



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE

NÚCLEO DE TECNOLOGIA

ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ANÁLISE E ROTEIRIZAÇÃO DO TRANSPORTE FRETADO DE FUNCIONÁRIOS: ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DE ÔNIBUS DE CARUARU

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO

POR

LUANA JUSTINO ANDRADE DO NASCIMENTO

Orientador: Prof. Maísa Mendonça Silva

CARUARU, 2015

LUANA JUSTINO ANDRADE DO NASCIMENTO

**ANÁLISE E ROTEIRIZAÇÃO DO TRANSPORTE FRETADO DE FUNCIONÁRIOS:
ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DE ÔNIBUS DE CARUARU**

Trabalho apresentado ao Curso de Engenharia de Produção do Centro Acadêmico do Agreste-CAA, da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, como requisito para aprovação na disciplina Projeto Final de Curso.

Área de concentração: Pesquisa Operacional

Orientador (a): Maísa Mendonça Silva

CARUARU, 2015

Catálogo na fonte:
Bibliotecária - Simone Xavier CRB/4-1242

N244a Nascimento, Luana Justino Andrade do.
Análise e roteirização do transporte fretado de funcionários: estudo de caso em uma empresa de ônibus de Caruaru. / Luana Justino Andrade do Nascimento. - Caruaru: O Autor, 2015.
52f.: il.; 30 cm.

Orientadora: Maísa Mendonça Silva
Monografia (Trabalho de Conclusão de curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Engenharia de produção, 2015.
Inclui referências bibliográficas

1. Problema de roteirização de veículos. 2. Transportes - Gerenciamento. 3. Transportes - serviços. I. Silva, Maísa Mendonça. (Orientadora). II. Título.

658.5 CDD (23. ed.) UFPE (CAA 2015-033)

LUANA JUSTINA ANDRADE DO NASCIMENTO

**ANÁLISE E ROTEIRIZAÇÃO DO TRANSPORTE FRETADO DE
FUNCIONÁRIOS: ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DE
ÔNIBUS EM CARUARU**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à coordenação do Curso de
Engenharia Produção do Centro Acadêmico
do Agreste - CAA, da Universidade Federal
de Pernambuco - UFPE, em cumprimento
às exigências para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia de Produção.

Área de concentração: **Pesquisa
Operacional**

A banca examinadora, composta pelos professores abaixo, considera o candidato
APROVADO com nota 9,0.

Caruaru, 24 de fevereiro de 2014.

Banca examinadora:

Prof.ª Dr.ª Maisa Mendonça Silva

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Orientadora)

Prof. Dr. Lúcio Câmara e Silva;

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Prof.ª Dr.ª Ana Paula Henriques Gusmão de Araújo Lima

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliadora)

Prof.ª Dr.ª Ana Paula Henriques Gusmão de Araújo Lima:

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Coordenadora da disciplina de TCC)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por mais esta vitória e por ter me dado força nos momentos mais difíceis dessa jornada.

Aos meus pais, pelo apoio e amor incondicional que nunca faltaram.

À minha irmã, Amanda, por seu eterno companheirismo e por me ajudar a enxergar um mundo melhor.

Aos meus avós, por todo apoio e oração para que eu chegasse até aqui.

À professora orientadora Máisa Mendonça, pela confiança depositada para o desenvolvimento desse trabalho.

A todos meus amigos, que dividiram esses últimos anos comigo. Em especial, à “equipe força tarefa” e “bolão da produção” que me animaram e auxiliaram em toda a caminhada.

E a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

RESUMO

Com o crescimento das cidades de forma desordenada, os meios de transporte tornam-se cada vez mais complexos, devido a grande variedade de maneiras de se chegar a um determinado local. A utilização da ferramenta roteirização é essencial no dia-a-dia dos indivíduos e das organizações. Atualmente, muitas empresas investem em ônibus fretado para transportar funcionários, pois significa redução de custos, diminuição do número de atrasos ao serviço, comodidade e rapidez. Contudo, essas vantagens não são atingidas sem um eficiente gerenciamento do transporte, especialmente, no que se refere a decisões estratégicas. Assim, este trabalho tem o objetivo de aprimorar a roteirização de uma empresa de transporte, no serviço de fretamento contínuo, a partir da aplicação do algoritmo de Clarke e Wright, de forma a fornecer alternativas de rotas mais curtas, entre vários pontos (endereços), para coleta e distribuição física de funcionários realizada por uma frota de nove ônibus. O estudo de caso proporcionou a identificação de oportunidades para a organização através da redução de 9,05%, 20,18% e 22,10% da distância percorrida, dos custos de deslocamentos e do tempo gasto para realizar os roteiros, respectivamente.

Palavras-chave: Fretamento contínuo. Roteirização. Clarke e Wright.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2 BASE CONCEITUAL	10
2.1 Transporte fretado	10
2.1.1 Características dos serviços de fretamento	10
2.1.2 Fretamento contínuo	11
2.2 Roteirização de veículos	12
2.2.1 Classificação dos problemas de roteirização	13
2.2.1.1 Problemas de roteirização pura de veículos	14
2.2.1.2 Problemas de programação de veículos e tripulações	15
2.2.1.3 Problemas combinados de roteirização e programação	16
2.3 Complexidade dos problemas, estratégias e métodos de solução	19
2.3.1 Estratégias de Solução	20
2.3.2 Métodos de solução	21
2.3.2.1 Métodos exatos	21
2.3.2.2 Métodos heurísticos	22
2.3.2.3 Algoritmos emergentes	24
3 METODOLOGIA	27
3.1 Classificação da pesquisa	27
3.2 Desenvolvimento da pesquisa	28
4 ESTUDO DE CASO	30
4.1 Caracterização da empresa	30
4.2 Definição do problema	30
4.3 Aplicação do método	32
4.4 Análise de Resultados	34
4.5 Comparação entre os modelos empírico e heurístico	35
5 CONCLUSÃO	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Ilustração do conceito de ganho com a integração de dois clientes em roteiro compartilhado.....	24
Figura 3.1 – Metodologia.....	28
Figura 4.1 – Distribuição de rotas na cidade de Caruaru.....	31
Figura 4.2 – Análise de distâncias percorridas em cada rota por modelo.....	35
Figura 4.3 – Análise de custo de transporte em cada rota por modelo.....	35
Figura 4.4 – Análise de tempo de transporte em cada rota por modelo.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Características do problema de roteirização de veículos.....	12
Tabela 2.2 – Os problemas básicos de roteirização pura.....	14
Tabela 2.3 – Os problemas básicos de programação de veículos.....	15
Tabela 2.4 – Os problemas básicos programação e tripulação.....	16
Tabela 2.5 – Os problemas de roteirização e programação.....	17
Tabela 2.6 – Aspectos gerais de classificação das metaheurísticas.....	25
Tabela 4.1 – Resumo das saídas pelo programa <i>LogWare</i>	34
Tabela 4.2 – Dados para comparação entre modelos.....	36

1. INTRODUÇÃO

O transporte rodoviário é o transporte feito por estradas, rodovias, ruas e outras vias pavimentadas ou não, com o objetivo de movimentar grupos de pessoas, materiais ou animais de um ponto para outro. Este representa maior parte do transporte terrestre (GALLO *et. al*, 2010).

Devido o grande crescimento das cidades e a elevada variedade de maneiras de se chegar a um local, os meios de transporte tornam-se cada vez mais complexos e no que diz respeito ao transporte público, têm-se muitas linhas de ônibus operando com grande desperdício de recursos. Além disso, vê-se graves problemas crescendo cada vez mais, como por exemplo: congestionamentos, índices de acidentes de trânsito, emissão de gases poluentes. Tais fatores influenciam na qualidade de vida dos moradores.

Diante das dificuldades enfrentadas pelos trabalhadores brasileiros com o transporte público, enfatiza-se a importância da contratação de transporte fretado pelas empresas. Esse serviço é denominado fretamento contínuo e busca satisfazer usuários e organização, simultaneamente, mediante o atendimento das necessidades de ambos.

Podendo ser considerado, um verdadeiro meio de melhoria da qualidade de vida e da sustentabilidade das grandes cidades, o fretamento contínuo se destaca por ter um mercado potencial para expansão, principalmente, no segmento de viagens “casa-trabalho-casa”, por entre outros fatores, proporcionar a redução efetiva do número de automóveis em trânsito (LACERDA; VIDER & JÚNIOR, 2012).

Para fornecimento de um serviço apropriado, é necessário que empresas de transporte invistam na ferramenta de roteirização. Estas proporcionam o atendimento à demanda a partir da definição de menores rotas e da consideração das condições de capacidade. Contudo, como os problemas de roteirização apresentam alto grau de complexidade, para essa determinação, é fundamental a consideração de estratégias e métodos de soluções que auxiliem na tomada de decisão.

Neste contexto, este trabalho apresenta a utilização de um Sistema de Informação Geográfica, *Google Maps*, para aprimorar a roteirização de uma empresa de ônibus na prestação de serviços de fretamento contínuo. Com o intuito de otimizar e buscar melhorias significativas, a roteirização foi definida com apoio de ferramentas fornecidas pela Pesquisa Operacional. Assim, foi aplicada a heurística de Clarke e Wright através da ferramenta *LogWare* para a resolução do problema.

O objetivo geral do trabalho é reduzir as distâncias percorridas, na coleta e distribuição de funcionários, realizadas por uma empresa de ônibus. A partir do objetivo geral, são considerados os seguintes objetivos específicos:

- Realizar um diagnóstico da empresa com o intuito de obter informações quanto ao atual procedimento de roteirização adotado pela mesma;
- Fazer uma revisão bibliográfica sobre o tema, visando conhecimento sobre métodos de solução aplicáveis à problemática estudada;
- Solucionar o modelo com o uso da heurística Clarke e Wright;
- Analisar os resultados obtidos a partir da aplicação do método e compará-las com a metodologia adotada atualmente.

A pesquisa se justifica pelo cruzamento de rotas durante os percursos realizados pelos ônibus que transportam os funcionários de uma empresa, bem como a existência de uma quantidade superestimada de pontos de parada. Assim, vê-se que os trechos podem ser otimizados e oportunidades de redução da distância percorrida e consequentemente, dos custos e/ou a utilização de recursos podem surgir. Além disso, de acordo com Ballou (2001), como os custos de transporte são bastante significativos, “a busca por melhorar a eficiência, com plena utilização dos veículos e do pessoal do transporte é objetivo de grande interesse”.

O trabalho está estruturado em cinco capítulos. O primeiro capítulo introduz a pesquisa, de modo a fazer uma contextualização do tema, do problema, justificativa e os objetivos do mesmo. O segundo capítulo contém uma revisão da literatura, sendo esta desdobrada em uma visão geral sobre o transporte fretado. Em seguida, apresenta-se uma abordagem do problema de roteamento de veículos e conclui com a apresentação de estratégias e métodos de soluções. O terceiro capítulo apresenta a metodologia utilizada para execução do trabalho, de modo a caracterizar o tipo de pesquisa e observação feita. O quarto capítulo têm o propósito de expor o estudo realizado a partir do diagnóstico da empresa, da aplicação feita e dos resultados obtidos. Além disso, foi feita uma comparação entre o resultado obtido e o procedimento adotado atualmente pela empresa. Por fim, o quinto capítulo mostra as conclusões do estudo, seguidas pelas referências.

2 BASE CONCEITUAL

Neste capítulo são apresentados os principais conceitos e definições que fundamentam ou que se relacionam com o tema do trabalho.

2.1 Transporte fretado

Sejam por questões de trabalho, educação ou lazer, o transporte fretado de passageiros tem um importante papel na mobilidade de pessoas. Considera-se uma ótima alternativa frente ao uso de alguns transportes privados, como o automóvel e a motocicleta, pois reduz o consumo do espaço viário, além de diminuir a emissão de poluentes.

Esse transporte consiste na contratação de uma empresa para prestar um serviço coletivo privado de transportar um grupo de pessoas para um determinado local, sem a cobrança individual de passagens. Este serviço pode ser classificado em: eventual e contínuo.

Nesta seção, serão apresentadas características do transporte fretado, bem como, informações sobre o fretamento de transporte de funcionários (também conhecido como fretamento contínuo).

2.1.1 Características dos serviços de fretamento

Com a finalidade de levar pessoas a um destino comum, os serviços de fretamento têm grande destaque atualmente. Geralmente, a contratação destes serviços é realizada por empresas ou instituições públicas e privadas, para o transporte de colaboradores e estudantes ou turistas. De acordo com a resolução da Agência Nacional de Transporte Terrestre (ANTT) nº. 1166, de 05/10/2005, a qual dispõe sobre a regulamentação da prestação do serviço de transporte rodoviário e internacional de passageiros, sob o regime de fretamento, define os serviços de fretamento como divididos em:

- Fretamento contínuo: Consiste no serviço prestado a pessoas jurídicas para o transporte de seus empregados, bem como a instituições de ensino ou agremiações estudantis para o transporte de seus alunos, professores ou associados, estas últimas desde que legalmente constituídas, com prazo de duração máxima de doze meses e quantidade de viagens estabelecidas, com contrato escrito entre a transportadora e seu cliente, previamente analisado e autorizado pela Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT;

- Fretamento eventual ou turístico: serviço prestado à pessoa ou a um grupo de pessoas, em circuito fechado, com emissão de nota fiscal e lista de pessoas transportadas, por viagem, com prévia autorização ou licença da ANTT ou órgão com ela conveniado.

A criação de grandes polos de empregos distantes das áreas mais urbanizadas é o fator responsável pela origem dos serviços de fretamento (VASCONCELLOS, 2012). Além disso, considera-se a grande quantidade de empregados trabalhando em diversos turnos e horários, e ainda, a ineficiência do transporte público para atender demandas situadas em regiões distantes e em horários diferentes. Assim, muitas empresas investem em ônibus fretado para transportar seus colaboradores, pois envolve grandes vantagens tanto para os usuários quanto para a empresa.

2.1.2 Fretamento contínuo

Segundo Lima (2001), a necessidade, por parte de grandes empresas, de levar seus funcionários pontualmente às suas estações de trabalho e leva-los de volta nos vários turnos de trabalho, fez com que o serviço de transporte de passageiros por fretamento se desenvolvesse. Além disso, outro fator que contribui para o crescimento do serviço foi o preço competitivo deste frente às tarifas de transporte público.

