

# Roteirização de transporte de carga

## Estudo de caso: distribuidora de tintas e seu método de entregas

*Routing of cargo transportation*

*Study case: inks distribution and its delivery method*



## Resumo

O competitivo mercado torna necessária a prática do uso da TI pelas empresas para se adequarem às constantes mudanças. Estas são em relação à cadeia produtiva, que atualmente se molda em relação ao que o cliente quer e não ao que empresa quer, também aos avanços tecnológicos cada vez maiores e aos produtos de qualidade muito similar, em que um detalhe é que faz a diferença para o cliente. É dentro dessa necessidade de mudança que as empresas devem procurar otimizar seu atendimento e seus processos afim de diminuir seus custos. Para alcançar esse objetivo, os sistemas de informação (SI) vêm auxiliando o trabalho das empresas, com *softwares* específicos para cada tipo de processo como, por exemplo, os *softwares* de roteirização que utilizam métodos matemáticos para calcular os melhores roteiros. Dentro da cadeia logística, o transporte de cargas representa, em média, dois terços dos custos e é essencial para a fidelização dos clientes no cumprimento da principal missão logística: produto certo, na hora certa, na qualidade acordada e ao menor custo possível. Portanto, existe a necessidade de otimizar esse processo, procurando diminuir o tempo e o dinheiro gastos, mas mantendo a qualidade e a pontualidade do atendimento. Neste estudo serão comparados tempo e custos em roteiros antes e depois da aplicação de um método matemático de roteirização utilizado para a composição dos *softwares*, além de alertar sobre a importância do transporte de cargas para a fidelização do cliente e sobre a importância da Tecnologia da Informação (TI) na vida das empresas e das pessoas.

Palavras-chave: Transporte de cargas. Tecnologia da Informação. Roteirização. Simulação.

## Abstract

The world has changed constantly, though it is important that companies adapt themselves in order to survive in the business market. The changes include the productive chain that currently is shaped to the customer needs, not to what the enterprise desires. So, in scenery with technological developments and upgrades, besides similar qualified products among the companies, a small detail may be relevant to the customer final choice. Then, it is in this view that companies should turn the focus to improve their customer services, their process and costs. And to reach such optimization the information systems (IS) are making company lives easier, with specific software for each process, i.e., routing ones that use mathematical methods to calculate the better path. In the logistics chain, the cargo transportation is about two thirds of all costs, and it is essential to be reliable for the customers in the main logistics mission (right product, in the right time, in the quality terms and the lowest price). For these reasons, it is inevitable to optimize the process, decreasing time and costs, but keeping the quality and punctuality of the service. This paper time and cost are compared in routes before and after the application of a patching mathematical method used to the software creation, as well as to alert the importance of the cargo transportation for the trust of the customer and the important of Information Technology (IT) for companies and people.

Keywords: Cargo Transportation. IT. Routing. Simulation.

<sup>1</sup> Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade de São Paulo/São Carlos (USP/São Carlos). Professor do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), *campus* Ponta Grossa. *E-mail*: fbranco@utfpr.edu.br.

<sup>2</sup> Graduada em Logística na Faculdade de Tecnologia de Jahu (Fatec/Jahu). *E-mail*: olivia\_aguiar92@hotmail.com.

## Introdução

O avanço nos Sistemas de Informação (TI) vem alterando a vida das pessoas. Com a logística não é diferente, pois nessa área a TI tem se tornado cada vez mais indispensável para que se consiga obter um bom desempenho nas funções logísticas. Os *softwares* de roteirização são alguns dos sistemas de informação mais utilizados pela cadeia logística, sendo chamados de Sistema de Informação Geográfico (SIG) ou *softwares* de geoprocessamento. São formados por Sistemas de Roteirização e Programação de Veículos (SRPV), que têm como objetivo otimizar a rota, por meio de métodos matemáticos, abrangendo as variáveis interessantes para cada empresa, dependendo do seu ramo de atividade e do que o cliente prioriza.

Neste trabalho serão estudadas as rotas realizadas por uma distribuidora de tintas, que não possui um plano de rota, e as diferenças visíveis com a utilização de métodos de roteirização. Os problemas de roteirização consistem em definir roteiros de viagem ao menor custo possível, percorrendo a menor distância, iniciados e finalizados nos depósitos ou bases dos veículos, em que os veículos passem uma única vez em cada local de descarga e que a demanda não exceda a capacidade de carga do veículo. Na roteirização e programação de veículos podem ser incluídas diversas variáveis: aspectos temporais, como restrição do horário de atendimento nos locais de descarga, que são as chamadas janelas de tempo; aspectos espaciais e geográficos; diferenças de capacidade dos veículos e duração máxima de roteiros. Além disso, ainda há tipos de veículos que podem atender determinados clientes como, por exemplo, na cidade de São Paulo, onde alguns tipos têm entrada restrita em determinados horários, fazendo com que a entrega não seja realizada no horário estipulado, entre inúmeras outras variáveis que vão de acordo com o ramo de atuação da empresa e com o tipo de cliente que ela atende.

Os problemas de roteirização consistem em definir roteiros de viagem ao menor custo possível, percorrendo a menor distância, iniciados e finalizados nos depósitos ou bases dos veículos, em que os veículos passem uma única vez em cada local de descarga e que a demanda não exceda a capacidade de carga do veículo.

Esses problemas começaram a ser abordados na literatura a partir do problema do caixeiro viajante, com o objetivo de fazer com que um profissional visitasse diversos locais, percorrendo a menor distância possível e sem que nenhum dos pontos envolvidos fosse visitado mais de uma vez.

A partir de então muitos trabalhos de roteirização foram alvo da comunidade acadêmica, vinculados basicamente à pesquisa operacional, capaz de tratar problemas de nível de complexidade muito alto. Alguns desses problemas têm complexidade exponencial, ou seja, o esforço computacional a ser realizado cresce exponencialmente com o tamanho do problema, tanto é que ainda existem problemas sem soluções ótimas, devido ao seu grau de complexidade. Por causa disso, devido ao avanço da TI, às necessidades de otimizar a cadeia logística e às exigências cada vez maiores por parte dos consumidores os estudos sobre roteirização são sempre importantes.

Especificamente, este trabalho apresenta resultados que mostram ganhos, em relação a custo e tempo, que se obteria caso uma distribuidora de tintas aplicasse um método matemático utilizado em *software* de roteirização para um caso na sua distribuição logística.

