	01234567891	Rua Vergueiro, 12	12341234	-23.5620776	-46.6388266	Editar
3	Paulo Roberto	01234567891	Rua Amador Bueno, 205	12341234	-23.6524439	-46.7099057	Editar
4	Maria Cigana Alvez	01234567891	Rua Bastos Tigre, 20	12341234	-23.6803303	-46.6626067	Editar
5	Julio Augusto	01234567891	Avenida Francisco Matarazzo, 2535	12341234	-23.5255666	-46.6824708	Editar
6	Chico Duarte	01234567891	Avenida Santo Amaro, 3543	12341234	-23.6151232	-46.6793681	Editar
7	Clara Aquino	01234567891	Avenida Brasil, 2535	12341234	-23.5200367	-46.7846722	Editar
8	Wagner Silva	01234567891	Avenida Interlagos, 2000	12341234	-23.6714539	-46.6779715	Editar
9	Julio Augusto Sampaio	01234567891	Rua Santa Ifigênia, 800	12341234	-23.5356628	-46.6411742	Editar

Fonte: Autor

Uma vez selecionado o botão cadastrar, o usuário poderá incluir um novo Cliente preenchendo os campos abaixo.

The image shows a web browser window with the URL www.sgrv.net.br/srv/srv/public/cliente/create. The page title is "Cadastro de Cliente". The navigation menu includes "SGRV", "Depósitos", "Clientes", "Pedidos", "Roteamento", and "Ajuda". The form contains four input fields: "Nome:", "CPF/CNPJ:", "Telefone:", and "CEP:". A blue button labeled "Cadastrar Cliente" is positioned below the fields.

Fonte: Autor

Quando selecionado o botão “Cadastrar Cliente”, você será repaginado para incluir o número da localidade, e caso haja complemento, o mesmo deverá ser incluído.

- Menu Pedidos:

A seguir pode-se ver o módulo Pedidos. Neste módulo pode-se cadastrar Pedidos e mudar o seu status navegando pelas duas primeiras guias (Marcar como entregue; Entregar novamente; e Cancelar o pedido).

Lista de Pedidos

Cadastrar Pedido

A entregar Em rota Cancelados Concluídos

Selecionar	Código do Cliente	Número do Pedido	Data do Pedido	Nome do Cliente	Demanda	Status
<input type="checkbox"/>	40	24	02/11/2016	Giovanelle Cabrone	9	A entregar
<input type="checkbox"/>	23	23	02/11/2016	Flávio Assunção	2	A entregar
<input type="checkbox"/>	38	21	02/11/2016	Thayla Gomez	8	A entregar
<input type="checkbox"/>	39	20	02/11/2016	Dory Umberta	7	A entregar
<input type="checkbox"/>	42	19	02/11/2016	Gesebel	6	A entregar
<input type="checkbox"/>	36	18	02/11/2016	Kazab Tumba	3	A entregar
<input type="checkbox"/>	43	17	02/11/2016	Gil Kalartu	9	A entregar
<input type="checkbox"/>	2	14	28/08/2016	Francisco Coelho	3	A entregar
<input type="checkbox"/>	5	12	09/08/2016	Julio Augusto	3	A entregar

Cancelar Pedido

Fonte: Autor

Para cadastrar um novo pedido é necessário pesquisar o nome do cliente. Se for um cliente recém cadastrado, você poderá clicar em pesquisar com o campo vazio, e selecioná-lo no topo da lista, pois desta maneira você visualizará os clientes pela ordem de cadastro, facilitando o seu pedido. Uma vez selecionado o cliente, será necessário colocar a demanda (número de itens ou produtos comprados) que deverá ser entregue.

Cadastro de Pedido

Nome do Cliente:

Pesquisar

Fonte: Autor

De modo geral, quando cadastrado, o pedido começa com o status “a entregar”. Este status muda quando você selecionar alguns clientes para realizar um roteamento. Quando o roteamento é confirmado, o status do pedido muda para “em rota”, podendo por fim ter outros status, como: "cancelado", caso o cliente desista da entrega, ou "concluído", quando o mesmo for entregue.