O problema do transporte de empregados pode ser resumido como um grupo de pessoas distribuídas em uma região, que devem ser conduzidas das proximidades de suas casas à empresa e do trabalho para suas residências.

O uso de ônibus fretado como substituto do veículo próprio permite ao usuário evitar desgaste pessoal devido ao trânsito, redução de gastos com combustível e estacionamento. Outro ponto importante é o menor impacto causado ao meio ambiente pela redução das taxas de emissão de poluentes. As empresas prestadoras deste tipo de serviço, para atrair proprietários de veículos particulares, conferem outras vantagens no uso do transporte, como: conforto de poltronas, maior privacidade, mais segurança, inexistência de passageiros em pé, estresse, horas perdidas no trânsito, pedágio, má qualidade de vida, entre outras.

Para empresas, destacam-se os benefícios da pontualidade de seus funcionários, facilidade de administração, maior produtividade, segurança, qualidade, redução no número de faltas, além da redução de custos pelo fato de o transporte fretado ser mais barato do que o pagamento de passagens individuais.

Como visto nessa seção, o fretamento contínuo apresenta vários benefícios. Contudo, as vantagens apresentadas, de forma individual, não asseguram a eficiência do serviço sem que

este esteja atrelado a um bom planejamento. Portanto, vê-se a necessidade do estudo da roteirização como fator chave para alcance dessa eficiência.

2.2 Roteirização de veículos

A roteirização dos veículos é de grande importância dentro de uma organização, pois a ferramenta consiste em atender à demanda ao menor custo e distância possível, de forma a considerar as restrições de cada problema. Uma rota é caracterizada como uma sequência adequada de pontos de paradas para realizar tal atendimento.

Segundo Takano e Tedesco (2008), pode-se compreender a roteirização como uma programação operacional de um ou mais veículos, mediante a definição ótima dos pontos que devem ser passados por uma rota.

De acordo com Partyka e Hall (2000), para ser definido um problema real de roteirização, são considerados três fatores fundamentais: decisões, objetivos e restrições. As decisões referem-se à determinação de um grupo de clientes, que devem ser visitados por um conjunto de veículos e motoristas, envolvendo também a programação e o sequenciamento das visitas. Os objetivos da roteirização de veículos são de fornecer um serviço de alto nível aos clientes, de forma a manter os custos operacionais e de investimento tão baixo quanto possível. Tais objetivos devem obedecer a certas restrições. Estas são uma garantia para se concluir as rotas com os recursos disponíveis; dentro dos prazos impostos em relação à turnos de trabalho dos motoristas; respeitando as limitações de velocidade; e não menos importante, honrando o compromisso com os clientes.

A roteirização de veículos compreende vários tipos de problemas. Para identificação e descrição destes, Bodin *et al.* (1983) apresentam um conjunto de características (Tabela 2.1). Assim, a combinação das opções destas configura-se um problema.

Tabela 2.1 – Características do problema de roteirização de veículos

Características	Opções possíveis
Tamanho da frota	- Um veículo - Vários veículos
Tipo de frota disponível	- Homogênea (um tipo de veículo) - Heterogênea (vários tipos de veículo) - Veículos especiais (ex: compartimentalizado)
Depósito de veículos	- Um depósito - Vários depósitos
Natureza da demanda	- Determinística - Estocástica - Atendimento parcial da demanda

Localização da demanda	- Nos nós - Nos arcos - Mista
Direção da rede	- Orientada - Não orientada - Mista
Restrições de capacidade do veículo	- Imposta (todos iguais) - Imposta variada (diferentes capacidades) - Não imposta
Tempo máximo da rota	- Imposto - Imposto variado (diferente para diferentes rotas) - Não imposto
Operações	- Somente carregamento - Somente descarga - Mista - Entregas fracionadas
Custos	- Variável ou por rotas - Custo fixo ou de aquisição de veículos
Objetivos	- Minimizar os custos totais da rota - Minimizar o número de veículos necessários - Maximizar a função utilidade com base no serviço - Maximizar a função utilidade com base nas prioridades do cliente

Fonte: Bodin *et al.* (1983)

Uma das dificuldades de modelar e solucionar problemas de roteirização deriva da grande quantidade de parâmetros existentes nesse tipo de problema. Dessa forma, considera-se importante uma adequada classificação dos problemas, pois esta propicia um melhor entendimento dos aspectos mais relevantes e evita uma definição de estratégia errada, tendo em vista que os parâmetros e o problema direcionam a estratégia a ser adotada (BREJON & BELFIORE, 2006).

2.2.1 Classificação dos problemas de roteirização

Segundo Bodin *et al.* (1983), o qual é referenciado por diversos autores, entre eles Cunha (2000), Diniz (2000), Naruo (2003), Neto e Lima (2005), Nagy e Salhia (2007), os problemas de roteirização podem ser classificados em:

- Problemas de roteirização pura de veículos;
- Problemas de programação de veículos e tripulações;
- Problemas combinados de roteirização e programação de veículos.

2.2.1.1 Problemas de roteirização pura de veículos

O problema de roteirização pura de veículos caracteriza-se como um problema espacial, de modo que restrições temporais, as quais referem-se à existência de horários pré-estabelecidos, e as de relações de precedências, relacionadas à dependência de um ponto (ou cliente) em relação ao outro, não são importantes na definição de rotas e sequências. Dentre os principais casos de problemas de roteirização pura, os quais estão descritos na Tabela 2.2, o mais conhecido é o do caixeiro viajante (NARUO, 2003):

Tabela 2.2 – Os problemas básicos de roteirização pura

Problema	Descrição
Caixeiro viajante (PVC)	Consiste em determinar uma rota de mínimo custo que passe por todos os nós de uma rede, apenas uma vez.
Carteiro chinês	Este caso requer a determinação de uma rota e do custo mínimo, de forma que passe por todos os arcos de uma rede, pelo menos uma vez. É o problema de cobertura de arcos.
Múltiplos caixeiros viajantes	É uma generalização do problema do caixeiro viajante, na qual é necessário se considerar mais de um caixeiro viajante (ou veículos). Não há novas restrições e os M veículos iniciam e finalizam suas rotas em um depósito comum.
Roteirização em nós: único depósito, vários veículos	Conhecido como problema clássico de roteirização de veículo (PRV). É outra generalização do problema do caixeiro viajante, onde a frota de veículos parte de um depósito central e serve a todos os nós, com o intuito de minimizar a distância percorrida.
Roteirização em nós: vários depósitos, vários veículos	É uma generalização do problema anterior, porém com vários depósitos, no lugar de um. Cada veículo é alocado a um único depósito.
Roteirização em nós: vários depósitos, vários veículos	É idêntico ao PRV. A diferença é que a demanda não é conhecida com certeza.
Carteiro chinês capacitado	É uma generalização do problema do carteiro chinês, acrescido da restrição de capacidade dos veículos.

Fonte: Naruo (2003)

O problema de roteirização de veículos, conhecido como VRP (do inglês: *Vehicle Routing Problem*) apresenta grande aplicabilidade em situações reais devido às possíveis variações. Ballou (2006) reduz as variações dos problemas de roteirização em dois modelos

básicos: (a) problema de encontrar uma rota ao longo de uma rede em que o ponto de origem é diferente do ponto de destino e (b) problema de fazer itinerários quando os pontos de origem e destino são o mesmo.

2.2.1.2 Problemas de programação de veículos e tripulações

Os problemas de programação de veículos e tripulações (PRVT) consistem na definição das rotas com restrições adicionais, pois devem ser levadas em consideração, além dos aspectos espaciais, as restrições de horários. Esse tipo de problema pode ser encontrado em vários modais.

O PRVT pode ser classificado em dois grupos: (1) programação de veículos e (2) programação de tripulações. Conforme ressaltado por Bodin *et al.* (1983):

A criação da sequência para as atividades dos veículos no espaço e no tempo é o cerne da programação de veículos. Já na programação de tripulação, o objetivo é criar a sequência para o movimento da tripulação no espaço e no tempo, isto é, prover aos ocupantes do veículo a movimentação desejada.

Pode-se ver que estes dois problemas possuem uma relação, de forma que, a especificação da programação de veículos irá definir algumas restrições na programação das tripulações e a recíproca, é verdadeira. Assim, na teoria, os problemas deveriam ser resolvidos em conjunto, como um único problema, porém devido à complexidade, faz-se necessária a divisão. Na prática, muitas estratégias de solução adotam procedimentos sequenciais, de modo a solucionar um e depois o outro, com algum mecanismo de interação entre ambos.

Os casos clássicos de programação de veículos, de acordo com Bodin *et al.* (1983), estão representados na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Os problemas básicos de programação de veículos

Problema	Descrição
Um único depósito	Consiste na divisão dos nós (tarefas) de uma rede acíclica em um conjunto de rotas, de modo que uma determinada função custo seja minimizada. Cada rota corresponde à programação de um veículo. Uma função objetivo que minimiza o número de rotas, efetivamente minimiza os custos desde que o número de veículos necessários seja igual ao de rotas.
Restrições de tamanho da rota	Estes problemas consistem nas considerações de restrições de tempo e distância máxima de viagem, que na prática, representam a necessidade de reabastecimento e manutenção de veículos.
Múltiplos tipos de veículos	Consideram as diferentes características dos veículos para realizarem as

	tarefas. Normalmente a característica considerada é a capacidade do veículo.
Múltiplos depósitos	Consiste em problemas com veículos que realizam tarefas a partir de diferentes depósitos. Os veículos devem sair e chegar ao mesmo depósito e um mínimo e máximo deve ser especificado para o tamanho da frota de cada depósito.

Fonte: Bodin et al. (1983)

Em relação à programação de tripulações, Naruo (2003) apresenta os seguintes exemplos deste tipo de problema (Tabela 2.4).

Tabela 2.4 – Os problemas básicos programação e tripulação

Problema	Descrição
Programação de pessoal para um lugar fixo	Neste problema, divide-se o dia de trabalho em T períodos e especifica-se uma demanda para cada trabalhador para cada período de tempo. Procura-se encontrar um conjunto de programas com trabalhadores para cobrir todas as tarefas. É assumido que pode haver intercâmbio entre os trabalhadores, e que cada trabalhador pode ser deslocado no final de um período de trabalho e que outro pode ser alocado ao serviço em cada começo de um período.
Programação de veículos e tripulação em transporte público	Consiste em determinar a alocação ótima de veículos a um conjunto de viagens programadas de linhas. Também, determinam-se as jornadas de trabalho das tripulações, considerando que as trocas de serviço e de turno só podem ser realizadas em pontos específicos do trajeto das linhas.
Programação de tripulação no transporte aéreo	É semelhante à programação de tripulações em veículos, uma vez que os horários de saída e chegada das rotas aéreas nos diversos pontos são definidos inicialmente.
Programação de pessoal em turnos de vazamento	Consiste na programação diária variando de um dia para outro, de modo que existe um rodízio de turno de pessoal, em função de restrições trabalhistas e equilíbrio do esforço de trabalho, entre outros.

Fonte: Naruo (2003)

2.2.1.3 Problemas combinados de roteirização e programação

O problema combinado, de roteirização e programação, pode ser identificado a partir da existência de precedência de tarefas (coleta deve preceder a entrega e ambas devem ser alocadas ao mesmo veículo) e janelas de tempo (horário de atendimento).

De acordo com Neto e Lima (2006), o problema de roteirização e programação de veículos com janelas de tempo, PRPVJT, é uma variação do PRV. Nesses problemas, uma quantidade de pontos para atendimento tem uma ou mais janelas de tempo durante o qual o serviço pode ser executado. Um exemplo que pode ser considerado é o de um proprietário de uma distribuidora de bebidas que deseja que as suas entregas de produtos sejam feitas entre 10:00 horas e 11:00 horas. Dessa forma, qualquer rota que envolva esta tarefa deve garantir que o tempo de entrega esteja dentro dos limites definidos de tempo.

Segundo Naruo (2003):

Vale a pena se distinguir aqui as janelas de tempo *hard* e *soft*. No caso de janelas de tempo do tipo *hard*, se um veículo chega ao cliente muito cedo, ele terá que esperar para iniciar o atendimento. Em contraste, nas janelas de tempo do tipo *soft*, as restrições de janelas de tempo podem ser violadas, mas sujeitas a penalidades. Exemplos específicos de problemas com janelas de tempo *hard* incluem entregas bancárias, entregas postais, coleta de rejeitos industriais e roteirização e programação de ônibus escolares. Dentro das instâncias do problema com janelas de tempo *soft*, estão os problemas do tipo *dial-a-ride*, que são problemas de roteirização e programação de serviços de transporte de pessoas, em geral utilizados para o transporte porta-a-porta de idosos e deficientes.

Para Diniz (2000), os problemas combinados costumam acontecer na prática e representam muitas aplicações do mundo real. Os principais problemas combinados estão descritos na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 – Os problemas de roteirização e programação

Problema	Descrição
Ônibus escolares	Consiste no problema de um grupo de escolas, cada qual com seu conjunto de paradas de ônibus que tem vinculado, para cada ponto, um dado número de estudantes e uma janela de tempo correspondente aos horários para pegar os alunos nas paradas e levá-los até a escola. O principal objetivo é minimizar os custos de transporte para o município.
Caminhões: cavalo mecânico-carreta com carga completa	O termo carga completa significa que a carreta é engatada ao cavalo mecânico e é transportada direto da origem ao destino. A carga na carreta tem único destino. A capacidade do cavalo mecânico corresponde a apenas uma única carreta. Este problema envolve restrições de precedência.
Caminhões: Cavalo mecânico-carreta com carga parcial	Semelhante ao anterior, mas a carga não precisa ser completa. Assim, a carga da carreta pode ser separada entre diferentes origens e destinos.