## 1 Distribuição de Cargas

Devido à alta competitividade no mercado atual, em muitos setores as marcas deixaram de ser prioridade entre os clientes, já que há grande similaridade entre os produtos de uma mesma linha. Por esse motivo, a prioridade do cliente passou a ser a qualidade do serviço e o custo. Para atender a essas expectativas, as empresas devem aderir a métodos mais eficazes de solução de problemas, satisfazer o cliente e, conseqüentemente, obter sua fidelidade.

Segundo Ballou (1993), na maior parte das empresas, o transporte representa o elemento mais importante do custo logístico, absorvendo cerca de dois terços deste total. O autor enfatiza que um bom sistema de transportes é fator fundamental para a expansão de mercados.

O transporte é importante para a criação de um alto nível de atividade econômica. Para confirmar esta ideia, basta comparar a economia de países desenvolvidos com a de países em desenvolvimento, que geralmente possuem suas áreas de consumo e produção geograficamente próximas, sem necessidade de buscar produtos de locais mais distantes. Com o êxodo rural em países em desenvolvimento as pessoas passaram a se concentrar em grandes centros urbanos e, se houver um bom sistema de transporte, até mesmo produtos que tenham custos em mercados distantes de sua origem, incluindo o transporte, podem ser competitivos com os artigos locais (BALLOU, 1993).

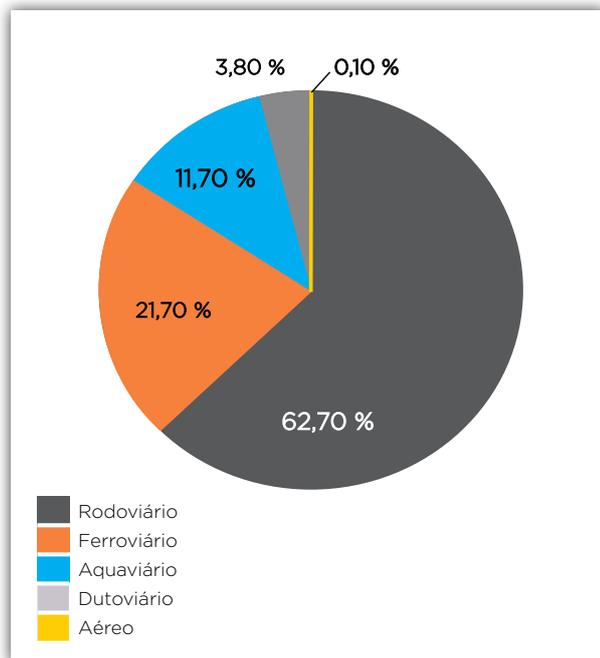
Além de incentivar a concorrência direta, o transporte barato e de alta qualidade também incentiva uma forma indireta de concorrência ao disponibilizar produtos num mercado que normalmente não teria condições de arcar com os custos de transporte. As vendas de outros produtos podem ser realmente aumentadas com sua penetração em mercados normalmente inacessíveis. Os bens de fora da região tem efeito estabilizador sobre os preços de todos os artigos semelhantes disponíveis no mercado (BALLOU, 2006).

A variedade dos serviços de transporte é sem limites. Existem hoje cinco modais que podem ser usados em combinação, que são: ferroviário, rodoviário, hidroviário, dutoviário e aeroviário. Esses meios de transporte têm suas variações e devem ser definidos de acordo com as necessidades do cliente, que precisa analisar, segundo o mesmo trabalho do autor, alguns elementos mais importantes, que são: 1) tarifas dos fretes; 2) confiabilidade; 3) tempo em trânsito; 4) perdas, danos, processamento das respectivas reclamações - e rastreabilidade; 5) considerações de mercado do embarcador; 6) considerações relativas aos transportadores.

O transporte barato e de alta qualidade incentiva uma forma indireta de concorrência ao disponibilizar produtos num mercado que normalmente não teria condições de arcar com os custos de transporte.

O transporte rodoviário é o principal meio para o deslocamento de cargas dentro do Brasil e é responsável por quase 63% do TKU (toneladas por quilômetro útil) movimentado no País, como apresentado na GRÁF. 1. O grande volume movimentado e o fato de ser um dos modais com preço unitário mais elevado – perdendo apenas para o aéreo – fazem com que o transporte rodoviário de cargas tenha ampla representatividade nos custos logísticos do País. Em 2008 os gastos com a movimentação de carga pelas rodovias brasileiras foram de R\$ 164,5 bilhões, ou 5,7% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro (HIJJAR; LOBO, 2011).

GRÁFICO 1 – Matriz de Transportes do Brasil



FONTE: ILOS (2010)

Segundo Hijjar e Lobo (2011), ainda que a má conservação das rodovias seja alvo de reclamações de 90% dos executivos de logística do Brasil, uma vantagem do transporte rodoviário é que ele chega a praticamente todos os pontos do País, ao contrário do ferroviário e do hidroviário. O modal rodoviário também é capaz de responder de forma muito mais rápida à demanda das empresas ao evitar certas formalidades necessárias em outros modais.

Com o avanço da economia, a globalização e um mercado cada vez mais exigente, as empresas tiveram que mudar o seu olhar sobre o que é mais importante dentro da sua cadeia produtiva.

Visto que o transporte rodoviário é o mais utilizado no Brasil, e também o mais caro, existe a necessidade de otimização para que estes altos custos sejam compensados nos lucros obtidos com o produto. Por esses motivos é que surgiram os *softwares* de roteirização, que tendem a diminuir o tempo gasto e assim a consequente diminuição destes altos custos, a melhor distribuição da carga e um cliente mais satisfeito.

## 1.1 Logística e Valor para o Cliente

Serviços ao cliente referem-se especificamente à cadeia de atividades de satisfação de vendas que começa normalmente com a formalização do pedido e culmina na entrega das mercadorias ao cliente, embora em uma variedade de situações possa ter continuidade na forma de serviço de apoio ou manutenção de equipamentos, ou qualquer outra modalidade de suporte técnico (BLANDING,1974 apud BALLOU, 2006, p. 94).

Com o avanço da economia, a globalização e um mercado cada vez mais exigente, as empre-

sas tiveram que mudar o seu olhar sobre o que é mais importante dentro da sua cadeia produtiva. Segundo Martin (2010), as cadeias de suprimento tradicionais foram projetadas para otimizar as operações internas da empresa fornecedora para possibilitar a maximização da eficiência na produção. Essa otimização resultaria em fabricação de grandes lotes, o transporte em grandes quantidades e, conseqüentemente, a empresa se tornaria um fornecedor de baixo custo. Do ponto de vista da organização, esse método seria de total satisfação, mas não é nem um pouco “centrada no cliente”, ou seja, não está visando como principal fator as necessidades e satisfação do seu cliente.