Selecionar	Código do Cliente	Número do Pedido	Data do Pedido	Nome do Cliente	Demanda	Status
<input type="checkbox"/>	39	20	02/11/2016	Dory Umberta	7	em rota
<input type="checkbox"/>	36	18	02/11/2016	Kazab Tumba	3	em rota
<input type="checkbox"/>	2	14	28/08/2016	Francisco Coelho	3	em rota
<input type="checkbox"/>	32	6	21/07/2016	Juca Potenza	8	em rota

Fonte: Autor

- Menu Roteamento:

Uma vez cadastrados os clientes, depósitos e se houver pedidos com o status “a entregar”, você poderá selecionar os pedidos a entregar.

The screenshot shows a web application interface for route planning. At the top, there is a navigation menu with 'SGRV', 'Depósitos', 'Clientes', 'Pedidos', 'Roteamento', and 'Ajuda'. The 'Roteamento' tab is active. Below the menu, the title 'Pedidos a Entregar' is displayed. A table lists five delivery requests with columns for 'Número do Pedido', 'Nome', 'Endereço', 'Latitude', 'Longitude', 'Demanda', and 'Selecionar'. Below the table, there are three input fields: 'Selecionar Depósito:' (a dropdown menu with 'Matriz São Paulo' selected), 'Quantidade de Veículos:', and 'Capacidade do Veículo:'. A blue 'Rotear' button is located at the bottom left of the form area.

Número do Pedido	Nome	Endereço	Latitude	Longitude	Demanda	Selecionar
6	Juca Potenza	Rua Caja-Manga, 200	-23.6021517	-46.5421248	8	<input type="checkbox"/>
14	Francisco Coelho	Rua Vergueiro, 12	-23.5620776	-46.6388266	3	<input type="checkbox"/>
17	Gil Kalartu	Rua Conceição Veloso, 70	-23.5850868	-46.6350212	9	<input type="checkbox"/>
18	Kazab Tumba	Rua João de Laet, 45	-23.4785674	-46.6257992	3	<input type="checkbox"/>
20	Dory Umberta	Rua Mairinque, 299	-23.5959433	-46.6377791	7	<input type="checkbox"/>

Selecionar Depósito:

Quantidade de Veículos:

Capacidade do Veículo:

Fonte: Autor

Para finalizar o processo de Roteamento é necessário escolher um depósito de origem somente se houver mais de um, e a quantidade de veículos necessários para entrega, bem como a capacidade do veículo, e em seguida, selecionar o botão rotear.

OBS: Se por um acaso você escolher um número de veículos insuficiente para atender a demanda selecionada, o sistema não permitirá o roteamento. Vale ressaltar que todos os veículos devem ser iguais, ou seja, ter a mesma característica de capacidade (número de itens ou produtos a serem transportados).

Quando selecionado rotear, você será repaginado para a visualização do mapa e a ordem de entrega de cada pedido. Caso tenha se esquecido de incluir outro pedido é possível voltar ou não confirmar o roteamento.

The screenshot shows the SGRV routing interface. The browser address bar displays www.sgrv.net.br/srv/srv/publico/mapa. The navigation menu includes SGRV, Depósitos, Clientes, Pedidos, Roteamento, and Ajuda. The main content area is titled "Mapa" and shows a map of São Paulo and Guarulhos. Two routes are highlighted: a blue route and a red route. The summary panel on the right provides details for each route:

Rota: Azul
D - Matriz São Paulo
1 - Rua Mairinque, 299
2 - Rua Caja-Manga, 200
D - Matriz São Paulo
Custo da Rota: 56,0

Rota: Vermelha
D - Matriz São Paulo
1 - Rua João de Laet, 45
2 - Rua Vergueiro, 12
D - Matriz São Paulo
Custo da Rota: 30,0
Custo Total: 86

At the bottom of the summary panel, there are two buttons: "Confirmar Rota" (green) and "Voltar" (blue).