Serviços de coleta de resíduos domiciliares e de varrição de ruas	Semelhante ao problema do carteiro chinês, porém com restrições de capacidade dos veículos de duração máxima da jornada e de janelas de tempo associados aos horários de proibição de estacionamento, de forma a possibilitar a execução do serviço de varrição. Em geral, o objetivo consiste na minimização do tempo parado total, para uma frota conhecida.
<i>Dial-a-ride</i> : transporte especial de pessoas	O transporte é obtido a partir do telefone (ligação). Cada usuário tem local de origem e destino diferentes e, eventualmente, horários e faixas de saída e chegada. A precedência entre as tarefas é uma restrição decisiva para a viabilidade da solução.
Aeronaves	Consiste em programar simultaneamente rotas aéreas (início – escalas-fim), com alocação de aeronaves e definição de tabelas de horários. Essa programação leva em consideração dados de demanda entre os pares de cidades, frequência do serviço desejado, voos diretos comparados com voos com escalas, entre outros. Esse problema envolve tanto o transporte de pessoas, como cargas e encomendas.

Fonte: Bodin et al. (1983)

Ronen (1988) propôs uma classificação dos problemas de roteirização e programação de veículos, com base nos ambientes operacionais e nos objetivos buscados. A divisão foi definida da seguinte forma:

1. Problemas de transporte de passageiros:

- Linhas de ônibus, as quais operam de acordo com um horário específico e demanda dependente de horários e rotas;
- Sistema de táxi, que responde à demandas que surgem aleatoriamente em uma região específica;
- Sistemas de transporte de pessoas, ou *dial a ride*, os quais apresentam-se como uma combinação de uma linha de ônibus e táxis, pois viagens são geradas a partir de demandas aleatórias e o transporte pode ser atendido de forma compartilhada por mais de uma demanda;
- Transporte escolar, no qual a demanda é conhecida e devem ser realizada a rota em um curto período de tempo.

2. Problemas de prestação de serviços:

- Roteirização e programação de equipes de reparos, cuja restrição é o tempo longe da base;
- Serviços públicos, os quais precisam da definição de pontos que devem ser passados uma certa quantidade de vezes, respeitando uma orientação definida. Como por exemplo, os serviços de coleta de lixo e entrega de correios.

3. Problemas relativos ao transporte de carga, nos quais o foco é a coleta e distribuição de produtos.

A partir da caracterização da situação-problema de roteirização, identificação de restrições e variáveis, bem como a classificação do mesmo, é preciso definir uma estratégia e/ou método para atingir o objetivo. Contudo, na próxima seção, serão apresentadas técnicas de solução para problemas de roteamento.

2.3 Complexidade dos problemas, estratégias e métodos de solução

O roteamento de veículo surge como uma aplicação prática de um problema de otimização combinatória. De acordo com Carvalho *et al.*(2001), problemas dessa natureza têm o objetivo de encontrar um ponto ótimo (mínimo ou máximo) de uma função definida sobre certo domínio, o qual é finito. Apesar de os elementos de domínio poderem ser facilmente enumerados, realizar testes com todos os elementos na busca da melhor solução, nem sempre é viável, pois costuma-se lidar com um domínio muito grande. Além do número de soluções possíveis, a quantidade de restrições e variáveis consideradas, na formulação do problema, também dificulta a determinação da resposta de forma simples.

Em geral, os problemas de roteirização apresentam alta complexidade e de acordo com GOLDBARG e LUNA (2000), são do tipo NP-Árduos (do inglês *NP-Hard*), porque o grau de dificuldade em resolvê-los aumenta exponencialmente de acordo com o tamanho do problema. Quando o problema é identificado como pertencente a essa classe, significa que não é possível resolver até a otimalidade, o que, como consequência, nos leva a concluir que os métodos de solução de todos os softwares e aplicativos comerciais encontrados no mercado para roteirização de veículos são heurísticos, ou seja, não asseguram a obtenção da solução ótima do ponto de vista matemático (CUNHA, 2000). Assim, para solucionar problemas complexos, são utilizadas técnicas para encontrar soluções próximas da ótima, cujo cálculo computacional é mais rápido.

A busca por estratégias e métodos de soluções de rotas e de programação de veículos está em expansão e apresenta-se como fator importante para auxílio na tomada de decisões referentes a questões de consolidação de cargas para entregas e/ou coletas. Assim, vários estudos apontam estratégias e métodos de soluções para esses problemas, como podem ser vistos nas seções seguintes.

2.3.1 Estratégias de Solução

Bodin *et al.* (1983) classificaram as estratégias de solução para os problemas de roteirização de veículos da seguinte forma:

- Agrupa primeiro – Roteiriza depois (*cluster first – route second*): O procedimento consiste em agrupar, primeiro, os nós ou arcos de demanda, e em seguida, construir rotas econômicas para cada agrupamento.
- Roteiriza primeiro – Agrupa depois (*route first – cluster second*): O procedimento consiste em, primeiro, criar uma grande rota ou ciclo (geralmente inviável), de modo a incluir todas as demandas. Depois, essa grande rota é dividida em rotas menores, porém viáveis.
- Economias ou inserções: Esses procedimentos consistem na definição de uma solução, de modo que, a cada passo, a configuração analisada é comparada com uma configuração alternativa. A configuração alternativa é aquela que produz a maior economia em relação à função objetivo, como o custo total. O processo é concluído até que todas as alternativas possíveis sejam consideradas e se obtenha uma configuração viável.
- Melhoria/troca: Procedimento heurístico que, em cada etapa, uma solução viável é alterada, resultando em outra solução com menor custo. O processo é finalizado quando não é possível reduzir mais o custo.
- Programação matemática: Este procedimento inclui algoritmos que são diretamente baseados em formulações matemáticas do problema em questão.
- Otimização interativa: Este procedimento requer interação humana no processo de solução do problema. O propósito é, com base na experiência do decisor, fixar parâmetros e realizar correções subjetivas no modelo.
- Métodos exatos: Procedimentos para problemas de roteirização de veículos que incluem técnicas especializadas de *branch and bound*, programação inteira-mista e programação linear inteira.

2.3.2 Métodos de solução

Enquanto Laporte (1992) classifica os métodos de solução em: algoritmos exatos e heurísticos, Cunha (1997) divide os métodos em três categorias:

- Métodos exatos – fornecem a solução ótima;
- Métodos heurísticos – fornecem soluções aproximadas, porém de forma rápida;
- Métodos emergentes – agrupam técnicas mais novas e avançadas com base em sistemas especialistas ou em métodos de busca ou iterativos.

Na próxima seção, serão apresentados de forma, mais detalhada os métodos citados acima.

2.3.2.1 Métodos exatos

Os métodos de solução exata são utilizados para partes “resumidas” do problema, porque para os demais problemas, ou seja, problemas maiores, seria necessário muito tempo de processamento (BEZERRA, 2005). Outra característica dos métodos exatos consiste no forte embasamento teórico, fator que proporciona a obtenção de soluções ótimas desde que se disponha de memória e tempo computacional suficiente. Dentre os métodos exatos, encontra-se: busca tabu, programação dinâmica, algoritmo das p-mediana, entre outros.

Os algoritmos exatos para o PRV são classificados por Laporte (1992) em três categorias:

- Métodos de busca direta em árvore;

De acordo com O algoritmo *Branch and Bound* é um dos mais usados algoritmos para solucionar problemas de otimização combinatória. Este algoritmo permite encontrar as soluções ótimas de um problema e provar que nenhuma outra melhor, existe. Resolver um problema de otimização combinatória, consiste em achar a solução a partir do custo considerado ótimo dentre todo o conjunto finito de soluções viáveis. Contudo, os algoritmos *Branch and Bound* são baseados na enumeração implícita de todas as soluções sobre o espaço de busca.

- Programação dinâmica;

Métodos de Programação dinâmica são métodos aos quais os algoritmos são utilizados para solucionar problemas computacionais, em especial aqueles de otimização combinatória. Seu diferencial é que uma nova solução ótima pode ser obtida a partir da solução ótima previamente calculada, com o objetivo de evitar recálculos desnecessários.

- Programação linear inteira.

Basicamente um problema de Programação Linear Inteira é um problema de Programação Linear em que todas ou alguma(s) das suas variáveis que são discretas têm de assumir valores inteiros. Quando todas as variáveis estão sujeitas à condição de integralidade, caracteriza-se um problema de Programação Linear Inteira Pura, e se apenas algumas estão, trata-se de um problema de Programação Linear Inteira Mista. Embora a Programação Inteira inclua também a Programação Não-Linear Inteira, em praticamente todos os modelos da vida real se preserva a estrutura linear das funções, pelo que quase não existe diferença entre a PI e a PLI.

2.3.2.2 Métodos heurísticos

Os métodos heurísticos, também chamados de métodos de aproximação, são rápidos e permitem encontrar uma solução viável para um determinado problema, em um tempo razoável, porém não asseguram encontrar a melhor solução. O procedimento, em geral, é um algoritmo iterativo completo, no qual, cada iteração abrange a procura por uma nova solução que, poderia ser melhor que o melhor resultado encontrado até então (HILLIER & LIEBERMAN, 2006).

Comparando com os métodos exatos, considera-se que apesar de as heurísticas não garantirem a obtenção da solução ótima, estas não apresentam as principais limitações daqueles, de forma que heurísticas bem projetadas, produzem soluções sub-ótimas em tempos computacionais aceitáveis (BREJON & BELFIORE, 2006).

Quanto mais restrições são consideradas em um problema de roteirização e programação, mais difícil é encontrar a solução (BALLOU, 2001). Nessa abordagem, avalia-se alguns métodos de aproximação – Gillet e Miller ; Método das Inserções; Heurística de Melhoria – de forma simples, e apresenta-se um maior detalhamento da heurística de Clarke e Wright, do método das economias, pois é o procedimento adotado na aplicação do estudo.

- Gillet e Miller

O algoritmo de Gillet e Miller é conhecido como método de varredura. Esta heurística é usada para solucionar o problema de cobertura do nó, onde um número de nós tem que ser visitados sem repetir nenhuma visita e minimizar a função custo. O método de Gillet e Miller é um membro dos algoritmos heurísticos chamados *Cluster First, Route Second* (Agrupar primeiro, Roteirizar depois), onde os nós são agrupados em conjuntos e posteriormente é otimizado a forma de visitar os nós.

- Método das Inserções

Uma abordagem intuitiva para o problema do caixeiro é iniciar com um *subtour*. Por exemplo, realizar um *tour* no subconjunto de nós, e então estender este tour através da inserção de um dos nós restantes depois do outro, até que todos os nós sejam inseridos na rota. Existem várias possibilidades para implementar tal esquema de inserção, como por exemplo, inserção mais rápida e inserção mais distante.

- Heurísticas de Melhoria

Neste tipo de Heurística, são feitas trocas com o objetivo de melhorá-la a partir de uma solução inicial, de modo que a cada passo, uma troca é efetuada a fim de diminuir o custo original da rota. Estas tentativas de troca são feitas até um critério de parada, pré-estabelecidos, como o tempo, um determinado número de iterações ou a não existência de soluções melhores no espaço de trocas definido. Alguns métodos das heurísticas de melhoria são: Heurística 2-OPT Intra-rotas, Heurística 2-OPT Inter-rotas, e Swap.

- Clarke e Wright

O método Clark e Wright tem por objetivo otimizar a roteirização de um frota de veículos de variada capacidade utilizada para distribuir, a partir de um ponto central (*central depot*), para locais de entrega (MARQUES, 2007).

Esse método baseia-se no conceito de ganho, obtido ao se ligar dois nós de forma sucessiva num roteiro. Mais formalmente, trata-se de uma heurística iterativa de construção baseada numa função gulosa de inserção de nós. A cada passo da heurística procura-se efetuar uma união de duas rotas que não viole restrições do problema, o que inclui os problemas de tempo de ciclo e de capacidade de veículos, que proporcione a maior economia, a qual é composta por: Redução do número de veículos em uma unidade; Redução da distância total (LEHMANN *et. al*, 2009; FERREIRA & PUREZA, 2010).

Sendo D o depósito, i e j nós e $s_{i,j}$ o valor dos ganhos, segue abaixo o método passo a passo (LEHMANN *et. al*, 2009) :

- Passo 1: Calcular os ganhos $s_{i,j}$ para todos os pares i, j . ($s_{i,j} = d(D, i) + d(D, j) - d(i, j)$);
- Passo 2: Ordenar os pares i, j na ordem decrescente de ganhos;
- Passo 3: Iniciar o roteiro pelo par i, j com maior ganho $s_{i,j}$ e seguindo a ordem obtida no anterior;

- Passo 4: Para um par de nós i, j correspondente aok -ésimo elemento da sequência obtida no Passo 2, verificar se i e j estão ou não incluídos no roteiro:
 - Se não estiverem incluídos, criar um novo roteiro com estes nós.
 - Se um dos nós pertencer ao roteiro, verificar se este é adjacente a D . Se positivo acrescentar o arco i, j ao roteiro. Caso contrário pular para o par i, j seguinte.
 - Se ambos pertencerem a roteiros distintos, verificar se ambos são extremos. Se positivo, juntar os dois roteiros. Caso contrário pular para o par i, j seguinte.
 - Se ambos pertencerem ao mesmo roteiro, pular para o par i, j seguinte.
 - Após o término da lista de ganhos, se ainda houver algum nó não incluído em nenhum roteiro, criar um novo roteiro individualizado, ligando o nó ao depósito.

A Figura 2.1 representa o conceito do benefício obtido a partir do método. Na primeira situação (Figura 2.1-a), mostra-se a pior configuração, em que o veículo sai do depósito com a mercadoria de um único cliente e, feita a entrega, o veículo retorna ao depósito. Já a segunda situação (Figura 2.1-b), apresenta o ganho obtido a partir da junção dos dois clientes em uma mesma viagem.