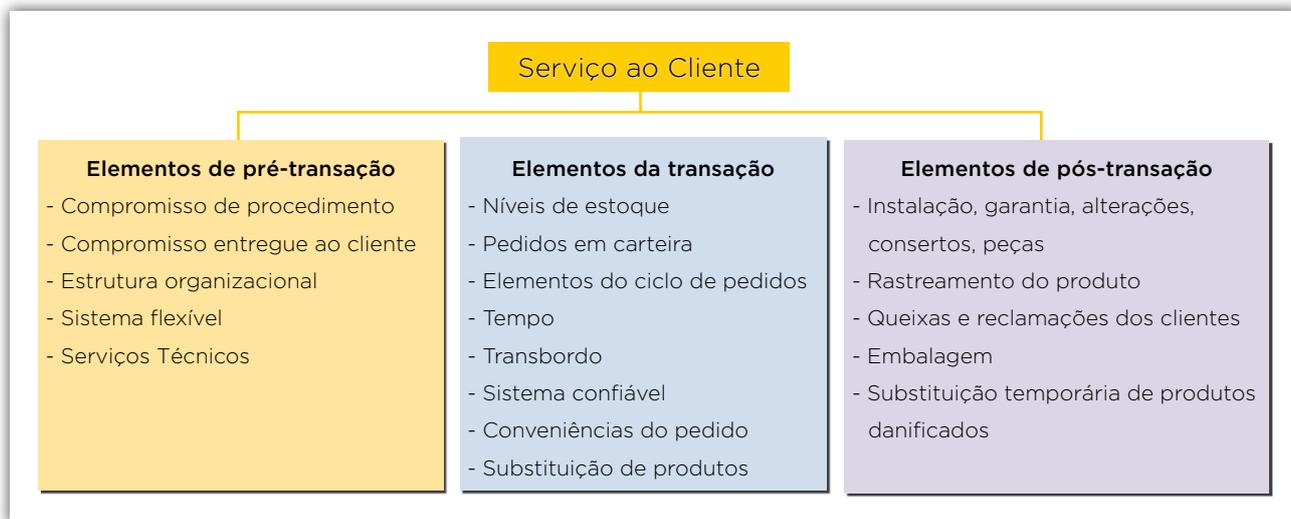
Essa filosofia convencional vem se tornando cada vez menos apropriada, pois o poder dentro do canal de distribuição está se tornando cada vez mais do consumidor. Agora, em vez de projetar cadeias de suprimentos da “fábrica para fora”, o desafio é projetá-las do “cliente para trás”. Essa perspectiva vê o consumidor não no final da cadeia de suprimentos, mas no início dela (MARTIN, 2010).

Dessa maneira, o cliente passa a ser a “peça-chave” na cadeia de suprimentos e é em torno dele que ela deve se desenvolver. Com as inúmeras marcas de grande similaridade no mercado, a concorrência passa a ser cada vez mais acirrada e o diferencial é o atendimento ao cliente, a satisfação que ele tem em relação à empresa, que faz com que ele volte a comprar deste mesmo fornecedor.

O importante é manter esse cliente, segundo Martin (2010), embora clientes novos sejam sempre bem-vindos, deve-se saber que um cliente já existente pode oferecer um aumento de lucros e tem potencial para ter maior frequência de compras ou compras em maior valor. Além dos fatores apresentados anteriormente, o cliente fidelizado conseqüentemente atrairá novos clientes para a empresa.

A FIG. 1 mostra os elementos do atendimento ao cliente, identificados de acordo com o momento em que se concretizou a transação fornecedor-cliente, obtidos por meio de um trabalho patrocinado pelo *National Council Physical Distribution Management*

FIGURA 1 - Elementos de serviço ao cliente



FONTE: Lalond; Zinszer (1975) apud Ballou (2006, p. 95)

## 1.2 A Tecnologia da Informação e o Sistema Logístico

Toda empresa atualmente tem a necessidade de ter objetivos bem delineados e para que estes sejam alcançados, devem ser traçadas boas estratégias que possibilitem atingir este objetivo. O consumidor atualmente exige muito do mercado e fatores mínimos fazem com que os clientes optem por fornecedores diferentes.

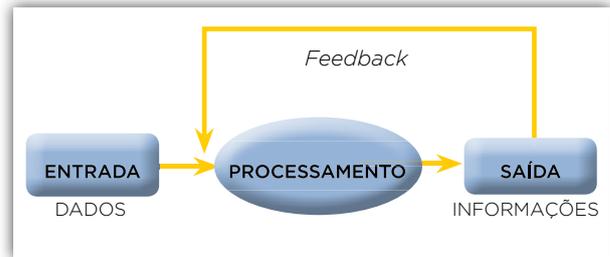
As novas tecnologias não somente mudam o ambiente como também ajudam a ser competitivos, e a logística tem que se valer da TI como uma arma competitiva, a qual se torna um pré-requisito para o sucesso (CLOSS, 1997 apud BIGATON; ESCRIVÃO FILHO, 2004, p. 3).

A TI deve também ser capaz de agilizar os processos logísticos dando não apenas maior velocidade, mas também fidelidade à informação. Por causa disso é visível o esforço das organizações em inovar os processos logísticos para melhoria dos resultados envolvendo o uso da TI (OLMO, 2001 apud BIGATON; ESCRIVÃO FILHO, 2004, p. 4).

Com os avanços nas últimas décadas na capacidade da tecnologia em tratar informações, os processos logísticos foram também aperfeiçoados dentro da cadeia, porém é necessário destacar que os sistemas de informação não trabalham sozinhos e necessitam da colaboração do homem, que deve alimentar qualquer sistema com informações corretas e precisas, para que os sistemas possam fazer sua parte e assim trazer ganhos para empresa, caso contrário os prejuízos serão inevitáveis e visíveis.

Um sistema de informação possui vários elementos inter-relacionados, como demonstra a FIG. 2, que coletam (entrada), manipulam e armazenam (processo), disseminam (saída) os dados e informações e fornecem um mecanismo de *feedback*.

FIGURA 2 – Processo realizado pelo Sistema de Informação



FONTE: Ballou (1993, adaptado)

Como visto na FIG. 2, os sistemas de informação transformam dados, que são informações “soltas”, que não têm sentido nenhum e que não proporcionam nenhum conhecimento, em informações úteis e “entendíveis”. Assim, com informações claras é que os gestores podem tomar algum tipo de decisão e também observar o que acontece dentro da empresa.

Atualmente são vários os sistemas de informação existentes no mercado, cada um variando de acordo com o nicho de empresa que irá atender.

