

# **O PROBLEMA DA ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS: Conceito, Estratégias e Métodos de Solução.**

---

**Um exemplo de aplicação de um software comercial no sistema de coleta dos Correios.**

**Orientado por**

**Marco Antonio Farah Caldas  
PhD. Logística**

**Autores**

**Willian de Azeredo Arthur**  
Av João Mendes, 73 – Niterói – CEP 24.110-480  
Fone (21) 2725.9416  
e-mail: [willianarthur@correios.com.br](mailto:willianarthur@correios.com.br)

**Fernanda Trotta**  
Av Praia de Icaraí, 341/1002 – Niterói – CEP 24.230-005  
Fone: (21) 2610.8806  
e-mail: [fernanda.trotta@procwork.com.br](mailto:fernanda.trotta@procwork.com.br)

## **O Problema de Roteirização de Veículos – Conceito, Estratégias e Métodos de Solução – Um exemplo de aplicação de um software comercial no sistema de coleta dos Correios**

### **Resumo**

Reduzir os custos dos transportes e também melhorar o serviço ao cliente, encontrando os melhores trajetos que um veículo deve fazer através da malha, seja rodoviária, aérea ou ferroviária, os quais minimizarão o tempo total ou a distância, é um dos problemas frequentes de decisão em transportes. Este trabalho descreve um panorama do chamado Problema de Roteirização de Veículos que envolve (1) a determinação do número de veículos, (2) suas capacidades, (3) os pontos de parada para coleta ou entrega em cada roteiro de um dado veículo e (4) a seqüência das paradas para coleta ou entrega. Neste sentido, foi realizada uma revisão bibliográfica do assunto, buscando apresentar as diversas características, classificações, métodos e estratégias de solução do problema, tendo sido muitos deles já largamente discutidos por estudiosos na área, não sendo escopo deste trabalho maiores aprofundamentos. Apresenta-se a título de ilustração, uma aplicação de um software comercial disponível no mercado em uma situação hipotética do sistema de coleta da Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos, demonstrando o potencial do uso e benefícios do programa.

### **Palavras Chaves**

Logística, Pesquisa Operacional, Problema de Roteirização de Veículos

**Abstract:** To reduce the costs of the transports and also to improve the service to the customer, finding the best routes that a vehicle must make through the mesh, either road, aerial or railroad, which they will minimize the total travel time or travel distance, is one of the frequent problems of decision in transports. This work describes a panorama of what is called the Vehicle Routing Problem that involves (1) the determination of the number of vehicles, (2) its capacities, (3) the breakpoints for pick up or delivery in each route of a specific vehicle and (4) the sequence of the stops for collection or delivery. In this direction, a bibliographical revision of the subject was carried through, having searched to present the diverse characteristics, classifications, methods and strategies of solution of the problem, having been many of them already wide argued by studios in the area, not being target of this work bigger deepenings. To illustrate this work, we present an application of an available commercial software in the market in a hypothetical situation of the system of collection of the Brazilian Company of Post offices and Telegraphs, demonstrating the potential of the use and benefits of the program.

**Keywords:** Logistics, Operational Research, Vehicle Routing Problem.

## **1 - Introdução**

O transporte é um dos elementos mais visíveis das operações logísticas. O principal objetivo do transporte é movimentar produtos de um local de origem até um determinado destino, minimizando ao mesmo tempo os custos financeiros, temporais e ambientais, Bowersox (2001).

Segundo Ballou (2001), os custos de transporte variam tipicamente entre um e dois terços do total dos custos logísticos, melhorar a eficiência com a utilização máxima do equipamento e do pessoal de transporte é de grande interesse para as Empresas. Reduzir os custos dos transportes e também melhorar o serviço ao cliente, encontrando os melhores trajetos que um veículo deve fazer através da malha, seja rodoviária, aérea ou ferroviária, os quais minimizarão o tempo total ou a distância, é um dos problemas freqüentes de decisão em transportes.

De acordo com Novaes (2000), para se efetuar um planejamento de transportes é necessário conhecer os seguintes elementos: os fluxos nas diversas ligações da rede; o nível de serviço atual e desejado; a capacidade dos veículos e as características da carga. O planejamento se faz rota por rota.

Neste sentido, é que se insere o Problema de Roteirização de Veículos.

Este artigo se propõe apresentar o conceito do chamado Problema de Roteirização de Veículos, suas principais características, estratégias e métodos de solução. Para isso, realizou-se uma breve revisão bibliográfica sobre o assunto, que compreende as seções 2 e 3. Em seguida, procurou-se, na seção 4 apresentar uma das muitas aplicações do problema, através da apresentação do problema dos Correios. Em seguida, na seção 5 descreve-se algumas características presentes no programa de roteirização adotado pela Empresa e alguns dos procedimentos aplicados na formação das rotas.

## **2 - O Problema de Roteirização de Veículos**

### **2.1 Conceito**

Segundo Christofides (1985), o problema pode ser definido como aquele em que os veículos, localizados em um depósito central são requisitados para visitar – durante um dado período de tempo – clientes geograficamente dispersos, para cumprir suas exigências. Este problema aparece

em um grande número de situações práticas, relativa a distribuição de mercadorias e é conhecido pelo nome genérico de Problema de Roteirização de Veículos (PRV).