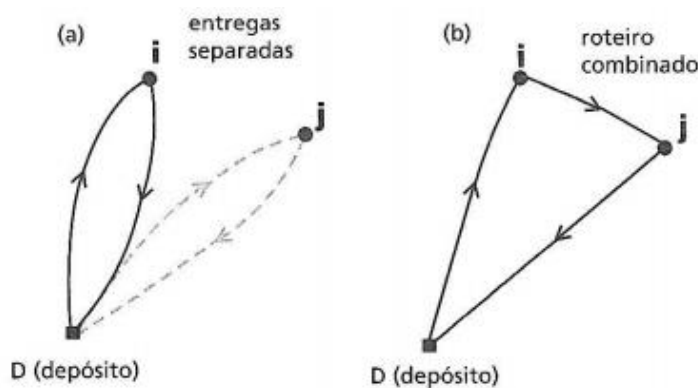


Figura 2.1 - Ilustração do conceito de ganho com a integração de dois clientes em roteiro compartilhado

Fonte: Novaes (2004)

2.3.2.3 Algoritmos emergentes

Os métodos emergentes reúnem técnicas mais recentes e avançadas, como as metaheurísticas. Com o intuito de mudar e melhorar gradualmente a solução, os métodos emergentes, apesar de poderem de ser classificados como métodos heurísticos, foram categorizados dessa forma, por utilizarem no mínimo dois procedimentos (CUNHA, 1997).

Como citado, as metaheurísticas configuram-se como métodos emergentes e dessa forma, considera-se importante pontuá-las.

As metaheurísticas são princípios e ideias que levam ao desenvolvimento de novas classes de heurísticas, as quais buscam melhorar a eficiência de algoritmos aproximados e o número de solução para problemas complexos encontrados na prática (NORONHA, 2001 *apud* LISBOA, 2007). De acordo com a definição original de Glover e Kochenberger (2003), as metaheurísticas são métodos de solução que coordenam procedimentos de busca local, de forma a criar um processo capaz de escapar de mínimos locais e realizar uma busca robusta no espaço de soluções de um problema. E só posteriormente passou a abranger problemas mais complexos, onde buscou incorporar o conceito de vizinhança.

Para Lisboa (2007), o objetivo da metaheurística é desviar de armadilha dos mínimos locais, de forma a buscar novas soluções vizinhas que sejam melhores que as soluções encontradas anteriormente, através da inserção de perturbações que impedem que a solução fique restrita a um ótimo local.

Por ser uma melhoria das heurísticas, que são métodos de aproximação, as metaheurística visam gerar um resultado satisfatório, porém, não garantem a otimalidade, de modo que são aplicadas para encontrar respostas de problemas que contêm poucas informações.

As metaheurísticas podem ser classificadas de diversas formas, onde as principais classificações são metaheurísticas de relaxação, construtivas, de busca e evolutivas. Os aspectos gerais das classificações podem ser vistos na Tabela 2.6.

Tabela 2.6 – Aspectos gerais de classificação das metaheurísticas

Metaheurísticas	Aspectos Gerais	Principais Métodos
De relaxação	Referem-se aos procedimentos de resolução de problemas que utilizam relaxação do modelo original que facilitam a solução	Relaxação Lagrangeana
Construtivas	São oriundas de uma função gulosa a partir da escolha dos elementos que produzem melhores resultados imediatos. Através de procedimentos que obtêm soluções do problema por meio de um procedimento que incorpora iterativamente elementos a uma estrutura, inicialmente vazia que representa a solução.	GRASP, Colônia de Formigas
De busca	Definem estratégias para percorrer o	Busca Tabu, <i>Simulated</i>

	espaço de soluções do problema, transformando de forma iterativa a solução inicial.	<i>Annealing, Hill Climbing, Best-first Search</i>
Evolutivas	Determinam estratégias que conduzem a evolução no espaço de busca do conjunto de soluções. É semelhante aos métodos de busca, diferenciando-se pela utilização de um conjunto de soluções simultâneas para definir a melhor solução.	Algoritmos Genéticos, Otimização por Enxame de Partículas.

Fonte: Adaptado de Santana et al. (2004) apud Lisboa (2007)

Diante do exposto, vê-se que a roteirização envolve a alocação ótima de um grupo de clientes em roteiros, mediante a definição de estratégias para execução das rotas e identificação das restrições e variáveis. Assim, pode-se afirmar que a técnica contribui para um planejamento apropriado de modo a auxiliar as tomadas de decisão e a evitar eventos inesperados.

3 METODOLOGIA

3.1 Classificação da pesquisa

Para Gil (1999), pesquisa consiste em um processo formal e sistemático de desenvolvimento do método científico com o intuito principal de levantar soluções para problemas a partir do uso de procedimentos científicos.

As pesquisas podem ser classificadas de diversas formas (SILVA & MENEZES, 2005). A classificação pode ser feita quanto à natureza, abordagem do problema, objetivos e procedimentos técnicos da pesquisa.

Do ponto de vista da natureza da pesquisa, do trabalho em questão, pode-se classificar como aplicada, pois a mesma visa gerar conhecimentos para serem aplicados na prática para solucionar problemas específicos.

Quanto à abordagem do problema, é categorizada como pesquisa quantitativa que, segundo Silva e Menezes (2005), leva em consideração tudo que pode ser quantificável, de modo que é possível transformar em números, informações e assim, serem feitas análises e classificações. Além disso, outro fator que torna a pesquisa quantitativa é a necessidade do uso de técnicas estatísticas.

Em relação aos objetivos, avalia-se a pesquisa como exploratória e descritiva. Os estudos exploratório-descritivos combinados configuram-se como análises cujo objetivo é descrever completamente determinado fenômeno, como o estudo de caso (LAKATOS & MARCONI, 2003).

E quanto aos procedimentos técnicos, a pesquisa se caracteriza como estudo de caso. De acordo com Gil (1999), o estudo de caso envolve o estudo aprofundado de aspectos empíricos e teóricos, com o objetivo de alcançar conhecimento.

Para a realização das pesquisas, é preciso selecionar uma parte de uma população, ou universo, de modo esta seja representativa, pois, de modo geral, as pesquisas são muito abrangentes, o que torna inviável a realização da mesma em sua totalidade. Logo, é mais fácil trabalhar com amostras, pequenas partes dos elementos que compõem o universo, para realizar as pesquisas (GIL, 2008).

A observação técnica para coleta de dados usada na pesquisa foi a observação, a qual, de acordo Gil (2008), é realizada a partir de visitas, o que favorece o estudo, pois os fatos são percebidos diretamente, sem qualquer interferência, com o objetivo de adquirir informações e conhecimentos relevantes para a pesquisa.

Ainda segundo Gil (2008), a utilização desse método, pode adotar várias modalidades, sobretudo em função dos meios usados e do grau de participação do pesquisador. Pelos meios utilizados, a observação pode ser estruturada ou não estruturada. Já em relação ao grau de participação, este pode ser participante ou não participante. O tipo que caracteriza essa pesquisa científica é de observação participante não estruturada, de modo que a participação é simples, pois o observador é mais um espectador que um ator da empresa estudada.

3.2 Desenvolvimento da pesquisa

Com o intuito de estruturar e organizar as etapas que fizeram parte da pesquisa foi desenvolvido um fluxo (Figura 3.1). Este é composto por 6 atividades que incluem desde o surgimento do tema até os resultados encontrados.

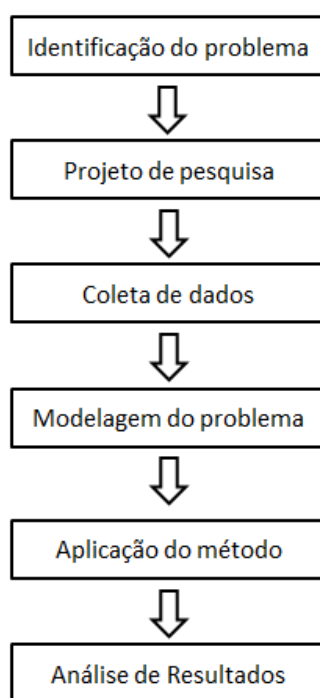


Figura 3.1 – Metodologia

Fonte: Esta pesquisa

Primeiramente, retrata-se como o surgiu o problema. Em seguida, foi feito um projeto de pesquisa que definiu as atividades que deveriam ser realizadas ao longo da pesquisa para atingir o objetivo de aplicar uma técnica de roteirização para otimizar as rotas de uma empresa de transporte. Após a definição do que deveria ser realizado, iniciou-se uma pesquisa bibliográfica por meio de livros, periódicos, artigos e teses que continham assuntos relacionados ao tema. Em paralelo à busca de referências, foi feita a coleta de dados.

Para coleta de dados, foram feitas visitas à empresa de transporte, a fim de encontrar informações a cerca do atual plano de roteirização, definição de rotas, horários pré-

estabelecidos de chegada, número de veículos disponível para o serviço e endereços exigidos como paradas obrigatórias. Após a coleta dos endereços, foi usado o *Google Maps*, serviço *online* que dispõe de mapas de cidades e de várias ferramentas como a possibilidade de medir distâncias entre pontos e identificar a latitude e longitude dos mesmos com precisão.

Na sequência, é feita a modelagem do problema e aplicado os dados da empresa ao método de Clarke e Wright através da ferramenta *LogWare*, que abrange uma coleção de programas que avaliam casos logísticos. Por fim, analisa-se os resultados obtidos e compara-se com a situação atual.

4 ESTUDO DE CASO

A condução dos funcionários até a empresa é um fator importante na manutenção dos custos organizacionais e da qualidade do trabalho dos empregados. Como os colaboradores não são produtos, como é o caso da coleta e entrega de cargas, fatores relacionados à qualidade – como conforto e segurança, e também à eficiência no transporte até o trabalho, somam como uma restrição que tornam os problemas mais complexos comparados aos problemas de roteirização de veículos tradicionais.

Neste capítulo, será feita a descrição da empresa de ônibus, detalhando o modelo utilizado atualmente, bem como os resultados obtidos através da metodologia aplicada para solucionar o problema. Em seguida, relacionam-se os resultados alcançados com as estratégias usadas pela empresa.

4.1 Caracterização da empresa

A empresa de transporte, em estudo, está localizada na cidade de Caruaru, Pernambuco. Atua no mercado desde 2007 apresentando dois tipos de serviços: *business to business* (serviço entre empresas) e serviço ao consumidor, de modo a atender à linhas rurais, realizar fretamentos contínuos e viagens especiais. A maior atuação da organização é nos serviços de fretamento contínuo que representa cerca de 83% do faturamento total.

A empresa freta ônibus para várias empresas da região. Dentre estas, pôde-se ver que uma requer maior planejamento por apresentar um grande número de funcionários (entre 1800 e 2000), 4 turnos e a necessidade de mais de um veículo por turno. Assim, viu-se a necessidade de avaliar o serviço que está sendo prestado para tal empresa e propor alternativas a partir da aplicação de um modelo de roteirização, com o intuito de diminuir as distâncias percorridas pelos veículos. Para facilitar a identificação e preservar a identidade da contratante, no estudo, esta será chamada de empresa X.

4.2 Definição do problema

O trabalho em questão trata de um problema de decisão de transporte ligado à roteirização de veículos e coleta de funcionários da empresa X. Os pontos de origem e destino são a própria solicitante do serviço, pois a dinâmica de deslocamentos consiste em coletar os colaboradores de um turno e leva-los até a empresa. Quando é feita a “entrega” destes, são

coletados os funcionários do turno anterior e é feita a distribuição física dos mesmos e, assim, é feita a logística de transporte.

Para o levantamento de dados, foram realizadas entrevistas, com a finalidade de compreender o modelo atual, e a solicitação de dados referentes aos endereços de parada. A meta desta base de dados é atender toda a demanda exigida pela empresa X.

Atualmente, a empresa de ônibus não utiliza um método para definição de rotas, de forma que a contratante fornece seus endereços e a contratada define os caminhos com base em conhecimentos sobre a região visando unir pontos de parada mais próximos. Assim, pôde-se ver que as rotas são definidas de maneira genérica. Verifica-se, então, que apesar de não existir um procedimento padrão, o método que mais se aproxima da realidade da empresa é o do vizinho mais próximo, o qual não apresenta um alto grau de precisão.

Na prestação de serviços à empresa X, viu-se que, hoje em dia, são necessários nove veículos, sendo dois reservas para atender a eventualidades como: quebra, atraso, manutenção. Os veículos estão distribuídos em rotas de A até G, de modo a atingir, em cada turno, vinte e três bairros da cidade, conforme esboço na Figura 4.1. Cada veículo comporta 45 passageiros.

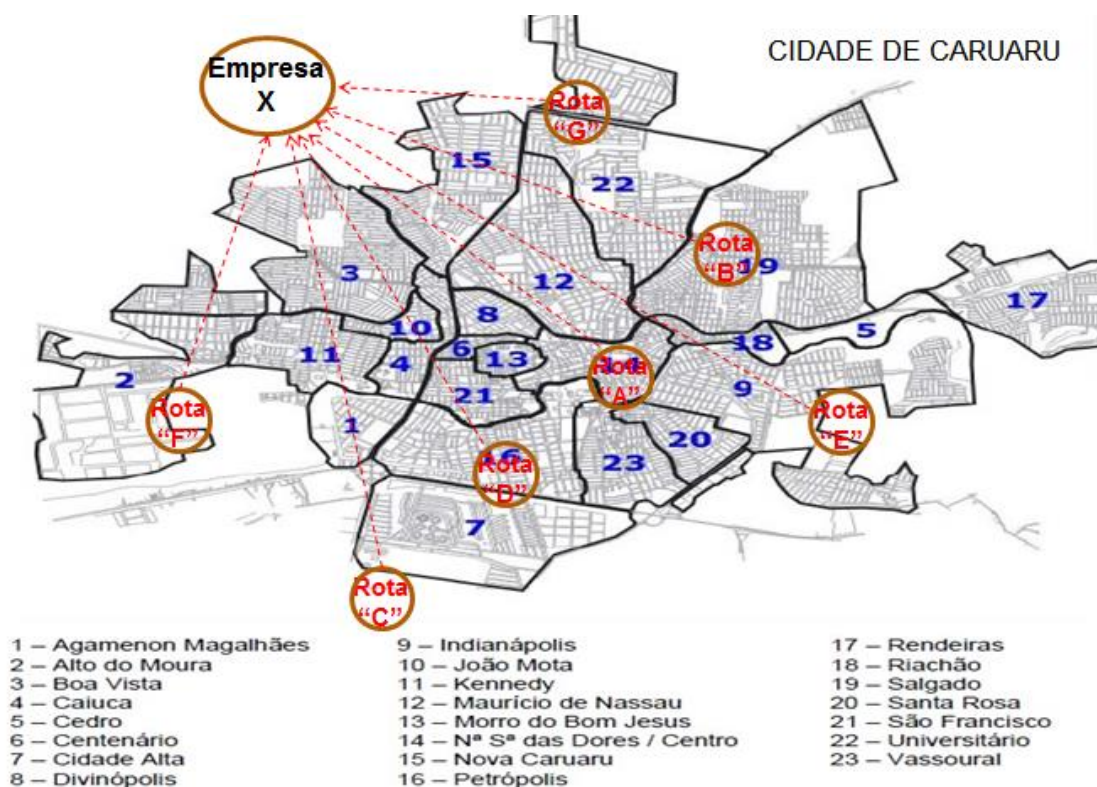


Figura 4.1 – Distribuição de rotas na cidade de Caruaru

Fonte: Adaptado de Prefeitura de Caruaru

Para visualização dos itinerários de cada um, dos sete veículos designados para realizar o transporte de passageiros, foi usado o Sistema de Informação Geográfica - *Google Maps*, serviço online que disponibiliza mapas de lugares e suas principais vias, de forma a fornecer distâncias e localizar endereços. O detalhamento de cada rota pode ser visto no Apêndice 1.