Fonte: Autor

Caso a rota for confirmada os status dos pedidos serão mudados para “em rota”, e o relatório a seguir poderá ser impresso e encaminhado ao entregador de cada veículo. Para realizar um novo roteamento, clique no botão voltar.

The screenshot shows the SGRV routing interface for the "Rota dos Pedidos" (Route of Orders) page. The browser address bar displays www.sgrv.net.br/srv/srv/publico/roteamento/sim. The page title is "Rota dos Pedidos". The content is organized into several sections, each representing a different order or stop:

- Depósito: Matriz São Paulo
Endereço: Rua Manuel de Moura , 63
- Número do Pedido: 20
Cliente: Dory Umberta
Endereço: Rua Mairinque , 299
- Número do Pedido: 6
Cliente: Juca Potenza
Endereço: Rua Caja-Manga , 200
- Depósito: Matriz São Paulo
Endereço: Rua Manuel de Moura , 63
- Depósito: Matriz São Paulo
Endereço: Rua Manuel de Moura , 63
- Número do Pedido: 18
Cliente: Kazab Tumba
Endereço: Rua João de Laet , 45
- Número do Pedido: 14
Cliente: Francisco Coelho
Endereço: Rua Vergueiro , 12 casa
- Depósito: Matriz São Paulo
Endereço: Rua Manuel de Moura , 63

At the bottom of the page, there are two buttons: "Imprimir/Gravar" (blue) and "Voltar para um novo roteamento" (green).

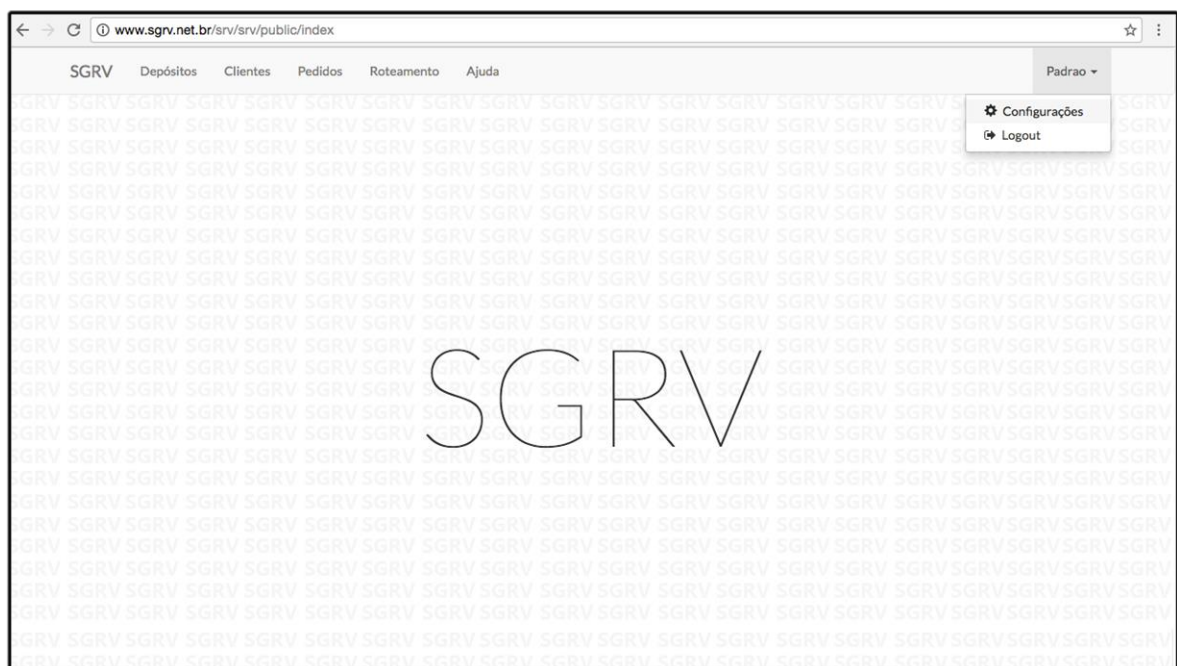
Fonte: Autor

Vale ressaltar que uma vez realizada cada entrega é necessário mudar o status de cada pedido para "concluído".