Segundo Partika e Hall (2000) apud Novaes (2000), um problema real de roteirização é definido por três fatores fundamentais: decisões, objetivos e restrições. As decisões dizem respeito à alocação de veículos e respectivos motoristas, envolvendo também a programação e sequenciamento das visitas. Como objetivos principais, o processo de roteirização visa propiciar um serviço de alto nível aos clientes, mas ao mesmo tempo mantendo os custos operacionais e de capital tão baixos quanto possível. Por outro lado, deve obedecer a certas restrições. Alguns tipos de restrições possíveis são: concentração dos pontos de entrega, horários (janelas de tempo), capacidade do veículo, jornada de trabalho dos motoristas, restrições de trânsito, como por exemplo, as velocidades máximas permitidas.

Ribeiro (2001) descreve que o problema do Roteirização e sequenciamento busca encontrar uma rota de passagem pelos pontos em estudo e uma programação de horários relacionada a cada rota. Portanto, deve-se encontrar a melhor sequência de passagem por uma série determinada de pontos respeitando um certo horário, sendo essa sequência apresentada de forma gráfica ou por tabelas.

Novaes (2000) comenta que na prática, problemas de roteirização ocorrem com bastante frequência na distribuição de produtos e serviços e, lista alguns exemplos:

- Entrega, em domicílio, de produtos comprados em lojas de varejo ou pela Internet;
- Distribuição de produtos dos centros de distribuição para as lojas de varejo;
- Distribuição de bebidas em bares e restaurantes;
- Distribuição de dinheiro para caixas eletrônicos de bancos;
- Distribuição de combustíveis para postos de gasolina;
- Coleta de lixo urbano;
- Entrega domiciliar de correspondência;

## **2.2 Classificação**

### **2.2.1 Problema de Roteirização de Veículos Sem Restrições**

O problema de roteirização sem restrições recebe o nome de PCV – Problema do Caixeiro Viajante. O PCV consiste no caso em que um caixeiro viajante tem de visitar um certo número de cidades localizadas numa região, devendo achar a sequência que minimize o custo total.

### **2.2.2 Problema de Roteirização de Veículos Com Restrições**

De acordo com Ribeiro (2001), para se resolver o PRV deve-se analisar, em primeira instância, as seguintes variáveis envolvidas:

- Número de veículos envolvidos;
- Capacidades destes veículos;
- Pontos de paradas em cada roteiro;
- Sequências de paradas;

Em face ao leque de possibilidades que se abre com relação a roteirização de veículos pode-se fazer a seguinte divisão (Boldin, Golden, Assad e Ballou, 1983):

- Problemas com pontos fixos;
- Problemas com pontos variáveis;
- Problemas com pontos concentrados;
- Problemas com pontos espaçados;
- Problemas restritos por janelas de tempo;
- Problemas sem restrição de janelas de tempo;
- Problemas com restrição de unicidade;
- Problemas com restrições de frota;
- Problemas com restrições de precedência;
- Problemas de restrições temporais;
- Problemas de múltiplos depósitos;
- Problemas com frota não homogênea;
- Problemas com demanda incerta dos clientes;
- Problemas com múltiplos objetivos;

### **2.2.3 Em relação à Otimização Combinatória**

Galvão (1997) define que os problemas de roteirização de veículos são problemas de otimização combinatória pertencentes à categoria NP-Difícil, o que significa que o tempo computacional necessário para obter a solução ótima é uma função exponencial do tamanho do problema. Este fato que inviabiliza a utilização dos métodos exatos, sendo os métodos heurísticos, os aplicados na grande maioria das aplicações.

### **3 - Estratégias e Métodos de Solução Disponíveis**

#### **3.1 Estratégias**

Pelizaro (2000) apud Bodin et al. (1983) classificaram as estratégias de solução para problemas de roteirização de veículos da seguinte forma:

##### **3.1.1 Agrupa Primeiro – Roteiriza Depois**

Consiste no procedimento de agrupar os nós ou arcos de demanda primeiro, e depois construir rotas econômicas para cada agrupamento.

##### **Método da Varredura**

Segundo Ballou (2001), o método da varredura é um método bastante simples e de processamento rápido, apresentando um erro médio de 10%. De acordo com o autor, esse nível de precisão pode ser aceitável em situações em que o tempo disponível pelos tomadores de decisão é limitado, sendo preferível se ter uma solução razoável em tempo, do que uma solução ótima, após o prazo para a tomada de decisão.

Ainda segundo Ballou (2001), a desvantagem do método tem relação com a maneira como as rotas são formadas. O processo tem dois estágios, com as paradas sendo atribuídas aos veículos primeiro - AGRUPA. Então, é determinada a sequência de paradas nas rotas – ROTEIRIZA. Por causa destes dois estágios, as questões de tempo como o tempo total de uma rota e janelas de tempo, não são bem manipuladas. O método da varredura é também conhecido como algoritmo de Gillet e Miller (1974).

##### **3.1.2 Roteiriza Primeiro – Agrupa Depois**

Consiste no procedimento de primeiro gerar uma grande rota (geralmente infactível) incluindo todas as entidades de demanda (nós e/ou arcos). Depois esta grande rota é dividida em um número menor e factível de rotas.