Assim, o problema consiste em encontrar rotas de ônibus que garantam um serviço eficiente para todos os funcionários, de forma a ter um menor custo para a empresa contratante e, um maior conforto para o empregado. A solução desse problema favorece a relação empresa-funcionário.

A próxima seção mostrará aspectos relevantes para a nova definição das rotas, bem como a aplicação do método de Clarke e Wright, com o objetivo de minimizar a distância total percorrida pela frota.

4.3 Aplicação do método

Analisando os procedimentos da empresa de ônibus na definição de rotas, alguns pontos ficaram claros: o primeiro é a existência do cruzamento de rotas durante os percursos realizados pelos ônibus; o segundo aspecto é a duplicidade de trechos; e o terceiro fator é a proximidade dos pontos, pois de acordo com a Companhia Brasileira de Trens Urbanos – CBTU, o distanciamento médio recomendado entre as paradas é de 300 a 400 m nas áreas centrais, de 400 a 600 m nas áreas intermediárias e de 600 a 800 m nas áreas periféricas das cidades.

Esses fatos puderam ser comprovados em várias rotas. Nas rotas “C”, “D” e “G”, podem ser observados vários trechos sobrepostos. A partir do diagnóstico elaborado quanto à taxa de ocupação, pôde-se perceber que nos turnos das 10h e 16h, pelo menos um veículo é ocupado com menos de 60% da capacidade, ou seja, não há necessidade de todos os ônibus fazerem os percursos. Desta forma, a linha “C” poderia ser retirada e a demanda dessa rota seria suprida pela rota “G”. Mesmo em horários de maior fluxo apenas duas linhas seriam necessárias para suprir a demanda dos bairros Riachão e Salgado.

A duplicidade de trechos dentro de uma mesma rota foi encontrada nas rotas “E” e “G”, principalmente em ruas periféricas. Recomenda-se, então, que se evite essa duplicação e se trace caminhos onde o fluxo ocorrerá de forma mais contínua.

Quanto à proximidade dos pontos, vê-se que esse fato é recorrente em todas as rotas existentes e por isso, a necessidade de retirá-los para redução das distâncias percorridas e

otimização do problema. Pelos motivos citados, o trabalho busca oportunidades de melhoria na definição das rotas.

Para avaliar as oportunidades, visualizou-se a necessidade da aplicação de algum método adaptável à realidade da empresa de transporte. Para tal, optou-se por utilizar a ferramenta *LogWare*, versão 4.0 disponível no livro “Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial”, de Ronald Ballou. Essa ferramenta apresenta um conjunto de programas para análise de uma variedade de problemas e estudos logísticos. Dentro do pacote disponibilizado, foi usado o *software Router*, que desenvolve rotas e programações para uma frota de veículos. Este software de roteirização é um dentre vários que se apoiam no algoritmo de Clarke e Wright. Tal fato deve-se a rapidez, do ponto de vista de tempo de processamento, da heurística das economias, a qual apresenta a capacidade de resolver, de forma satisfatória, problemas com diferentes restrições sem interferir muito na qualidade das soluções (TEIXEIRA& CUNHA, 2002).

Para a definição da rota, foi necessário considerar alguns dados de entrada, os quais estão apresentados a seguir com as respectivas considerações feitas para definição destes. Assim, as entradas para melhoria das rotas foram:

- Coordenadas dos pontos – Foram definidas as coordenadas (latitude e longitude) de cada ponto de parada considerado a partir do *Google Maps*. Contudo, antes de obter essas coordenadas, foram definidos os pontos de paradas fornecidos pela empresa, de modo a levar em consideração os requisitos citados no início da seção, que enfatiza a sobreposição de rotas causada pela repetição de pontos em diferentes rotas e também, foi respeitado as definições da CBTU quanto às distância entre paradas. Assim, o número de pontos considerados foi 74.
- Dias de trabalho – Nesse ponto, a partir dos dados passados pela empresa, foi analisada a quantidade de dias trabalhados por semana. Assim, o serviço é realizado durante 6 dias da semana (de segunda-feira à sábado).
- Restrições de rota – Essas restrições são referentes aos horários e distâncias. Foi considerado, 1 hora e 30 minutos como tempo máximo permitido a um veículo em uma rota, de modo que os veículos não atrasem na coleta e nem na distribuição física de funcionários.
- Zonas de velocidade – Com base nas diferenças entre áreas urbanas e rurais e, congestionamentos e extensões livres, definiu-se que a velocidade média entre paradas na zona urbana é de 25 km/h, enquanto na BR, foi de 80 km/h.

- Volumes de parada– Foi considerado nesse aspecto, com base nas informações passadas pela empresa, quantas pessoas em média ficam em cada parada. A média foi considerada com base em um dia de trabalho – 4 turnos.
- Capacidade veicular – Foram considerados 7 veículos com capacidade para transportar 45 passageiros.
- Custos – Os custos das rotas foram definidos a partir da soma dos custos associados à manutenção do veículo e ao motorista. Os custos dos veículos foram feitos com base na taxa fixa por veículo (depreciação) e a taxa variável por quilômetro para operar o veículo (combustível). Já os custos com motorista foram definidos apenas a partir dos custos fixos (salários e auxílios), pois não foi feita a consideração de horas extras.

A partir dessa ferramenta, foi possível definir a roteirização para os 7 veículos considerados. Os resultados obtidos serão apresentados na próxima seção.

4.4 Análise de Resultados

A heurística de Clarke e Wright, aplicada através do *software Router*, apresentou resultados positivos para o estudo. Os 74 pontos a serem roteirizados foram divididos em 7 roteiros, de acordo com as regiões da cidade de Caruaru, de modo que cada roteiro foi compilado separadamente. A alocação dos pontos foi feita, basicamente, da mesma forma que foi definida no modelo atual da empresa, porém os resultados obtidos não foram os mesmos, tendo em vista que uma definição foi feita por meios empíricos e o estudo, em questão, realizou a roteirização a partir de um *software* embasado em uma heurística. Assim, um resumo das saídas obtidas pelo programa pode ser visto na Tabela 4.1. Os gráficos plotados para cada rota encontram-se no Apêndice 2.

Tabela 4.1 – Resumo das saídas pelo programa LogWare

Nome /Rota	Rota	Nº Pontos	Distância	Tempo	Custo
A	6 – 1- 2 – 3 – 4 -5	6	24 km	40 min	R\$ 31,38
B	16 – 17 – 13 – 14 – 10 – 9 – 8 – 7 – 11 – 12 – 15–18	12	25,6 km	47 min	R\$ 32,90
C	32 – 19 – 21 – 20 – 24 – 23 – 22 – 25 – 26 – 27 – 28 – 29 – 30–31	14	32 km	63 min	R\$ 36,18
D	33 – 42 – 40 – 41 – 39 – 34 – 38 – 37- 36–35	10	30,4 km	51 min	R\$ 34,72
E	54 – 50 – 52 – 53 – 45 – 47 – 46 – 49 – 51 – 44 – 43–48	12	36,8 km	67 min	R\$ 38,38
F	56 – 57 – 59 – 60 – 61 – 58 – 55 – 64 – 63–62	10	20,8 km	42 min	R\$ 30,42

G	73 – 74 – 72 – 66 – 65 – 67 – 68 – 71 – 69 – 70	10	30,4 km	46 min	R\$ 34,70
---	---	----	---------	--------	-----------

Fonte: Esta pesquisa

4.5 Comparação entre os modelos empírico e heurístico

Para avaliar o rendimento dos métodos atual e o proposto, foram feitas análises de distância percorrida, custo e tempo de deslocamento, como pode ser visto nas Figuras 4.2, 4.3 e 4.4.

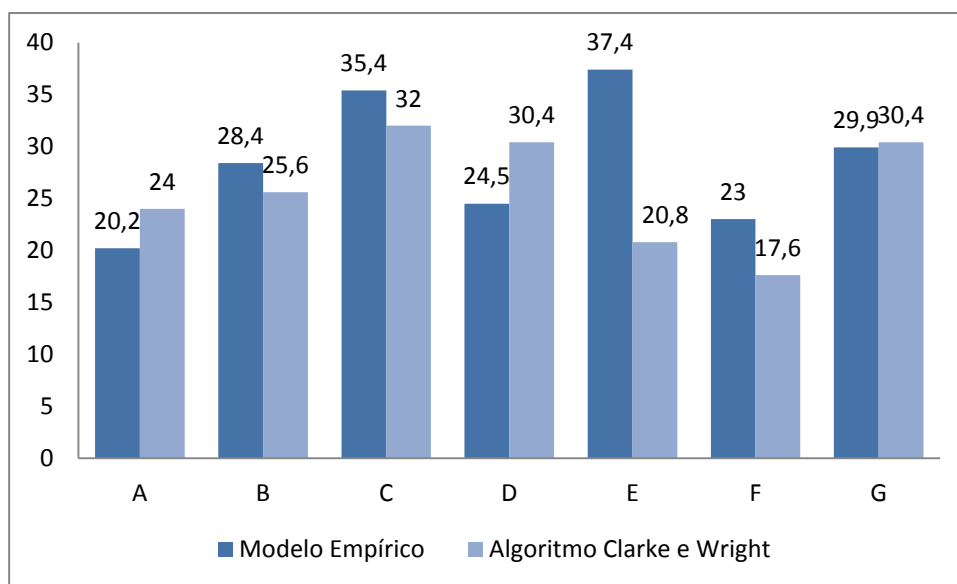


Figura 4.2 – Análise de distâncias percorridas em cada rota por modelo

Fonte: Esta pesquisa

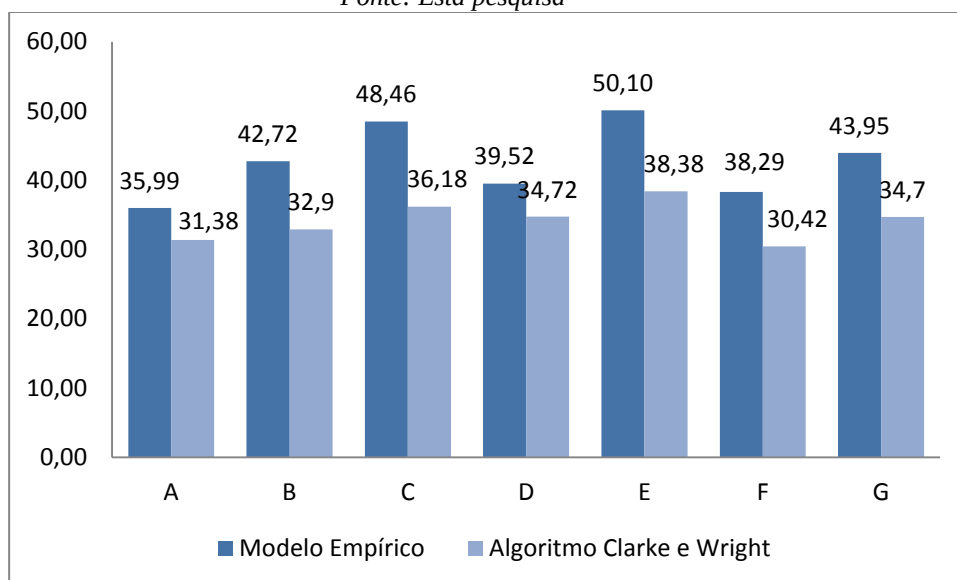


Figura 4.3 – Análise de custo de transporte em cada rota por modelo

Fonte: Esta pesquisa

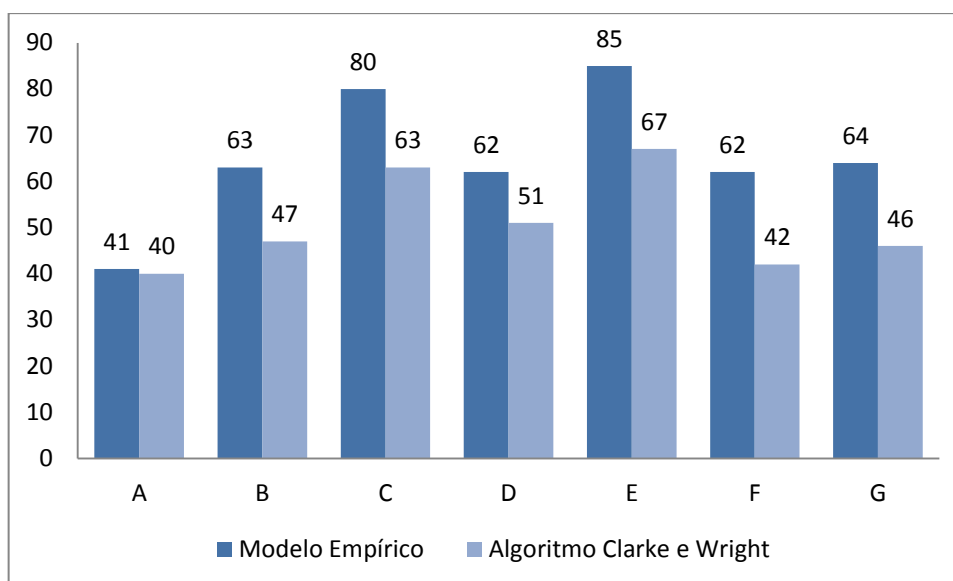


Figura 4.4 – Análise de tempo de transporte em cada rota por modelo

Fonte: Esta pesquisa

Com o intuito de verificar a efetividade do método e realizar uma comparação entre os resultados, elaborou-se a Tabela 4.2. Pode-se ver que, em relação aos quilômetros rodados, houve uma redução de 9,05%, o que mostra a eficiência do algoritmo de Clarke e Wright na busca de rotas que minimizam a distância percorrida. Além disso, do modelo atual para o proposto, ressalta-se a diminuição significativa de 20,18% em relação aos custos de transporte e de 22,10% do ponto de vista do tempo de deslocamento.