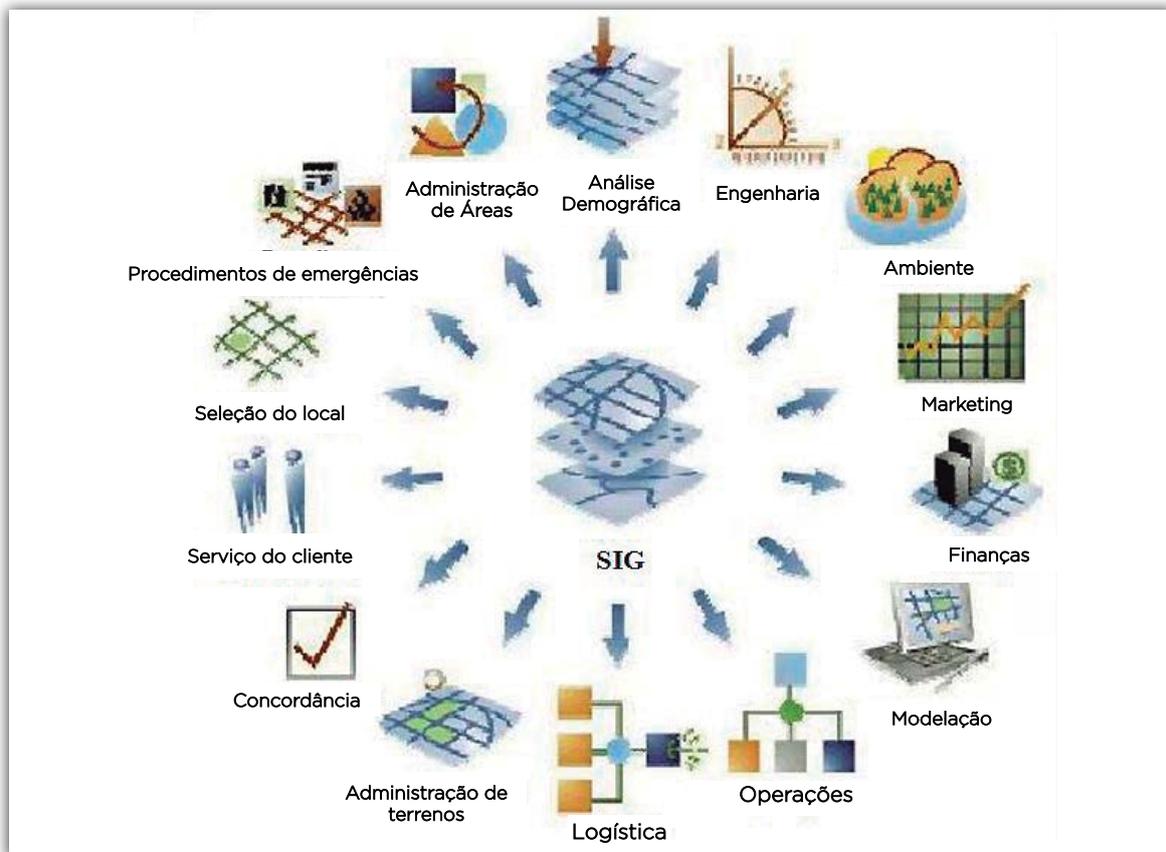
## 1.3 Sistema de Informação Geográfico

Os *softwares* de roteirização são Sistemas de Informação Geográficos, mais conhecidos como SIG ou *software* de geoprocessamento, que segundo Smith e Sicherman (1981) apud Pinto (2009), é um conjunto de funções automatizadas, que fornecem aos profissionais capacidades avançadas de armazenamento, acesso, manipulação e visualização de informação georreferenciada.

As atividades humanas sempre são desenvolvidas em alguma localidade geográfica e, portanto, podem ser geograficamente referenciadas. Desta forma, são praticamente infindáveis as possibilidades de aplicações de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), que são utilizados para manipular, sintetizar, pesquisar, editar e visuali-

zar informações especiais, geralmente armazenadas em bases de dados computacionais, sobre o que está/ ocorre na superfície da Terra (FERREIRA, 2006). Na FIG. 3 é apresentada a esquematização do funcionamento de um SIG.

FIGURA 3 - Funcionamento do SIG



FONTE: Ferreira (2006)

A seguir, os roteirizadores serão abordados com mais detalhes. Posteriormente, o estudo de caso será apresentado e o trabalho finalizado com as conclusões e considerações finais pertinentes.

Eles nos permitem obter soluções relativamente satisfatórias para problemas de roteirização, consumindo tempo e esforço relativamente pequeno em relação aos tradicionais métodos manuais.

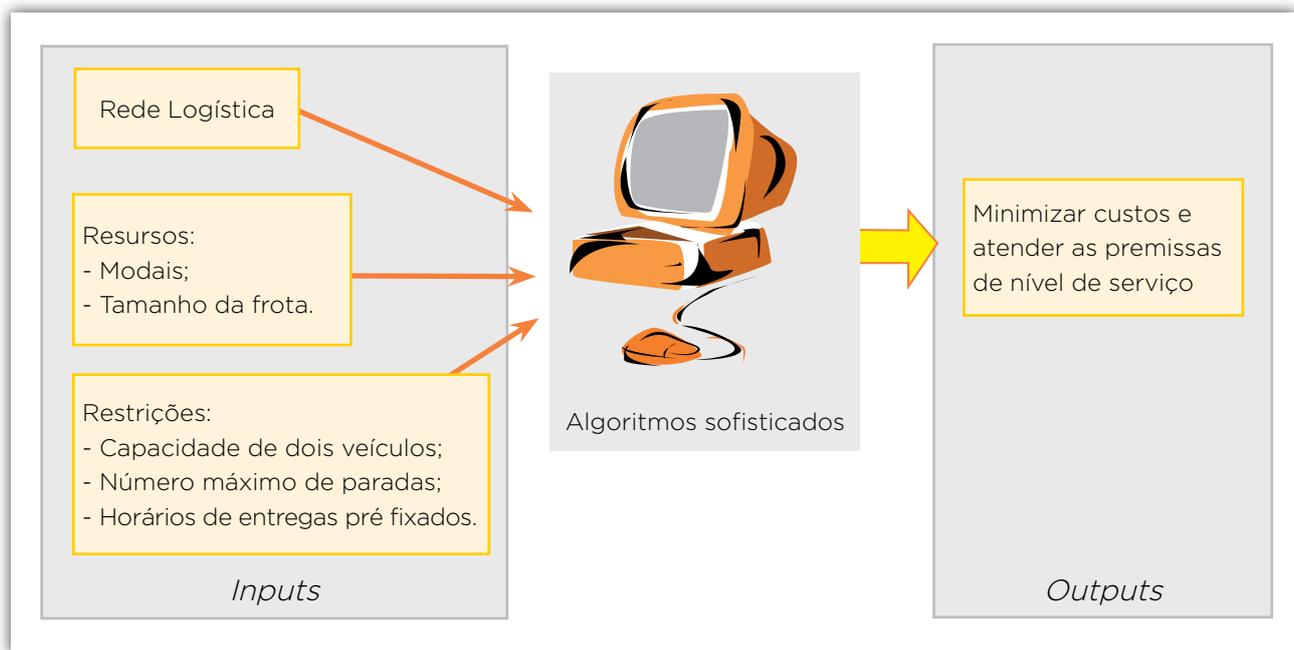
## 2 Softwares de Roteirização

Atualmente se dispõe de um número razoável de *softwares* de roteirização no mercado que auxiliam as empresas a planejarem e programarem os serviços de transportes e distribuição.