### **3.1.3 Economias ou Inserções**

Segundo Ballou (2001) o método de Clarke e Wright permite manusear muitas restrições práticas principalmente porque pode formar as rotas e a seqüência de paradas nas rotas simultaneamente. O objetivo do método das economias é minimizar a distância total percorrida por todos os veículos e minimizar indiretamente o número de veículos necessários para servir a todas as paradas.

O método de Clarke e Wright (1964) centra-se no conceito de ganho, que pode ser obtido ao se ligar dois nós de forma sucessiva em um roteiro. Novaes (2000) cita que este método tem sido muito utilizado, sendo o método embutido em grande parte dos softwares de roteirização do mercado.

### **3.1.4 Melhoria ou Troca**

Procedimento heurístico também conhecido como troca de arcos ou arestas onde cada etapa uma solução factível é alterada, resultando em outra solução factível com custo total reduzido. Este processo continua até que não seja mais possível redução adicional no custo.

## **3.2 Métodos de Solução**

### **3.2.1 Algoritmos Exatos**

Métodos exatos são aqueles que garantem a obtenção da solução ótima. Como o PRV pertence à classe dos problemas NP-Difícil, e algoritmos de tempo polinomial para achar a solução ótima são improváveis de existir. Por isso, pouca atenção tem sido dada à busca de soluções ótimas.

### **3.2.2 Métodos Heurísticos**

Devido às dificuldades existentes em se encontrar a solução ótima, por intermédio de algoritmos exatos, uma solução boa, isto é, perto da ótima, já pode ser suficiente para aplicação em PRV's. Os Métodos Heurísticos são algoritmos que não garantem encontrar a solução ótima de um

problema, mas são capazes de retornar uma solução de qualidade em um tempo adequado para as necessidades da aplicação.

Segundo Bott e Ballou (1986) devido à complexidade combinatorial inerente ao PRV, técnicas heurísticas dominam os procedimentos de solução. Elas encontram soluções boas para problemas reais em um tempo reduzido comparando-se com técnicas exatas (programação linear).

A abordagem heurística pode ser classificada como:

**Heurísticas de construção de rota:** é caracterizada pela geração de uma rota a partir de uma matriz de distâncias.

Novaes (2000) explica que os métodos de construção partem de um ou mais pontos, e vão formando o roteiro através do acréscimo paulatino de pontos adicionais. A sistemática mais simples é ir ligando cada ponto ao seu vizinho mais próximo. Escolhe-se um deles como ponto inicial e se procura, dentre os demais pontos, aquele que estiver mais perto do primeiro. Toma-se o segundo ponto e faz-se o mesmo procedimento, tomando o cuidado de excluir todos aqueles que já fazem parte do roteiro. Este método não é dos mais eficazes, mas é rápido e fornece uma solução que pode ser adotada como configuração inicial para aplicação dos métodos de melhoria.

Ainda, de acordo com Novaes, um processo de construção mais eficiente do que do vizinho mais próximo, é o método de inserção do ponto mais distante.

Segundo Pelizaro (2000) o método de economia de Clarke e Wright, já descrito anteriormente é um método construtivo.

**Heurísticas de melhorias de rotas** ou conforme denominou Christofides (1985), método das duas fases. São caracterizadas pela busca de uma rota melhor a partir de uma rota inicial.

As estratégias citadas anteriormente Agrupa/Roteiriza e Roteiriza/Agrupa são baseadas nestes tipos de heurísticas. O método da Varredura descrito no item 3.1.1 é um método desta categoria.

Dois métodos de melhoria citados por Novaes são o 2-opt e o 3-opt, desenvolvidos por Lin e Kernighan (1973). Esse método insere-se na classe de estratégia Melhoria ou troca citada no item 3.1.4. O método mais simples 2-opt, é resumidamente descrito abaixo:



Etapa 1 – inicia-se com um roteiro qualquer, de preferência um roteiro gerado com o auxílio de um método de construção.

Etapa 2 – remove-se 2 arcos do roteiro e tentativamente reconecta-se os nós que forma esses 2 arcos, alterando as ligações. Se a nova ligação produzir um resultado melhor, isto é, gerando um roteiro de extensão menor do que o anterior, substitui-se o roteiro inicial pelo novo roteiro e repete-se a etapa 2. Caso contrário, continua-se com o roteiro anterior e tentam-se outros dois arcos, repetindo-se a etapa 2, e assim sucessivamente.

Etapa 3 – o processo termina quando não se conseguir nenhuma melhoria, ao se fazer todas as trocas de ligações possíveis.

**Heurísticas de combinação** – é caracterizada pela junção das duas técnicas anteriores.

### **3.2.3 MetaHeurísticas**

Segundo Ochi (1994) a junção de conceitos de otimização combinatorial e inteligência artificial viabilizaram a construção das chamadas Melhor Estratégias ou dos Métodos Inteligentemente Flexíveis, as Metaheurísticas. As Metaheurísticas, caracterizam-se por dar menor rigidez no trato com os problemas gerando uma maior flexibilidade frente aos demais métodos heurísticos.

Ainda segundo Ribeiro, as metaheurísticas quando direcionadas a problemas de otimização, têm como um de seus objetivos gerar procedimentos de busca que evitem uma parada prematura em ótimos locais, muitas vezes distantes de um ótimo global.

As metaheurísticas englobam técnicas conhecidas como: Simulated Annealing, Algoritmo de Busca Tabu e Algoritmo Genético.