Tabela 4.2 – Dados para comparação entre modelos

	Modelo Empírico	Heurística Clarke e Wright
Total de pontos	122	74
Km rodados	198,8	180,8
Tempo em rota	335	356
Custo	299,03	238,68

Fonte: Esta pesquisa

Contudo, os dados mostram que é possível se alcançar melhores resultados, porém antes da implementação de qualquer mudança, deve ser feita uma análise dos mesmos, de modo a serem levados em considerações diversos aspectos relevantes ao problema.

Após a obtenção dos resultados, estes foram apresentados à empresa de ônibus, a qual mostrou-se satisfeita com a descrição feita. Entretanto, a organização apresentou receio quanto à redução da quantidade de pontos de parada, pois tal fator foi definido a partir da análise de todos os endereços e foi aprovado pela empresa contratante. Desse modo, uma redução no número de pontos, resultaria, provavelmente, no descontentamento de alguns usuários que fosse “prejudicados” pela mudança.

5 CONCLUSÃO

Uma boa definição de rotas é uma atividade necessária para uma empresa de ônibus, pois a partir desta, decisões sobre a gestão dos recursos são tomadas e uma decisão incorreta pode gerar grandes implicações para a organização. A roteirização provou ser uma ferramenta coerente, na qual as variações de restrições configuram problemas diferentes com o mesmo intuito, que é reduzir custos operacionais mediante os deslocamentos dos veículos. Diante do cenário atual, vê-se que esse instrumento pode suportar a empresa no planejamento e operação de sistemas de transporte de funcionários à medida que proporciona operações mais eficientes tanto no âmbito econômico quanto no aspecto de nível de serviço.

A utilização do *Google Maps*, Sistema de Informação Geográfica, ajudou na visualização dos dados originais e atrelado a aplicação do método de Clarke e Wright, por meio da ferramenta *LogWare*, permitiu a redução de distâncias percorridas nas rotas. Dessa forma, as ferramentas utilizadas proporcionaram à empresa estudada, uma oportunidade de melhorar o seu modelo de roteirização. Para tanto, destaca-se a importância da análise dos dados antes da implementação de qualquer modelo, pois a maioria busca racionalizar um parâmetro.

O estudo de caso levantou aspectos que foram fundamentais para estruturação do problema e que podem ser adotados pela empresa, no que se refere ao não uso de toda capacidade de recursos, como também para redução das distâncias percorridas. O método utilizado pode ser aplicado a outros serviços de empresas de transporte, como no transporte público – serviço de linhas.

Existiram limitações durante o estudo, como a falta de informações a respeito dos endereços de pontos de paradas, pois os dados passados apresentavam nomes de pontos locais como referências, de modo que uma pessoa que não tenha total conhecimento de todas as áreas da cidade, não consegue se localizar. Outra limitação é o não reconhecimento de todas as ruas pelo sistema de informação utilizado. Além dessas, evidencia-se a não consideração da malha rodoviária real pelo software da ferramenta *LogWare*.

Para trabalhos futuros, pode-se melhorar o procedimento de roteirização por meio do uso de um método exato, o qual visa encontrar a solução ótima global. Também recomenda-se, a utilização de um sistema de informação geográfica que englobe e reconheça toda a região analisada, bem como esteja atrelado ao *software* utilizado para solucionar o problema,

para que, dessa forma, a solução encontrada seja viável no que se refere à malha rodoviária real.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). Dispõe sobre a regulamentação da prestação do serviço de transporte rodoviário interestadual e internacional de passageiros, sob o regime de fretamento. Resolução n. 1166, de 05 de outubro de 2005.
- BALLOU, R. H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos**: planejamento, organização e logística empresarial. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- BALLOU, R. H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos**: Logística Empresarial. 5 ed. Porto Alegre, Bookman, 2006.
- BEZERRA, O. B. **Localização de postos de coleta para apoio ao escoamento de produtos extrativistas** – um estado de caso aplicado ao babaçu. 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – UFSC. Santa Catarina, 1995.
- BODIN, L.; GOLDEN, B.; ASSAD, A.; BALL, M. **Routing and Scheduling Of Vehicles: The State of The Art**. Pergamon Press, Great Britain, Special issue of Computers and Operations Research, v.10, n. 2, p. 63-211.
- BREJON, S. R. C.; BELFIORE, P. P. A Importância do Enfoque Sistêmico para Problemas de Roteirização de Veículos. **Revista de Pesquisa e Desenvolvimento em Engenharia de Produção**, n. 5, p. 64-86, jun. de 2006.
- CARVALHO, M. H.; CERIOLI, M. R.; DAHAB, R.; FEOFILOFF, P.; FERNANDES, C. G.; FERREIRA, C. E.; GUIMARÃES, K. S.; MIYAZAWA, F. K.; PINA JR., J. C.; SOARES, J.; WAKABAYASHI, Y. **Uma introdução sucinta a algoritmos de aproximação**. Editora do IMPA, 2001.

- COMPANHIA BRASILEIRA DE TRENS URBANOS. **Pontos de parada de ônibus: um componente do sistema de transporte público das cidades.** Disponível em: <www.cbtu.gov.br>. Acesso em: 20 jul. 2014.
- CUNHA, C. B. **Uma Contribuição para o Problema de Roteirização de Veículos com Restrições Operacionais.** 1997. Tese (Doutorado) – EPUSP. São Paulo, 1997.
- CUNHA, C.B. Aspectos Práticos da Aplicação de Modelos de Roteirização de Veículos a Problemas Reais, **Revista Transportes**, vol. 8, n. 2, novembro de 2000.
- DINIZ, U. L. **Alocação e Dimensionamento de Frotas de Veículos para Apoio a Maquinário Agrícola de Usinas Sucroalcooleiras.** São Carlos, 2000, 157p. Dissertação (mestrado) – EESC, USP.
- FERREIRA, V.O.; PUREZA, V. **Uma extensão da heurística de Clarke e Wright para designação de entregadores extras em roas de veículos.** In: XXX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO, 2010, São Carlos.
- GALLO, A.; BRAUN, D.; GOMES, O. A.; DUARTE, R.; GALLO, T. M. P.O Sistema Logístico Brasileiro. **Revista Científica do ITPAC**, Araguaína, v.3, n.3, p. 21-35, jul. de 2010.
- GAREY, M. R.; JOHNSON, D.S. **Computers and Intractability – A Guide to the Theory of NP-Completeness.** New York: W.H.Freeman, 1999.
- GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999.
- GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social.** 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- GLOVER, F.; KOCHENBERGER, G. A. **Handbook of metaheuristics.**New York. Kluwer Academic Publishers.2003.

- GOLDBARG, M.C.; LUNA, H.P. **Otimização Combinatória e Programação, Linear – Modelos e Algoritmos**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2000.
- HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 8 ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.
- LACERDA, C. O.; VIDER, E.; JÚNIOR, G. A. S. Transporte por fretamento. **Série Cadernos Técnicos**, v.9, p. 8-106, nov. de 2012.
- LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2003. 187p.
- LAPORTE, G. The Vehicle Routing Problem: An Overview of Exact and Approximate Algorithms. **European Journal of Operational Research**, n 59: 345-358, 1992.
- LEHMANN, L. B.; PIZZOLATO, N. D.; RODRIGUES, G. B. S. R. **Problemas de roteirização**: um estudo de caso do correio aéreo nacional da força aérea brasileira utilizando a metodologia Clarke-Wright. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro Departamento de Engenharia Industrial. Rio de Janeiro, 2009.
- LIMA, A. Transporte de passageiros por fretamento de ônibus e terminais de passageiros. **Revista dos Transportes públicos**, ano 24, n. 93, p. 27-32, 2001.
- LISBOA, F. S. **GRASP para o problema de roteamento de veículos com multi-compartimentos e restrição de janela de tempo**. 2007. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Estadual do Norte Fluminense. Rio de Janeiro, 2007.

- MARQUES, V. J. A. **Um método heurístico de distribuição**. Estudo de caso: distribuição de sementes a partir de um Centro de Distribuição. 2007. 102 f. Dissertação (Mestrado em Logística) – PUC – Rio. Rio de Janeiro, setembro de 2007.
- NAGY, G.; SALHIA, S. Location-routing: Issues, models and methods. **European Journal of Operational Research**, v.177, n.2, p. 649-672.
- NARUO, M. K. **O Estudo do Consórcio entre Municípios de Pequeno Porte Para Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos Utilizando Sistemas de Informação Geográficas**. São Carlos, 2003. 283p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2003.
- NETO, A. F.; LIMA, R. L. **Roteirização de Veículos de uma Rede Atacadista com o Auxílio de Sistemas de Informações Geográficas (SIG)**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 25., 2005, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: UFRGS, 2005.
- NETO, A. F.; LIMA, R. S. Roteirização de Veículos de uma Rede Atacadista com o auxílio de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). **Revista de Pesquisa e Desenvolvimento em Engenharia de Produção**, n. 5, p. 18-39, jun. de 2006.
- NOVAES, A. G. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição: Estratégia, Operação e Avaliação**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, p. 480, 2004.
- PARTYKA, J. G.; HALL, R. W. On the Road to Service. **ORMS Today**, v. 27, p. 26-30, 2000.
- RONEN, D. Perspectives on Practical Aspects of Truck Routing and Scheduling. **European Journal of Operational Research**, 35(2), p. 137-145, 1988.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação.**

Laboratório de Ensino à Distância da UFSC. Florianópolis, 2005.

TAKANO, M. S. M.; TEDESCO, G. M. I. **Roteirização de Veículos. Utilização de técnicas de roteirização na definição de linhas circulares para campi universitários.**

Fortaleza, XXII ANPET Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, p. 543-554, nov. 2008.

TEIXEIRA, R. G.; CUNHA, C. B. Heurísticas para o problema de dimensionamento e roteirização de uma frota heterogênea utilizando o algoritmo *out-of-Kilter*. **Transportes**, v.10, n. 2, p.9-30, 2002.

VASCONCELLOS, E. A. Transporte por fretamento. **Série Cadernos Técnicos**, v.9, p. 8-106, nov. de 2012.