Os roteirizadores operam baseados em algoritmos avançados de otimização e modelos bem robustos, geralmente com o objetivo de minimizar o custo total da operação (MARQUES, 2002 apud RAVAGNOLLI, 2006, p. 12).

A FIG. 4 esquematiza o funcionamento de um *software* de otimização aplicado ao transporte.

FIGURA 4 - Apresentação esquemática do funcionamento de um *software* de otimização aplicada a transporte



FONTE: Ravagnolli (2006)

No momento em que a instituição decide adquirir um sistema roteirizador, alguns pontos importantes devem ser considerados na tomada de decisão sobre qual optar. Adquirir um roteirizador pode permitir ganhos significativos, tanto do ponto de vista financeiro, com redução de custos operacionais como no nível de serviço, oferecendo ao cliente mais qualidade e satisfação (RAVAGNOLLI, 2006).

Existem vários *softwares* que são disponibilizados ao público, sendo que cada um deles apresenta funcionalidades e complexidades próprias. Devido a isso, sem uma avaliação correta do roteirizador que se pretende adquirir, poderão ocorrer erros na entrada de dados, processamento de informações, entre outros problemas. Sistemas mal implantados e mal gerenciados resultam em uma fonte de prejuízo e problemas.

Segundo Ravagnolli (2006), devem ser considerados dois pontos de vista para a implantação de um *software*: 1) a necessidade e as características

da empresa que irá adquirir a ferramenta e 2) uma avaliação dos *softwares*, fazendo uma análise geral da estrutura e identificando alguns requisitos básicos necessários.

De acordo com Filho e Melo (2001) apud Ravagnolli (2006), em uma análise geral, os pontos que devem ser levados em consideração são os seguintes:

- Há realmente necessidade de adquirir tal tecnologia?
- Quais são os reais problemas a serem solucionados e quais os problemas que poderá trazer?
- Quais são os reais objetivos da aquisição?
- Em quantas fases será feita a implantação?
- Quais as tarefas e atividades a serem desenvolvidas?

- Quais profissionais devem ser envolvidos?
- Seria melhor desenvolver um sistema ou adquirir um dos disponíveis no mercado?
- Quais os roteirizadores disponíveis no mercado?
- Quais as principais características de cada produto?
- Quais os critérios que devem ser adotados na seleção do sistema?
- Em que prazo surgirão os primeiros resultados?

Quando o usuário decide adquirir um sistema de roteirização deve preocupar-se em responder as questões acima, pois a maioria dos fracassos na utilização desses *softwares* são gerados pela falta de planejamento e gerenciamento do sistema, causando, como consequência, resultados inversos àqueles esperados pelo usuário.

Segundo Marques (2002) apud Ravagnolli (2006) e Rago (2003), existem aspectos favoráveis e desfavoráveis na utilização de sistemas de roteirização, que são abaixo descritos:

- Aspectos favoráveis:
  - redução de custos de transporte com aumento da ocupação dos veículos, bem como o sincronismo de fluxos dos produtos desde a separação de pedidos até o carregamento, com consequente elevação do nível de serviço ao cliente;
  - melhor utilização dos custos de transporte, dado o maior controle da quilometragem rodada de cada veículo, gastos com pedágio e tempo total ou parcial ponto a ponto do percurso;
  - melhoria na composição (consolidação) e rotas: determina a melhor configuração dos veículos e clientes por viagem, dado o volume de carga de cada entrega, reduzindo a necessi-

dade de novas viagens, junto a melhor sequência de pontos de parada e o melhor percurso entre eles;

- melhor tempo para planejar a distribuição e a montagem de cargas: uma vez comparadas com as atividades desenvolvidas manualmente por meio de mapas rodoviários;
- disponibilidade de uma base de apoio realista para cálculo de uma tabela de frete;
- disponibilidade de informações *on-line*, o que possibilita aos clientes finais obter, através da internet, informações sobre carregamentos, localização de veículos, previsão de horário de chegada etc.;
- suporte de indicadores de desempenho para aferir a gestão de transportes.
- Aspectos desfavoráveis:
  - necessidade de envolvimento das pessoas a fim de gerar constantes atualizações no cadastro de informações para alcançar os resultados mencionados anteriormente;
  - muitas destas ferramentas são *softwares* caros, necessitando alto investimento financeiro para a aquisição, manutenção, assim como sua base de dados;
  - falta de um bom planejamento, sistemas mal implantados e mal gerenciados, falta de conhecimento do sistema que se adquire pode levar a resultados desfavoráveis, diferentes daqueles que foram propostos nos aspectos anteriores;
  - a própria interface de utilização do sistema, que pode ser de fácil entendimento, ou dificultar a utilização eficaz da ferramenta, ou seja, o número de parâmetros e o modo de inseri-los no sistema, pode tornar desfavorável a utilização da ferramenta.

Neste contexto, os *softwares* de roteirização seguem ideias implementadas computacio-

nalmente através de *softwares* desenvolvidos com características estudadas na literatura. Para compreender melhor o funcionamento destes sistemas, o capítulo seguinte apresenta noções sobre a roteirização e as principais propostas encontradas no meio científico.

### 3 O Que é Roteirização?

O transporte representa normalmente entre um e dois terços dos custos logísticos totais: por isso mesmo, aumentar a eficiência por meio da máxima utilização dos equipamentos e pessoal de transporte é uma das maiores preocupações do setor. O tempo que as mercadorias passam em trânsito tem reflexos no número de fretes que podem ser feitos por veículos num determinado período de tempo e nos custos integrais do transporte para todos os embarques. Reduzir os custos de transporte e melhorar o serviço ao cliente, descobrir os melhores roteiros para os veículos ao longo de uma rede de rodovias, ferrovia e hidrovias ou rotas de navegação aérea a fim de minimizar os tempos e as distâncias constituem problemas muito difíceis na tomada de decisão (BALLOU, 2006).