#### **3.2.3.1 Simulated Annealing (Tempera Simulada)**

Este método foi proposto inicialmente por Kirpatrick et al (1983) baseado originalmente em conceitos de Mecânica Estatística considerando a analogia entre o processo físico *annealing* de sólidos e a resolução de problemas de otimização combinatorial.

De acordo com Anjo (2000) a analogia do processo de simulação de têmpera com os problemas de otimização combinatoria é estabelecida da seguinte forma:

- As soluções de um problema são equivalentes aos estados num sistema físico;

- O custo de uma solução é equivalente à energia de um estado.

No processo de Simulated Annealing a temperatura controla o desenrolar do algoritmo ocupando desta forma um lugar de destaque.

Galvão (1997) descreve que a aplicação de Simulated Annealing a um problema de otimização combinatória exige a definição de: i) uma solução inicial viável par o problema; ii) um mecanismo de geração de vizinhanças; iii) uma estratégia de seleção de soluções vizinhas; iv) valor inicial do parâmetro de controle T (temperatura); v) função de redução de temperatura; vii) critérios de parada.

Anjo (2000) explica que a principal característica do Simulated Annealing é a sua capacidade de aceitar soluções que mudam de sentido a função objetivo, cujo valor vai contra a otimização em curso, mas esse fator torna possível sair dos muitos mínimos locais que a função possui.

Segundo Pelizaro (2000) a probabilidade de aceitação da solução depende não só da minimização da função objetivo, mas do parâmetro T. O valor de T é gradualmente reduzido ao longo do processo de modo análogo ao papel da temperatura no processo termodinâmico. Para altos valores de T, as configurações são equiprováveis e o algoritmo pode visitar praticamente qualquer uma delas, com o decréscimo de T, reduz-se a probabilidade de aceitação de solução minimizadoras, e portanto, o número de soluções acessíveis, até o momento em que o algoritmo atinge uma solução de baixo custo.

### **3.2.3.2 Algoritmos Genéticos**

Segundo Venkatachalam (1995), os Algoritmos Genéticos (AGs) são técnicas de busca fundadas nos mecanismos de seleção e genética natural. Eles baseiam-se nos princípios biológicos de evolução natural e hereditariedade para, a partir de uma população inicial de indivíduos (ou cromossomas), escolher genitores dentre os mais aptos e combiná-los para gerar filhos melhores. Cada indivíduo codifica uma solução para o problema. Um indivíduo é composto por uma sequência de genes, onde cada gene representa uma característica do indivíduo. A qualidade de um indivíduo é avaliada por uma função de Aptidão.

A evolução dos indivíduos da população se dá devido à ação dos operadores de reprodução, *crossover* e mutação. A reprodução copia um indivíduo de uma geração para a próxima. O

*crossover* faz o cruzamento entre pais, transmitindo aos filhos características consideradas boas. A mutação altera aleatoriamente um gene tentando introduzir uma característica não presente na população, aumentando a variabilidade da população e evitando assim ótimos locais.

Segundo Anjo (2000) a avaliação de uma solução é feita com base no ambiente onde se insere e é representada através de uma função objetivo. Pretende-se encontrar o melhor cromossoma, aquele cuja adequação ao meio seja melhor. Este método foi proposto inicialmente por Holland (1975).

### 3.2.3.3 Busca Tabu

Pelizaro (2000) define que a Busca Tabu pode ser considerada uma técnica que incorpora conceitos selecionados de inteligência artificial. Seu objetivo é utilizar mecanismos de memória e diversificação das soluções como recursos para encontrar a solução ótima.

## 3.3 Softwares de Roteirização

Hoje, há um grande número de softwares comerciais de roteirização disponíveis no mercado. Alguns dos principais são: RoadNet; TransCad; Route Pro; TruckStops; RoadShow, Territory Planner entre outros.

Cunha (1997) apresenta uma relação de características encontradas nos sistemas de roteirização, embora segundo ele não estejam presentes, simultaneamente, em nenhum deles. Nas tabelas abaixo apresentamos algumas dessas características.

**Tabela 1 - Recursos, Restrições e Condicionantes dos Sistemas de Roteirização**

✓ Uma ou múltiplas bases	✓ Múltiplos compartimentos por veículo
✓ Diferentes tipos de veículos	✓ Duração máxima do roteiro
✓ Coletas e entregas	✓ Contabilização de horas extras
✓ Janelas de tempo	✓ Horários de início e término de viagem
✓ Tempos de carga e descarga	✓ Restrições quanto ao tamanho do veículo e seus equipamentos para um cliente
✓ Velocidades variáveis	✓ Sistemas de georeferências: barreiras físicas e restrições de circulação
✓ Contratação de terceiros	✓ Múltiplos roteiros por veículos
✓ Limite de peso e volume	✓

**Tabela 2 - Funções Objetivo dos Sistemas de Roteirização**

✓ Minimizar distância	✓ Minimizar número de veículos
✓ Minimizar tempo de viagem	✓ Minimizar custo total

**Tabela 3 – Resultados dos Sistemas de Roteirização**

✓ Roteiro e programação de cada veículo	✓ Roteiros gráficos
✓ Roteiro de utilização do veículo	✓ Relatórios definidos pelo usuário
✓ Roteiro de programação do motorista	✓ Alteração manual de soluções

### **3.4 Sistemas de Informação Geográfica**

A utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) aplicados no processo de solução dos problemas de roteirização de veículos constitui-se em uma importante aplicação em logística Galvão (1997). Segundo Assad (1998) o uso dos SIG's em roteirização são importantes em função da precisão dos cálculos tanto em relação aos tempos de viagem quanto às distâncias entre os clientes.