APÊNDICE 1

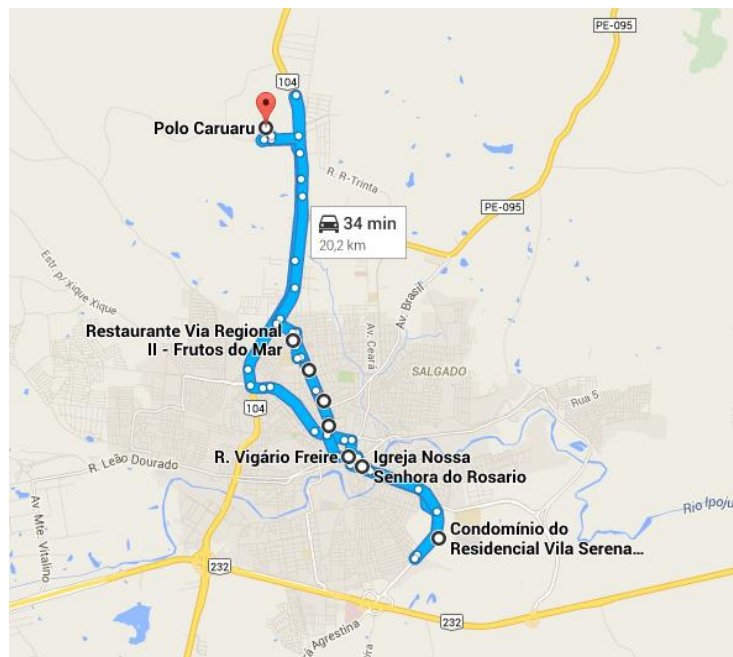


Figura 1 - Rota A

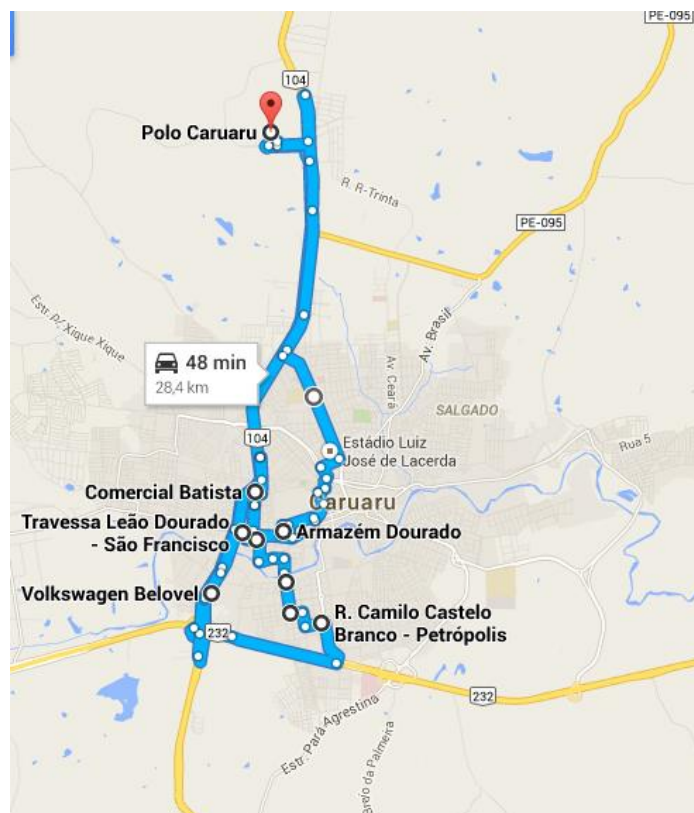


Figura 2 - Rota B

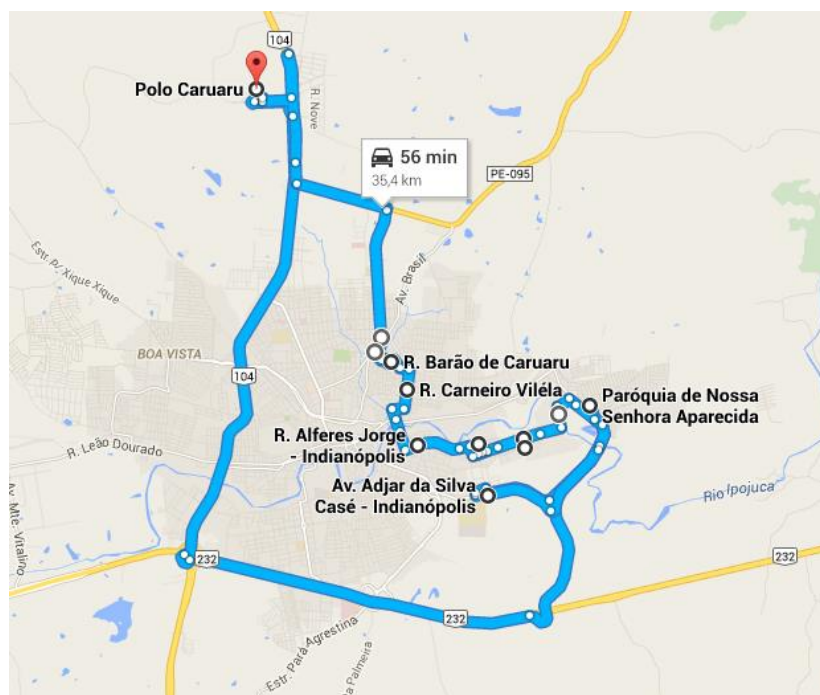


Figura 3 – Rota C

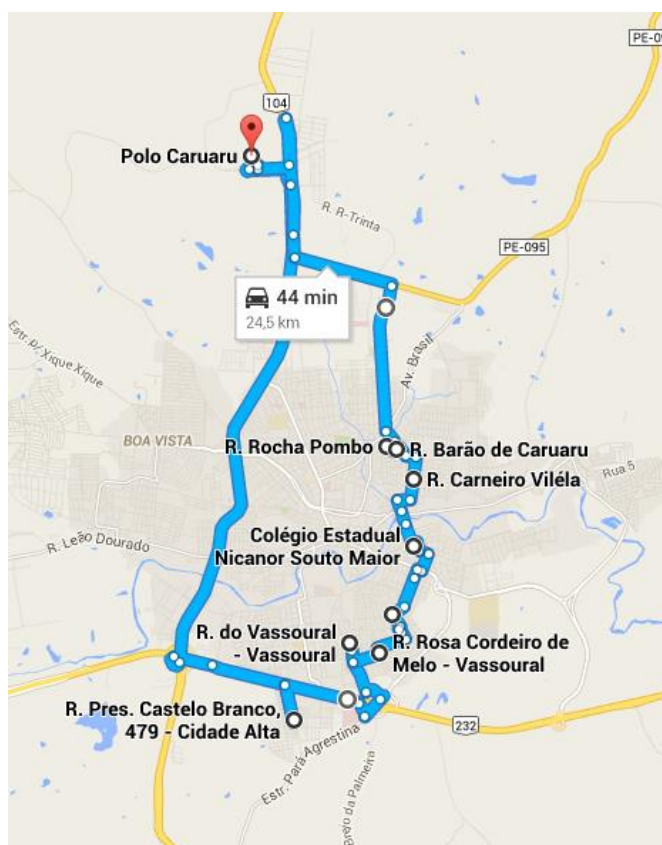


Figura 4 – Rota D

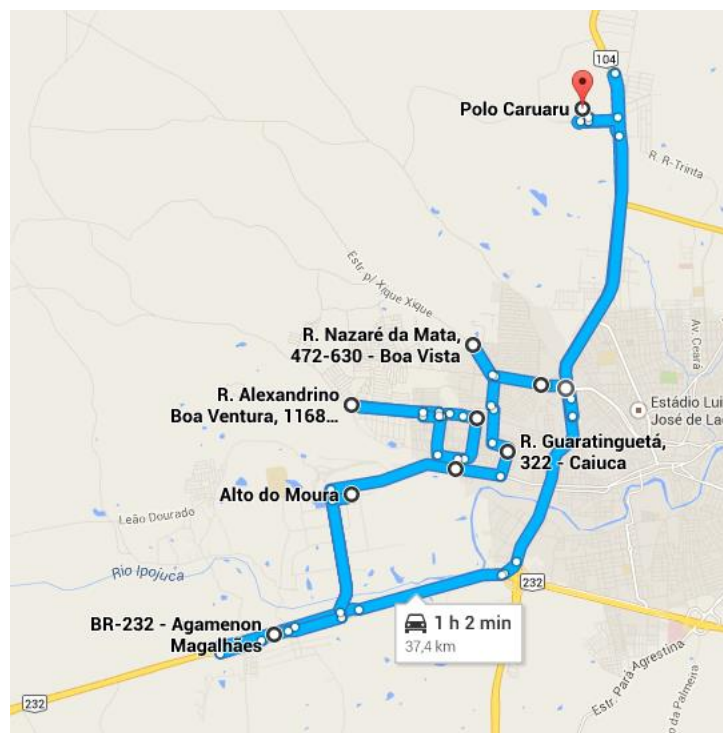


Figura 5 – Rota E

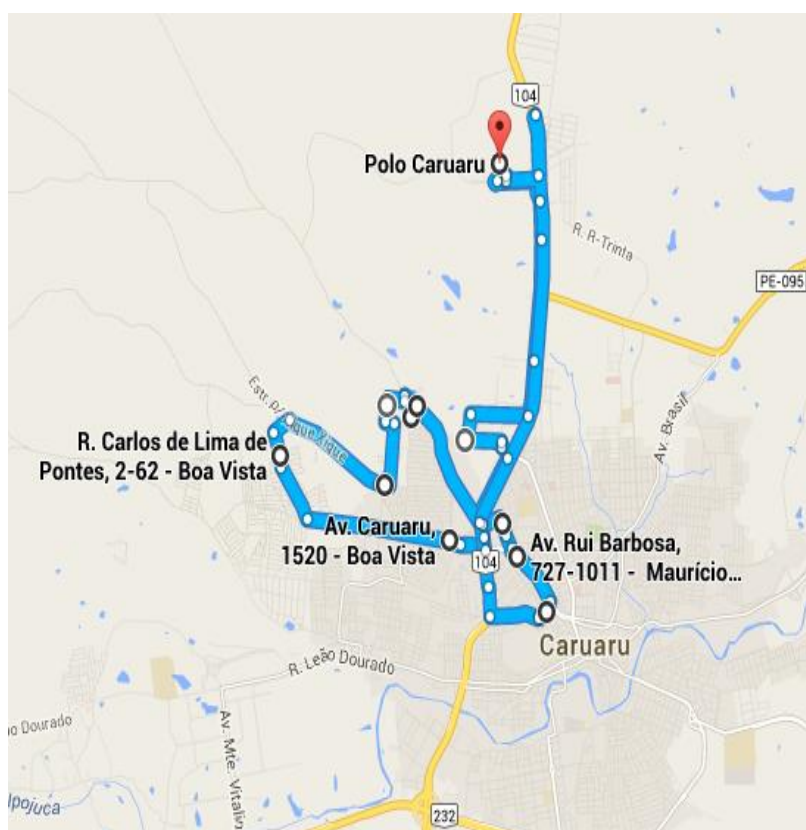


Figura 6 – Rota F

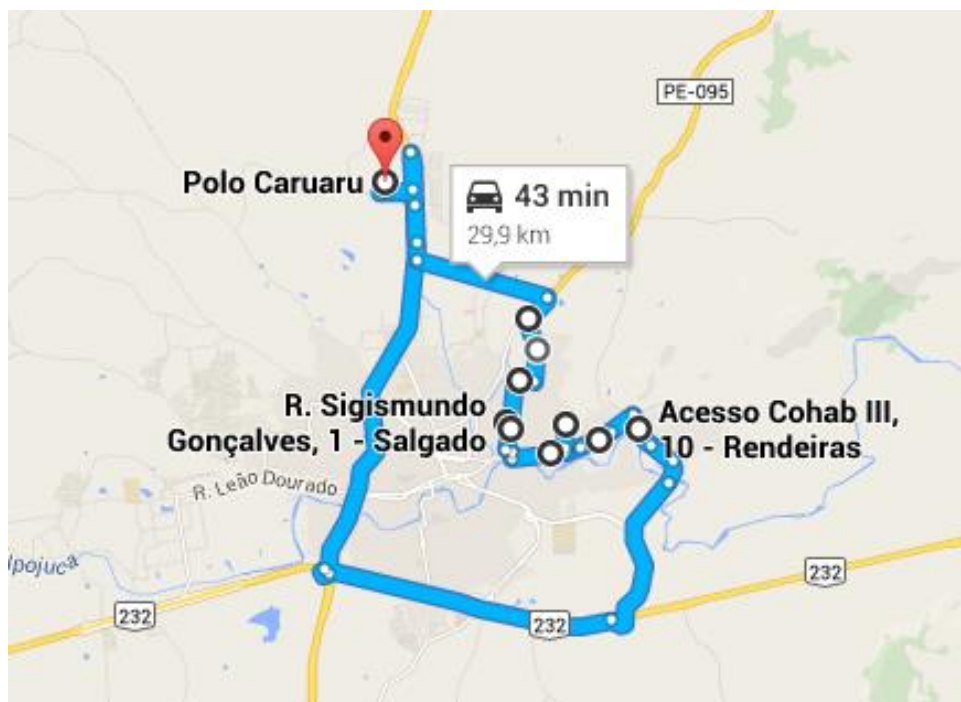


Figura 7 – Rota G

APÊNDICE 2

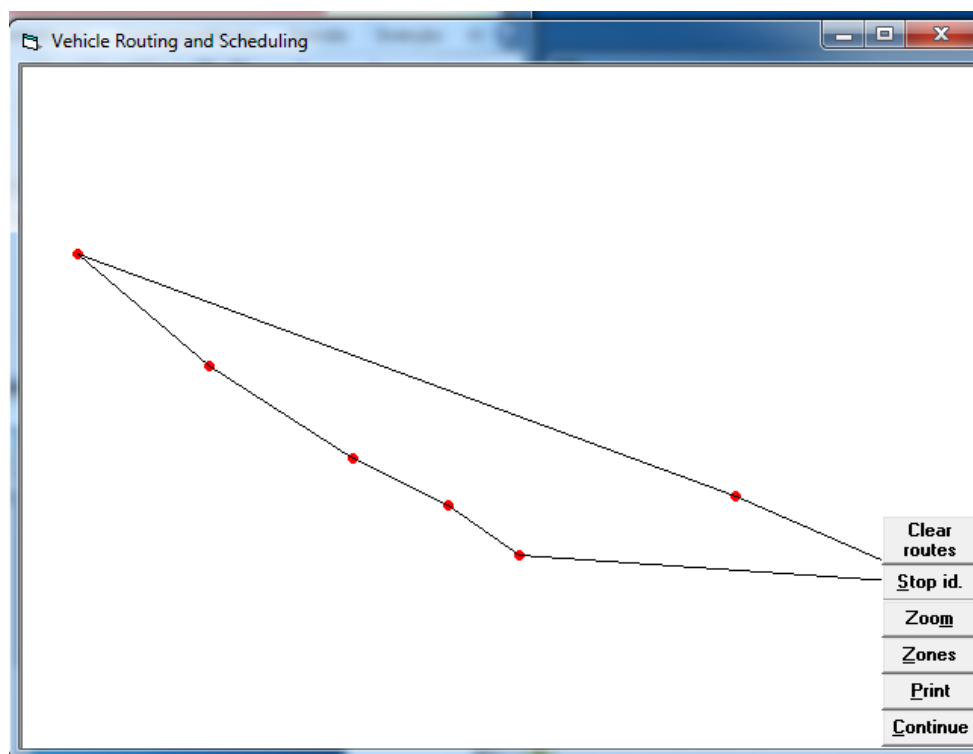