- Menu Configurações:

Este módulo é o único que será disponibilizado conforme a necessidade da empresa, para que nem todos tenham acesso aos ajustes da ferramenta.

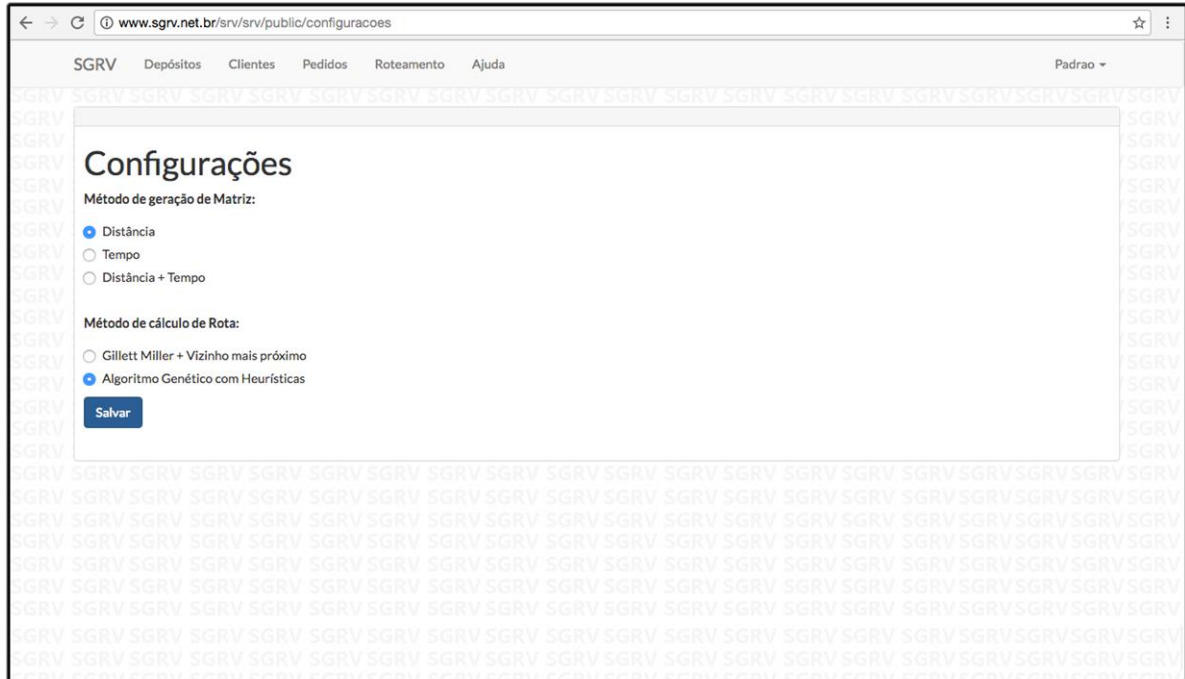
Para acessar, selecione o menu usuário, e em seguida configurações.



Fonte: Autor

É possível ajustar o custo do roteamento, podendo ser a distância percorrida (quilômetro), o tempo gasto para a entrega (hora), ou ambas opções (quilômetro+hora). A opção padrão é a distância percorrida em quilômetros.

Para o roteamento é possível utilizar dois métodos, um somente com Heurísticas (Gillett & Miller com Vizinho mais próximo) ou com Algoritmo Genético com outras Heurísticas. O método padrão é o último informado.



Fonte: Autor

OBS: A escolha de um dos métodos, podem influenciar no resultado final do roteamento.