De acordo com Aronoff (1989) SIG's são sistemas automatizados usados para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja, dados que representem objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente à informação e indispensável para analisa-la.

A integração de um SIG a um algoritmo nos leva a uma melhor qualidade na solução, como a apresentação da configuração da rota sobre a malha viária, inclusive, considerando os sentidos do trânsito. Os SIG's também podem ser integrados a outros sistemas importantes, como por exemplo, os sistemas de rastreamento de veículos.

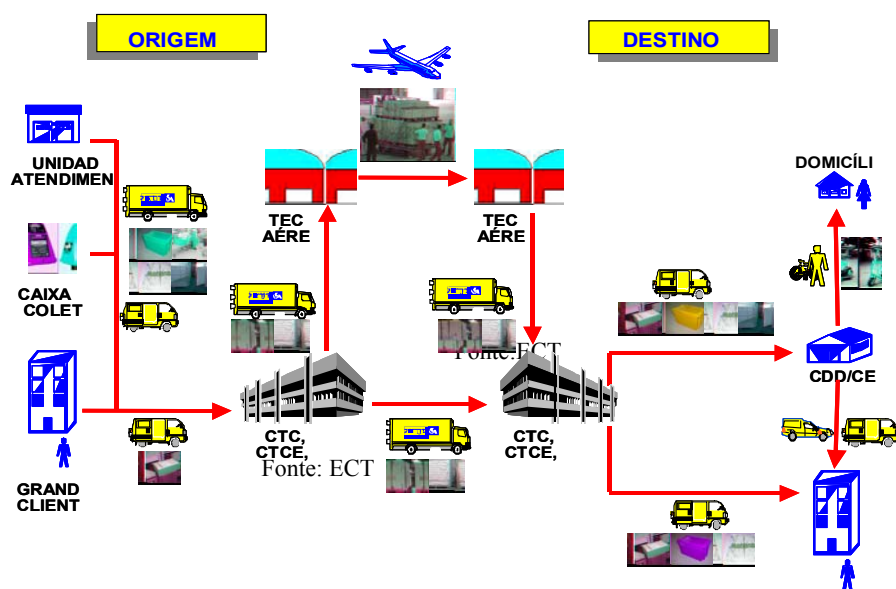
## **4 – O Problema de Roteirização dos Correios**

O fluxo operacional, também chamado de fluxo postal dos Correios (ver figura abaixo), pode ser resumidamente descrito da seguinte forma:

- 1- O cliente posta a sua carta e/ou encomenda, em uma das agências dos Correios;
- 2- As cartas e/ou encomendas, também chamados de objetos postais, são coletados (transportados) das agências para os centros de tratamento;

- 3- Nos centros de tratamento, as cartas e/ou encomendas são triadas de acordo com seu destino, que pode ser um outro centro tratamento ou um centro de distribuição.
- 4- As cartas e/ou encomendas são transportadas para estes destinos. No caso, do destino ser um outro estado, os objetos são encaminhados via transporte rodoviário ou aéreo.
- 5- No centro tratamento de destino, os objetos passam por novo processamento, com intuito de direciona-los as unidades de distribuição respectivas.
- 6- Os objetos são, então, novamente transportados dos centros de tratamento para os centros de distribuição.
- 7- Nos centros de distribuição, os objetos postais sofrem outro processo de triagem, a fim de serem desta vez, estratificados de acordo com as ruas que serão percorridas para entrega do carteiro.

**Figura 1 – Fluxo do Processo Postal**



Todas as fases de processamento e encaminhamento (transporte) dos objetos postais são realizadas em função do destino, que é representado pelo CEP contido no objeto.

Em cada fase do fluxo postal, a atividade de transporte está presente, seja mais explicitamente, quando no caso da coleta das agências ou mais implicitamente, seja no caso da movimentação de materiais e equipamentos nos centros de tratamento.

Vamos, no entanto, se ater em uma das fases mais críticas do processo e aquela que se enquadra como um problema clássico de Roteirização de veículos, que seja, a coleta das correspondências das agências. Problema este, já diversas vezes abordado na literatura técnica e em diversas dissertações e artigos.

Segundo Bodin e Golden (1981) o problema dos Correios pode ser classificado como Problema de Roteirização e Programação de Veículos, no qual um veículo deve passar por pontos em uma certa ordem obedecendo a horários de chegada e partida (janelas de tempo).

O objetivo principal é selecionar as agências que serão atendidas por cada veículo e sequenciar as rotas, de forma que estas respeitem as restrições de capacidade dos veículos e as janelas de tempo impostas, minimizando o tempo total de viagem e o número de veículos empregados.

Os Correios possuem indicadores que monitoram os desempenhos das rotas, seja pelos pedidos de coleta extra por parte das agências que não possam ser atendidas pelo veículo que está executando a viagem normal ou pelos atrasos na chegada dos veículos nos depósitos (centros de tratamento). Esses resultados podem estar sinalizando a necessidade de se efetuar atualizações nos roteiros já estabelecidos.