Figura 1 – Rota A gerada pelo Router

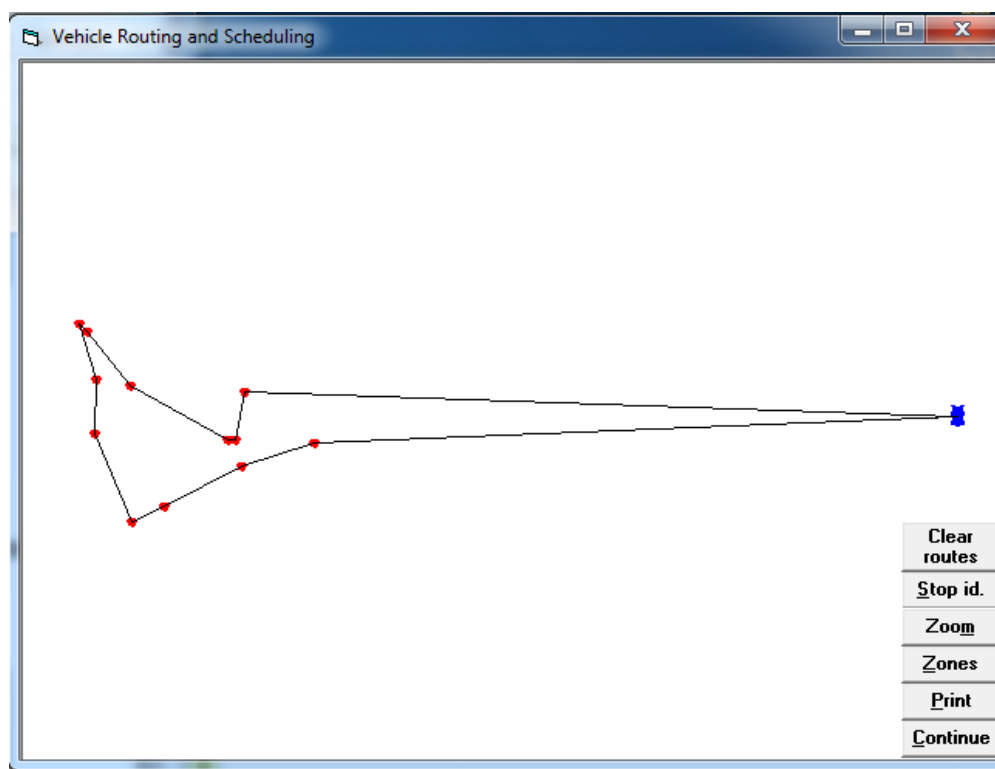


Figura 2 – Rota B gerada pelo Router

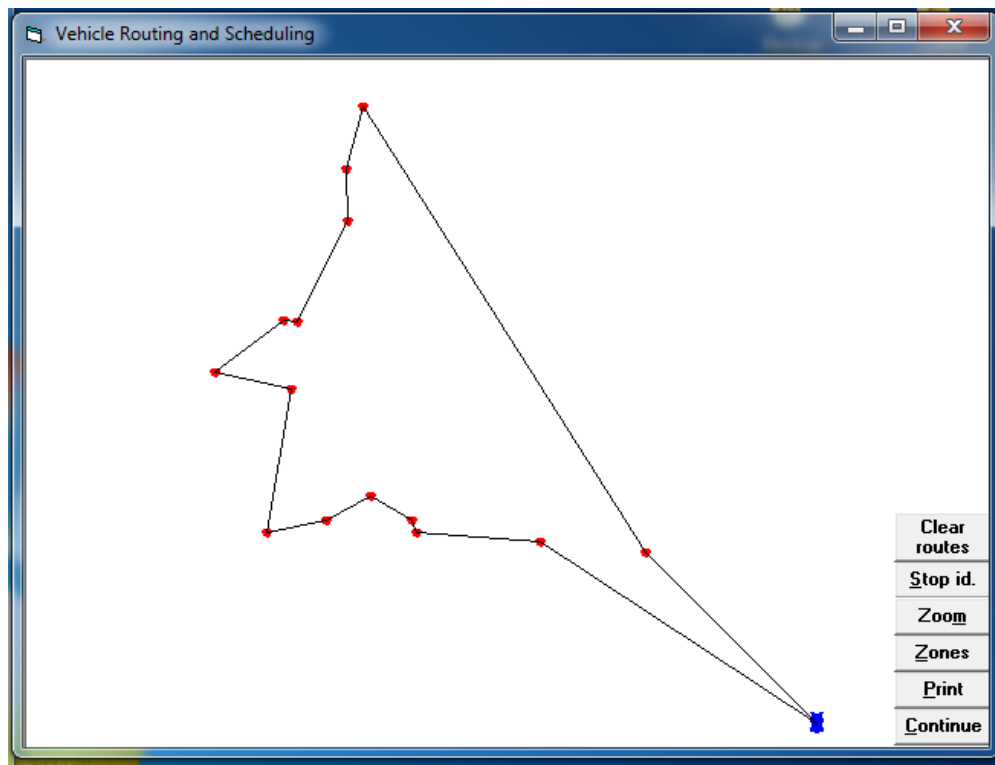


Figura 3 – Rota C gerada pelo Router

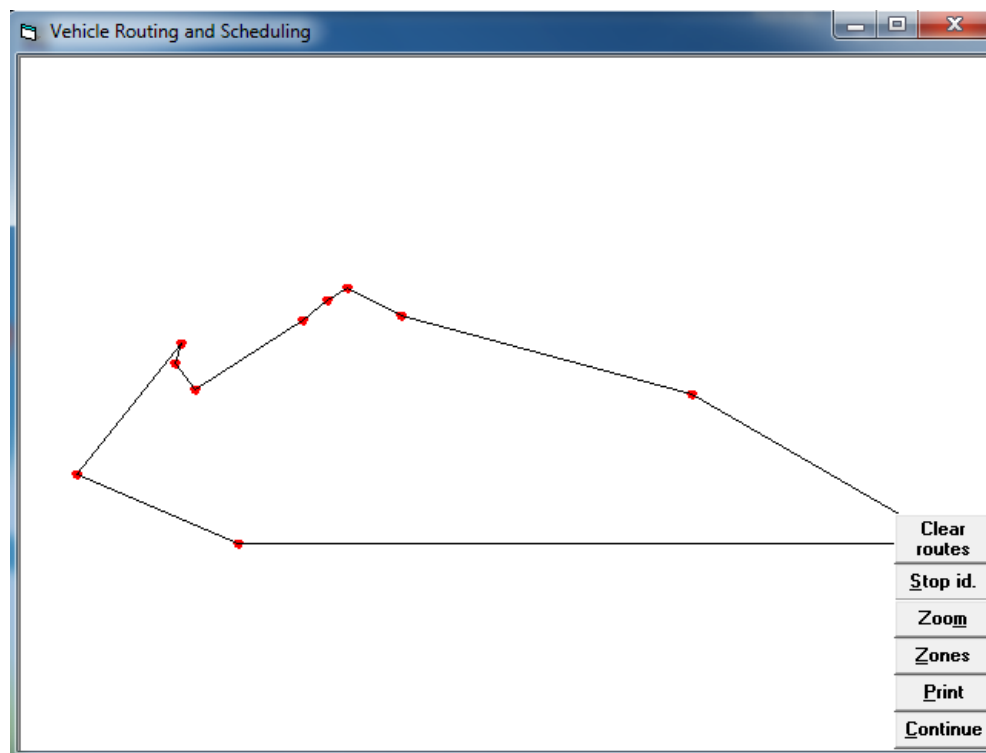


Figura 4 – Rota D gerada pelo Router

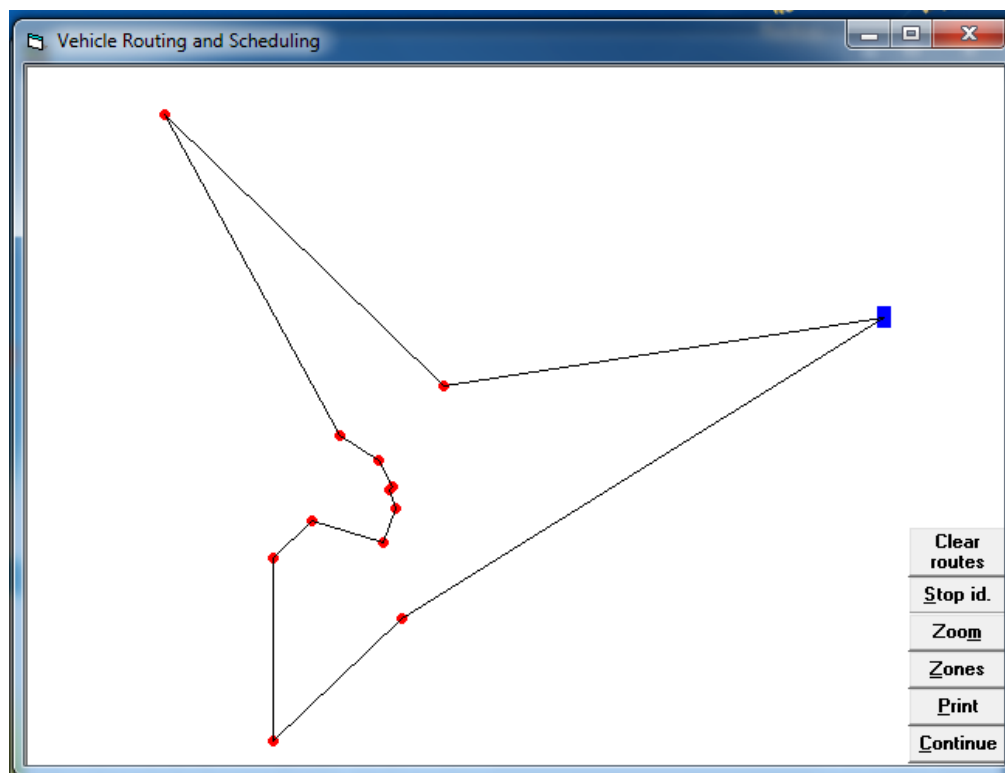


Figura 5 – Rota E gerada pelo Router

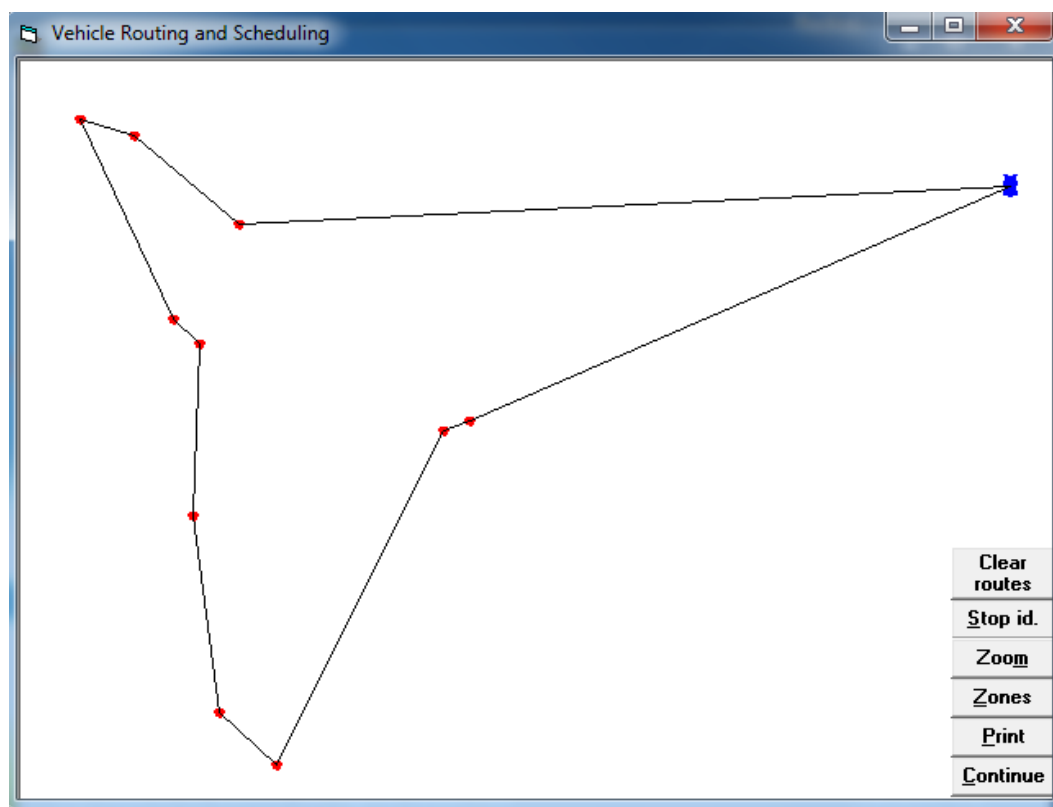


Figura 6 – Rota F gerada pelo Router

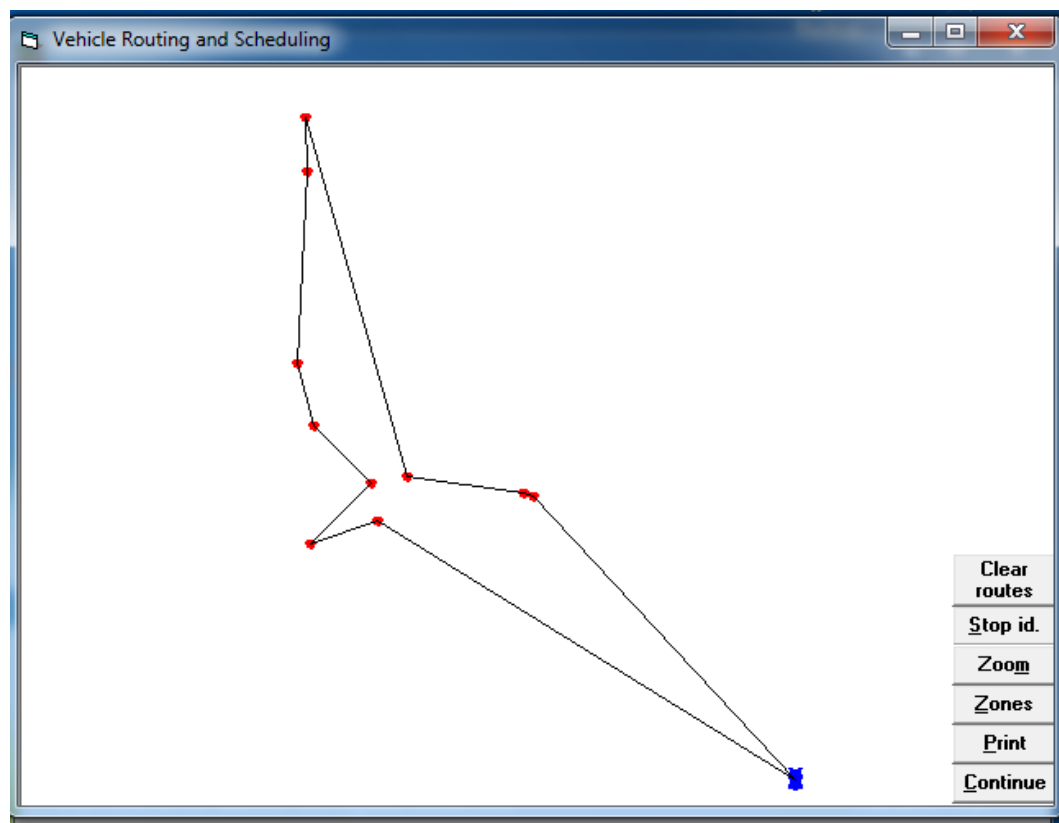


Figura 7 – Rota G gerada pelo Router