APÊNDICE D – RESPOSTAS OBTIDAS NAS ENTREVISTAS COM AS ME

Empresa A	
1.	<p>Como o SGRV contribui nas entregas de sua empresa?</p> <p><i>“A ferramenta poderia contribuir minimizando a demora nas entregas, assim iria mostrar as rotas mais corretas a serem traçadas.”</i></p>
2.	<p>Comente como foi sua experiência na utilização do SGRV?</p> <p><i>“A utilização da ferramenta foi fácil e intuitiva, sendo rápida no processamento dos dados.”</i></p>
3.	<p>De que maneira a ferramenta web poderia ser incorporada em sua empresa?</p> <p><i>“A ferramenta poderia ser inserida das duas formas, tanto dentro e tanto fora, pois poderia ser acompanhada pelo entregador nas ruas, e dentro do escritório, pelo gestor”.</i></p>
4.	<p>Comente sobre a efetividade do menu ajuda na utilização do SGRV.</p> <p><i>“O menu ajuda foi essencial, entretanto foi pouco utilizado, pois como mencionado na segunda pergunta, a ferramenta é intuitiva”.</i></p>
5.	<p>Agora que já conhece o SGRV, na sua opinião, o que poderia tornar ainda melhor sua experiência com ele?</p> <p><i>“O que poderia melhorar seria um roteamento online, o qual iria mostrar em tempo real onde o veículo está, assim ficaria mais fácil para o gestor acompanhar nas entrega e também um mapeamento de tráfego, que poderia mostrar os caminhos mais rápidos e possíveis atrasos.”</i></p>
6.	<p>Qual a sua opinião sobre a utilização de mapas para a visualização das rotas geradas pelo SGRV?</p> <p><i>“A utilização dos mapas torna a visualização mais ampla, assim consigo me organizar melhor quanto à distribuição dos produtos, e também com relação aos meus entregadores.</i></p>

APÊNDICE D – RESPOSTAS OBTIDAS NAS ENTREVISTAS COM AS ME

Empresa B	
1.	<p>Como o SGRV contribui nas entregas de sua empresa?</p> <p><i>“Nós poderíamos utilizar o SGRV para traçar as rotas que os nossos técnicos precisarão percorrer para atender e dar suporte ao maior número de clientes possível”.</i></p>
2.	<p>Comente como foi sua experiência na utilização do SGRV?</p> <p><i>Eu tive uma experiência bastante positiva na utilização da ferramenta. É uma ferramenta objetiva, as telas são limpas e de fácil utilização e é bastante ergonômica e intuitiva</i></p>
3.	<p>De que maneira a ferramenta web poderia ser incorporada em sua empresa?</p> <p><i>“Por se tratar de uma ferramenta web poderíamos utilizar por meio dos celulares dos técnicos. Assim havendo qualquer mudança na rota em virtude de algum cliente, com uma prioridade maior ou menor, nós poderíamos fazer esta alteração na rota, e o técnico receberia esta atualização automaticamente, de maneira online e em tempo real. Isto ajudaria bastante na elaboração das rotas e manutenção das mesmas no dia a dia”.</i></p>
4.	<p>Comente sobre a efetividade do menu ajuda na utilização do SGRV.</p> <p><i>“Não achei necessário a utilização do manual, como disse na sua primeira pergunta, a ferramenta é bastante intuitiva, então não achei importante a utilização do manual.”</i></p>
5.	<p>Agora que já conhece o SGRV, na sua opinião, o que poderia tornar ainda melhor sua experiência com ele?</p> <p><i>“Como ponto de melhoria eu recomendo incluir um recurso para importação dos registros. A importação por exemplo: dos clientes, dos pedidos. Isso ajudaria muito na utilização da ferramenta, evitando que o usuário tivesse que cadastrar novos pedidos e clientes”.</i></p>

6.	<p>Qual a sua opinião sobre a utilização de mapas para a visualização das rotas geradas pelo SGRV?</p> <p>“A visualização das rotas do mapa gráfico ajuda a localizar geograficamente cada rota. Isto auxilia no processo de alocação dos técnicos à rota”.</p>
----	--