O software utilizado pelos Correios, na Diretoria Regional do Rio de Janeiro, no auxílio da confecção das rotas de coleta das agências é o RoadShow.

## **5. O Processo de Roteirização**

### **5.1 Descrição dos Procedimentos de Roteirização**

Para se realizar a roteirização no RoadShow é preciso seguir os passos descritos abaixo, que podem ser resumidos da seguinte forma:

1º Passo: Instalar e configurar mapas vetoriais

2º Passo: Criar e selecionar cenários

3º Passo: Transferir dados para o RoadShow

4º Passo: Localizar pontos de parada (clientes e depósitos) e Criar malha viária

5º Passo: Cadastro no gerenciador de dados

- Cadastro de produtos;
- Cadastro de clientes;

- Cadastro dos veículos;
- Cadastro de motoristas.

6° Passo: Importação de pedidos

7° Passo: Definição dos parâmetros de roteirização

8° Passo: Definição das regras de roteirização

9° Passo: Processamento dos Pedidos

10° Passo: Roteirizar os pedidos

11° Passo: Criação e visualização de relatórios

12° Passo: Exportação dos pedidos

## **5.2 Exemplo de Aplicação**

A seguir apresentamos um exemplo de aplicação do programa. Utilizamos dados hipotéticos, buscando simular a coleta de correspondências em 22 agências dos Correios localizadas na cidade do Rio de Janeiro, que devem ser visitadas todos os dias, em um determinado período de tempo. O objetivo é determinar os roteiros otimizados para os veículos que atendam esses pontos, tendo como consequência à frota mínima necessária.

Os dados abaixo com as agências a serem atendidas e as suas respectivas cargas representam o arquivo de pedido. Os dados de cadastro são os já estão atualmente inseridos e são utilizados. Não definimos nenhum parâmetro como os relativos ao custo ou aos limites da rota, apenas os parâmetros relativos aos intervalos de tempo de atendimento (janelas de tempo) dos clientes. Também não foram definidas regras de roteirização. Apesar de limitado, o exemplo procurar ilustrar o potencial do uso do software no processo de decisão na escolha das rotas e alocação de recursos.

### **5.2.1 Dados do Exemplo**

- Definição do depósito;
- Agências a serem atendidas (pontos de parada);
- Carga prevista para coleta em cada agência;
- Intervalos de tempo de atendimento;

**Tabela 4 – Agências de Correio x Volume de Carga**

<b>AC - Agência de Correio</b>	<b>Carga</b>
AC Castelo	15
AC Central do Rio de Janeiro	15
AC Engenho de Dentro	20
AC Ilha do Governador	10
AC Marcílio Dias	15
AC Nova América	20
AC Palácio Tiradentes	10
AC Rodoviária Novo Rio	20
AC Urca	10
AC Acari	15
AC Aeroporto Santos Dumont	20
AC Arcos	15
AC Avenida das Nações	20
AC Bonsucesso	10
AC Botafogo	15
AC Capemi	10
AC Carioca	15
AC Cascadura	10
AC Ministério do Trabalho	10
AC Cidade Nova	10
AC Cidade Universitária	15
AC Copacabana	10

Para todos os pontos de parada (agências) foi considerado o intervalo de tempo de 10 minutos para o carregamento dos veículos. Para a formação de cada rota foi estabelecido um intervalo de tempo total de 3 horas, com início às 15:30hs e término previsto às 18:30hs. Não foram estabelecidos limites de pontos por rota. Os dados contidos na tabela acima formam o arquivo de pedido que foi importado para o Roadshow para execução da roteirização. Como depósito central foi escolhido o complexo operacional dos Correios de Benfica.

### **5.2.2 Processamento/Roteirização**

O processo de roteirização em si consiste em dois passos básicos (passos 9 e 10) que são: Processar os pedidos e Roteirizar os pedidos.

Em processamento de pedidos, o Roadshow associará os pedidos com a localização dos clientes, carregando todos os componentes da malha viária necessários para atender as paradas e agrupando os pedidos por parada.



Em roteirizar os pedidos, o Roadshow utilizará o seu algoritmo de roteirização para gerar os itinerários, levando em consideração todas as informações de cadastro da frota, produtos, clientes, além das informações das regras e parâmetros que forem definidos.

### 5.2.3 Resultados

Os resultados provenientes dos cálculos do algoritmo do RoadShow nos retornaram 4 rotas. Os itinerários de cada rota em forma de tabelas e em mapas são apresentados abaixo nas tabelas e figuras abaixo.