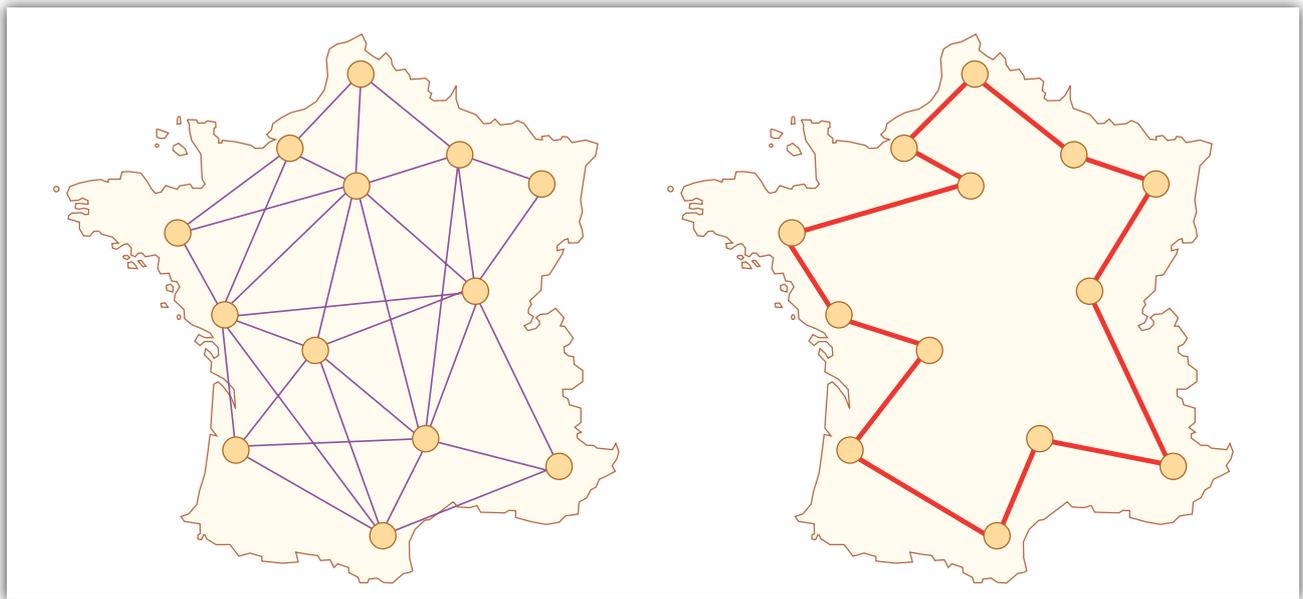
Roteirização se refere a uma atividade de programação e ordenamento de entregas, em geral realizados através de um *software* específico. Além disso, classifica-se como o processo de colocar certo veículo em um circuito de viagem, composto por vários pontos de coleta ou entrega de cargas. Desta maneira, a oferta do veículo é compartilhada por um conjunto de demandas isoladas, que se tivessem que ser atendidas isoladamente, por meio de rotas diretas, gerariam ociosidade nos veículos ou baixa frequência de atendimento nos postos de demanda.

O termo roteirização é utilizado como equivalente ao inglês *routing*, que denomina o processo de determinação de um ou mais roteiros de paradas a serem cumpridos por veículos de uma frota.

As empresas de entrega atendem diariamente a um conjunto de clientes, em que proporciona uma determinada quantidade de carga a ser transportada em um espaço de tempo relativamente curto entre duas localidades determinadas pelo cliente. O objetivo da empresa é realizar o transporte da carga de maneira mais econômica possível e que atenda as expectativas do cliente quanto ao tempo e qualidade. Assim, é necessário projetar uma rede de distribuição entre as localidades de entregas. A minimização dos custos de movimentação de cargas no tempo (estoques) e espaço (transportes) é um objetivo da logística. Assim, foram desenvolvidas ferramentas para auxiliar os gestores nesta atividade, entre elas a ferramenta de roteirização, que auxilia na gestão de transportes (RAVAGNOLLI, 2006).

Desde meados do século XX, abordagens matemáticas para os problemas persistentes da roteirização vêm sendo desenvolvidas. Uma das primordiais consistia em buscar um roteiro que cobrisse um número determinado de pontos com a menor distância possível e sem repetir nenhum dos pontos anteriormente visitados. Esta abordagem foi denominada de “Problema do Caixeiro Viajante”, que não permitia a repetição dos nós rotulados já visitados. A partir das rotas possíveis, o procedimento do caixeiro viajante procura uma solução ótima, como podemos observar na FIG. 5.

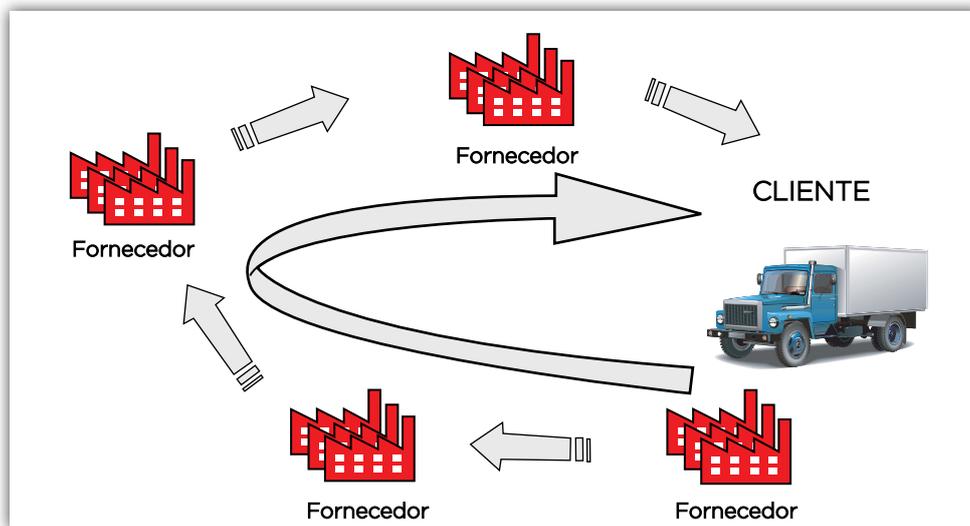
FIGURA 5 - Caixeiro Viajante



FONTE: Logística Descomplicada (2010)

Outro procedimento é o MilkRun, sistema que consiste na coleta programada de peças. Um veículo executando a operação de transporte de peças ou componentes, coletando-as em alguns fornecedores com horários programados representado na FIG. 6, incorporou as restrições de capacidade do veículo, janelas de entrega e de coleta no problema original. Uma rota regular para coleta de cargas distintas de diferentes fornecedores, com o objetivo de aumentar a frequência de entregas sem a necessidade de aumento dos lotes fornecidos por cada fornecedor individualmente.