APÊNDICE D – RESPOSTAS OBTIDAS NAS ENTREVISTAS COM AS ME

Empresa C	
1.	<p>Como o SGRV contribui nas entregas de sua empresa?</p> <p><i>“O SGRV poderia contribuir na minha empresa facilitando assim os trabalhos de entrega, pois várias vezes pedimos aos motoristas para ir a determinado local, mas o percurso que ele faz é bem maior. E desta forma ele já possuindo a rota traçada conseguirá alcançar o objetivo economizando até mesmo no combustível e nos gastos que eu tenho com meus funcionários”.</i></p>
2.	<p>Comente como foi sua experiência na utilização do SGRV?</p> <p><i>“Senti um pouco de dificuldade pois não pensei utilizar o menu ajuda primeiramente. Seria mais fácil se ele tivesse em primeiro plano”.</i></p>
3.	<p>De que maneira a ferramenta web poderia ser incorporada em sua empresa?</p> <p><i>“Esta ferramenta poderia ser incorporada na empresa, pois no momento que algum cliente solicitasse alguma manutenção, seria possível o atendimento organizado para cada técnico atender, melhorando a minha distribuição de atendimentos, a qual sou responsável em fazer”.</i></p>
4.	<p>Comente sobre a efetividade do menu ajuda na utilização do SGRV.</p> <p><i>“A efetividade do menu ajuda é a chave principal, porque sem a ajuda eu poderia ficar um pouco sem norte, por exemplo a rota, se for visto uma sequência em andamento, ou pedido efetuado, ou em rota, geralmente para um cliente final leigo, ele não teria ideia qual seria o próximo passo sem consultar o menu. Se o menu ajuda viesse em primeiro plano seria bem melhor”.</i></p>
5.	<p>Agora que já conhece o SGRV, na sua opinião, o que poderia tornar ainda melhor sua experiência com ele?</p> <p><i>“A inserção de máscaras de campo como telefone, cpf e cep. O menu ajuda ser o primeiro, na barra de menu. Se houvesse algum exemplo em primeiro</i></p>

	<i>plano facilitaria muito. E alguns complementos para acompanhamento de pedidos”.</i>
6.	Qual a sua opinião sobre a utilização de mapas para a visualização das rotas geradas pelo SGRV? <i>“A utilização de mapas é fundamental, pois retorna uma informação precisa do local que você quer ir sem a necessidade de complemento de outros aplicativos”.</i>

APÊNDICE D – RESPOSTAS OBTIDAS NAS ENTREVISTAS COM AS ME

Empresa D	
1.	<p>Como o SGRV contribui nas entregas de sua empresa?</p> <p><i>“O SGRV pode facilitar as entregas, reduzindo os custos por percorrer a menor quilometragem e diminuindo por consequência o tempo gastos entre as entregas”.</i></p>
2.	<p>Comente como foi sua experiência na utilização do SGRV?</p> <p><i>“Gostei bastante da plataforma. Achei de fácil utilização e bem intuitiva”.</i></p>
3.	<p>De que maneira a ferramenta web poderia ser incorporada em sua empresa?</p> <p><i>“Ela pode ser incorporada para separar os pedidos aproveitando a capacidade máxima de cada veículo. E por fim, para separar os pedidos por rotas, para cada entregador realizar diferentes entregas ao mesmo tempo”.</i></p>
4.	<p>Comente sobre a efetividade do menu ajuda na utilização do SGRV.</p> <p><i>“Está bem claro como a ferramenta funciona, porém pela facilidade de uso, o menu ajuda quase se torna desnecessário”.</i></p>
5.	<p>Agora que já conhece o SGRV, na sua opinião, o que poderia tornar ainda melhor sua experiência com ele?</p> <p><i>“Se ele tivesse integração com minha loja virtual, para que o meu operador não tenha necessidade de digitar todos os dados no sistema”.</i></p>
6.	<p>Qual a sua opinião sobre a utilização de mapas para a visualização das rotas geradas pelo SGRV?</p> <p><i>“Pelo mapa fica visualmente claro se a rota gerada é eficiente ou não”.</i></p>