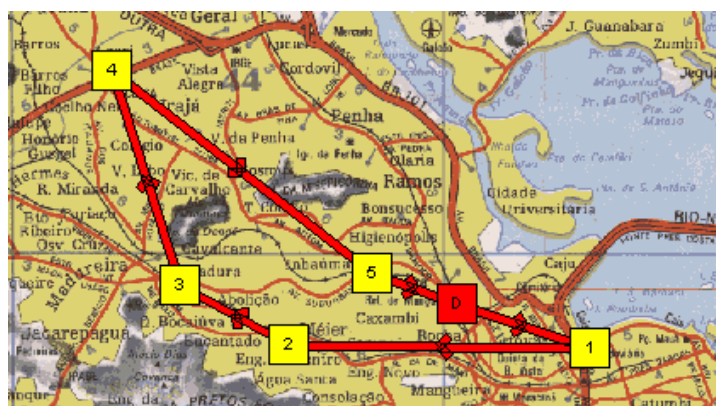
**Tabela 5 – Rota 1**

Itinerário - Rota 1		Distância Percorrida (Kms)	Horário (hs)		Tempo de Atendimento (hs)	Tempo de Viagem (hs)	Carga (caixetas/malotes/encomendas)
			chegada	partida			
PONTO D	BENFICA	-	-	15:55	-	-	-
PONTO 1	AC ROD.NOVO RIO	4,6	16:05	16:15	00:10	00:10	20
PONTO 2	AC ENGENHO DE DENTRO	9,0	16:45	16:55	00:10	00:30	20
PONTO 3	AC CASCADURA	4,0	17:06	17:16	00:10	00:11	10
PONTO 4	AC ACARI	7,6	17:38	17:48	00:10	00:22	15
PONTO 5	AC NOVA AMERICA	11,8	18:14	18:24	00:10	00:26	20
PONTO D	BENFICA	5,4	18:36	-	00:10	00:12	-
TOTAL		42,3			01:00	01:51	85

Tipo do Veículo: KOMBI

Paradas: 5

**Figura 2 – Rota 1**



**Tabela 6 – Rota 2**

Itinerário - Rota 2		Distância Percorrida (Kms)	Horário (hs)		Tempo de Atendimento (hs)	Tempo de Viagem (hs)	Carga (caixetas/malotes/ encomendas)
			chegada	partida			
PONTO D	BENFICA	-	-	15:30	-	-	-
PONTO 1	AC AVENIDA NAÇÕES UNIDAS	10,6	15:35	15:45	00:10	00:26	20
PONTO 2	AC CAPEMI	0,5	15:53	16:03	00:10	00:05	10
PONTO 3	AC BOTAFOGO	1	16:15	16:25	00:10	00:08	15
PONTO 4	AC COPACABANA	2,2	16:39	16:49	00:10	00:12	10
PONTO 5	AC URCA	2,7	17:08	17:18	00:10	00:14	10
PONTO 6	AC AEROP. SANTOS DUMONT	5,6	17:35	17:45	00:10	00:19	20
PONTO 7	AC CIDADE NOVA	3,1	18:09	18:19	00:10	00:17	10
	BENFICA	7,1	18:43	-	00:10	00:24	-
	<b>TOTAL</b>	<b>32,8</b>			<b>01:20</b>	<b>02:05</b>	<b>85</b>

Tipo do Veículo: KOMBI

Paradas: 7

**Figura 3 – Rota 2**



**Tabela 7 – Rota 3**

Itinerário - Rota 3		Distância Percorrida (Kms)	Horário (hs)		Tempo de Atendimento (hs)	Tempo de Viagem (hs)	Carga (caixetas/malotes/ encomendas)
			chegada	partida			
PONTO D	BENFICA	0,0	-	17:05	-	-	-
PONTO 1	AC ILHA	12,8	17:26	17:36	00:10	00:21	10
PONTO 2	AC CIDADE UNIVERSITÁRIA	9,1	17:52	18:02	00:10	00:16	15
PONTO 3	AC BONSUCESSO	4,7	18:10	18:20	00:10	00:08	10
PONTO D	BENFICA	4,3	18:28	-	00:00	00:08	-
	<b>TOTAL</b>	<b>30,82</b>			<b>00:40</b>	<b>00:53</b>	<b>35</b>