FIGURA 6 - MilkRun



FONTE: Portopédia (2012)

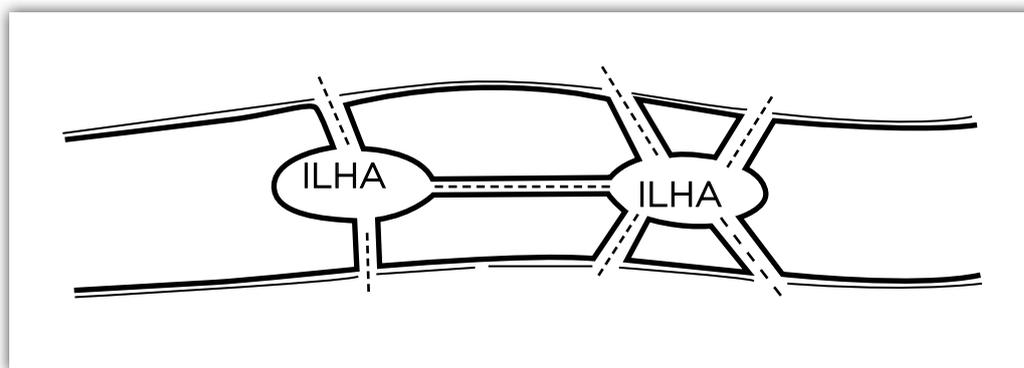
Existem outras teorias que possuem o mesmo objetivo, mas são recomendadas para situações distintas que são O Problema das Sete Pontes e o Problema do Carteiro Chinês, em que todas as ruas/pontes devem ser visitadas no mínimo tempo possível.

No século XVIII na cidade de Königsberg (Prússia, atual Kaliningrado Rússia) havia um rio chamado Pregel e, nesse rio, duas ilhas. Ligando uma ilha a outra existia uma ponte. A primeira ilha possuía outras quatro pontes, duas para cada margem do rio. Na segunda ilha, havia duas pontes, cada qual ligando uma margem, totalizando sete pontes, conforme ilustrado na FIG. 7.

Os habitantes de Königsberg desejavam realizar um desfile e não gostariam de passar mais de uma vez sobre cada ponte. Este problema ficou conhecido como "As Sete Pontes de Königsberg" e o matemático Leonard Euler (1707-1783) foi chamado para resolvê-lo.

No entanto, Euler provou que era impossível encontrar uma solução, pois, ao transformar o mapa em um grafo, em que as ilhas e o continente são os vértices e as pontes arestas, conforme ilustra a FIG. 7, notou-se que os vértices tinham grau ímpar (GONÇALVES, SANTOS; SILLA, 2007).

FIGURA 7 - Representação das Sete Pontes de Königsberg

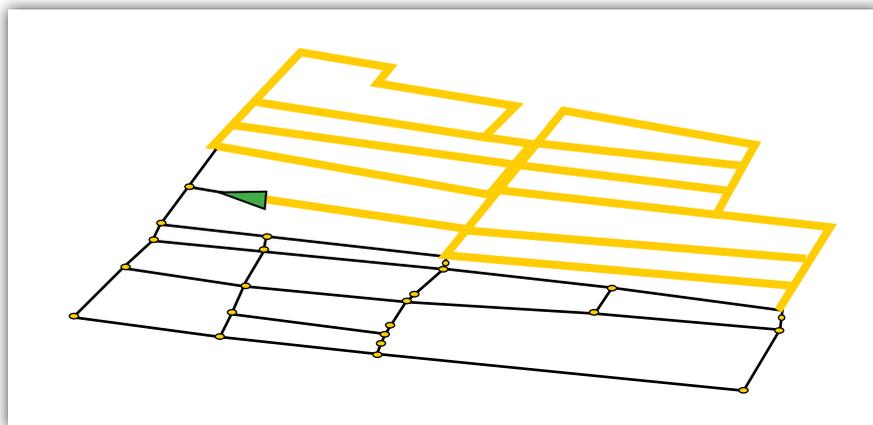


FONTE: Globo Ciência (2012)

Segundo Gonçalves, Santos e Silla (2007), o Problema do Carteiro Chinês (Chinese Postman Problem) tem forte relação com o Problema das Sete Pontes descrito acima. Tal problema consiste em encontrar uma rota para um carteiro, em que as seguintes restrições são colocadas: (1) todas as ruas devem ser visitadas; (2) o caminho deve ser mínimo, ou seja, a distância percorrida pelo carteiro deve ser a menor possível.

A principal diferença entre o problema das Sete Pontes e o Carteiro Chinês está em que este último permite ao carteiro passar por um caminho já utilizado anteriormente e, ao fim do percurso, ele deve estar no ponto de partida, representado a seguir na FIG. 8.

FIGURA 8 - Visão animada do percurso do Carteiro Chinês



FONTE: <http://www.scielo.br/img/revistas/pope/v29n2/a05fig19.gif>. Acesso em: 27 out. 2014

A roteirização de veículos tem sido vista como um dos maiores sucessos na área da pesquisa operacional nas últimas décadas. Este sucesso pode ser associado à atuação conjunta de teoria e prática. Por um lado, a pesquisa operacional como filiação acadêmica tem desenvolvido algoritmos que tem um importante papel na implementação de sistemas de roteirização. Por outro lado, o desenvolvimento de *hardware* e *software* e sua crescente integração na atividade operacional com foco comercial tem criado um alto grau de percepção dos benefícios potenciais da roteirização de veículos, criando interesse generalizado por parte das empresas usuárias (PELIZARO, 2000 apud RAVAGNOLLI, 2006, p. 12).

zonas, barreiras de tráfegos (lagos, desvios, montanhas) e os intervalos para o motorista são algumas das várias considerações que influem diretamente na decisão de um roteiro.

Existem vários métodos de roteirização e programação de cargas, e aqui examinaremos os dois métodos mais utilizados: o Método da Varredura e o Método de Clark-Wright.

### 3.1 Métodos de Roteirização e Programação

Segundo Ballou (2006), elaborar boas soluções para os problemas de roteirização e programação de veículos é cada vez mais difícil devido ao crescente número de restrições. Janelas de tempo, caminhões múltiplos com diferentes capacidades de peso e cubagem, tempo máximo de permanência ao volante em cada roteiro, velocidades máximas diferentes em diferentes

A roteirização de veículos tem sido vista como um dos maiores sucessos na área da pesquisa operacional nas últimas décadas. Este sucesso pode ser associado à atuação conjunta de teoria e prática.