Tipo do Veículo: FIORINO

Paradas: 3

Figura 4 – Rota 3

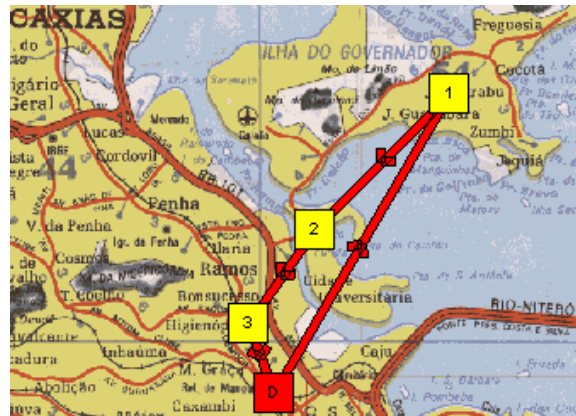


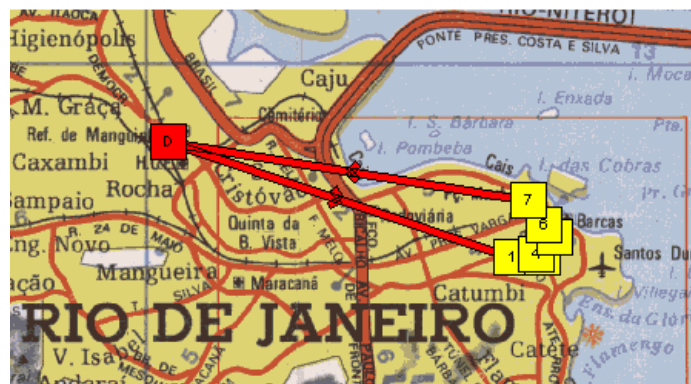
Tabela 8 – Rota 4

Itinerário - Rota 4		Distância Percorrida (Kms)	Horário (hs)		Tempo de Atendimento (hs)	Tempo de Viagem (hs)	Carga (caixetas/malotes/ encomendas)
			chegada	partida			
PONTO D	BENFICA	0,0	-	16:05	-	-	-
PONTO 1	AC CARIOCA	8,1	16:25	16:35	00:10	00:20	15
PONTO 2	AC CASTELO	1,6	16:44	16:54	00:10	00:09	15
PONTO 3	AC ARCOS	0,7	16:59	17:09	00:10	00:05	15
PONTO 4	AC P.TIRADENTES	1,1	17:17	17:27	00:10	00:08	10
PONTO 5	AC CENTRAL	0,9	17:34	17:44	00:10	00:07	15
PONTO 6	AC MARCILIO DIAS	1,2	17:53	18:03	00:10	00:09	15
PONTO D	BENFICA	7,6	18:18	-	00:10	00:15	-
TOTAL		21,16			01:10	01:13	95

Tipo do Veículo: KOMBI

Paradas: 6

Figura 5 – Rota 4



## Conclusão

O presente trabalho objetivou apresentar de maneira sucinta o chamado Problema de Roteirização de Veículos, com suas principais características e métodos de solução.

A consolidação dos dados com sistemas de informações geográficas, potencializam os benefícios da aplicação em problemas cotidianos enfrentados pelas empresas de transporte, auxiliando o processo de tomada de decisão.

Neste sentido, foram descritos procedimentos para execução de uma roteirização utilizando um software comercial, tendo como estudo de caso, o sistema de coleta de correspondência da Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos, buscando com isso, ilustrar o potencial de aplicação do programa. Espera-se que os métodos apresentados em exercício de análise comparativa com os resultados gerados pelo software possam ser proposta para trabalhos futuros.

### **Referências Bibliográficas**

- Anjo, A. J. B. (2000) - O Problema do Caixeiro Viajante - Depto. De Matemática, Universidade Portucalense, em 15/11/2000;
- Aronoff, S., 1989, Geografic Information Systems. WDL Publications, Canada.
- Ballou, R. H. (2001) Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos – Planejamento, Organização e Logística Empresarial – 4ª Ed. – Porto Alegre: Bookman.
- Bodin, L.D.; B. Golden; A. Assad e M. Ball (1983) Routing and scheduling of vehicles and crews: The state of the art. Computers and Operations Research, vol.10, n.2.
- Boldin, L. e Golden, B. (1981) Classification in Vehicle Routing and Scheduling Transportation Research, 20 (3): 239-243.
- Bott, K., Ballou, R. H., 1986, “Research Perspectives in Vehicle Routing and Scheduling”. Transportation Research, v. 20A, p. 239-243.
- Bowersox, D.J.; Closs, D.J.. (2001) Logística Empresarial - O Processo de Integração da Cadeia de Suprimento. São Paulo, SP: Atlas.
- Christofides, N (1985) - The Traveling Salesman Problem: A Guided Tour of Combinatorial Optimization. John Wiley & Sons.
- Clarke, G.e J.W. Wright (1964) Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. Operations Research, v.12, p.568-581.
- Cunha, C.B. (1997) Uma contribuição para o problema de roteirização de veículos com restrições operacionais. São Paulo: EPUSP, Departamento de Engenharia de Transportes. 222p. (Tese de Doutorado).
- Galvão, R. D. et al. (1997) Roteirização de Veículos com Base em Sistemas de Informação Geográfica. Revista Gestão e Produção, v.4, n.2 , p.159-173.
- Gillet, B.E. e L.R. Miller (1974) A heuristic algorithm for the vehicle dispatch problem. Operations Research, v.22, p.240-249.

Golden, B.L. e A. Assad (1988) Vehicle routing: methods and studies. North Holland, Amsterdã, Países Baixos.

Holland, J. (1975), Adaptation in Natural and Artificial Systems. The University of Michigan Press, Ann Arbor, Mich.

Kirkpatrick, S. et. al. (1983) Optimization by Simulated Annealing. Science, 220 (4598), p.671-680

Lin, S. E Kernighan, B. W. (1973) – An effective Heuristic Algorithm for the Traveling Salesman Problem. Operation Research, n27, p. 503-511.

Novaes, A.G.N. (2000) Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição, Atlas, São Paulo.

Ochi, L. S. (1994) Conhecimento Heurístico. Aplicações em Problemas de Otimização. XIV Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, XVIII Jornada de Atualização em Informática, Caxambu, MG.

Partyka, J.G. e Hall, R.W. (2000). On the road to service. OR/MS Today, [www.lionhrtpub.com](http://www.lionhrtpub.com), Agosto 2000..

Pelizaro, C (2000) – Avaliação de Desempenho do Algoritmo de um Programa Comercial para Roteirização de Veículos. Dissertação de Mestrado, UFSC.

CORREIOS, [www.correios.com.br](http://www.correios.com.br).

Ribeiro, G. M. e Campos, V. B. G. (2001) Um Procedimento para Roteirização e Programação de Veículos Usando a Heurística de Ganhos para o Planejamento. XXXIII SBPO

Routing Systems Informática Ltda – Manual do RoadShow Módulos I e II.

Venkatachalam, A. R. (1995) An Analysis of an Embedded Crossover Scheme on a GA-Hard Problem. Computers & Operations Research, v.22, n.1., p. 149-157.