O cálculo das melhores rotas, de acordo com as variáveis adotadas, são realizadas por meio de algoritmos. Segundo Tavares (1998), um algoritmo não representa, necessariamente, um programa de computador, e sim os passos necessários para realizar uma tarefa. Sua implementação pode ser feita por um computador, por outro tipo de autômato ou mesmo por um ser humano. Diferentes algoritmos podem realizar a mesma tarefa usando um conjunto diferenciado de instruções em mais ou menos tempo, espaço ou esforço do que outros. Tal diferença pode ser reflexo da complexidade computacional aplicada, que depende de estruturas de dados adequadas ao algoritmo. Por exemplo, um algoritmo para se vestir pode especificar que você vista primeiro as meias e os sapatos antes de vestir a calça enquanto outro algoritmo especifica que você deve primeiro vestir a calça e depois as meias e os sapatos. Fica claro que o primeiro algoritmo é mais difícil de executar que o segundo, apesar de ambos levarem ao mesmo resultado.

### 3.1.1 Método da Varredura

O método da varredura é considerado um método mais simples, não exige grande esforço computacional, por isso pode ser calculado mais rapidamente, ou em roteiros não muito grandes, a mão.

É um método mais fácil de calcular, mas também é menos preciso. Segundo Ballou (2006), para uma variedade de problemas, seu índice médio de erro projetado é cerca de 10%. Esse índice de erro computacional pode ser aceitável quando é necessário obter resultados em um curto prazo de tempo e opta-se por uma boa solução ao invés de uma ótima.

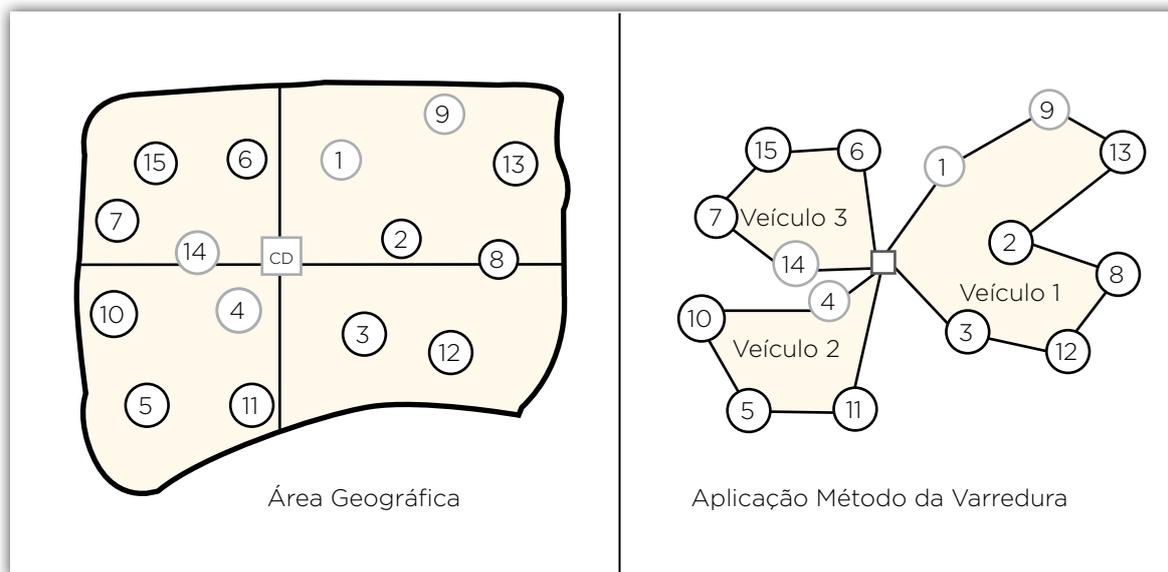
A desvantagem deste método é a maneira como são formados os roteiros. Primeiramente são definidas as paradas de cada veículo e

posteriormente é definida a sequência das paradas, como mostra a FIG. 9. Por esse motivo, alguns fatores não são adequadamente analisados, como as questões de tempo total da viagem, janelas de tempo, entre outros.

O método da varredura, segundo Novaes (2003), tem a seguinte sequência de procedimentos:

- tomando o depósito como centro, defina um eixo passando por ele;
- gire o eixo em torno do depósito até que inclua um ponto;
- teste o ponto com todas as possíveis restrições;
- caso o ponto não puder ser incluído no roteiro, feche este, e recomece pelas etapas anteriores.

FIGURA 9 - Aplicação do método da varredura



FONTE: Os autores (2012)

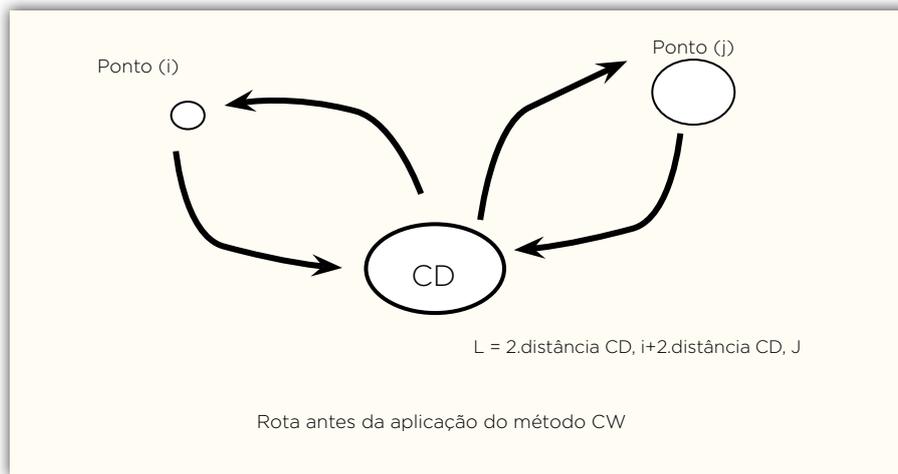
### 3.1.2 Método de Clarke-Wright

Também conhecido como método das economias, possui uma grande flexibilidade para resolver problemas com grande número de restrições práticas e capaz de gerar soluções quase ótimas.

O método de Clarke-Wright, segundo Novaes (2003), é muito utilizado na resolução de problemas isolados, como também no desenvolvimento de *softwares* de roteirização. Enquanto o método da varredura produz um erro médio de 10%, este apresenta somente 2% de erro médio. Baseia-se no conceito de ganho, em que a pior situação é quando o veículo sai do centro de distribuição (CD) e atende apenas um cliente.

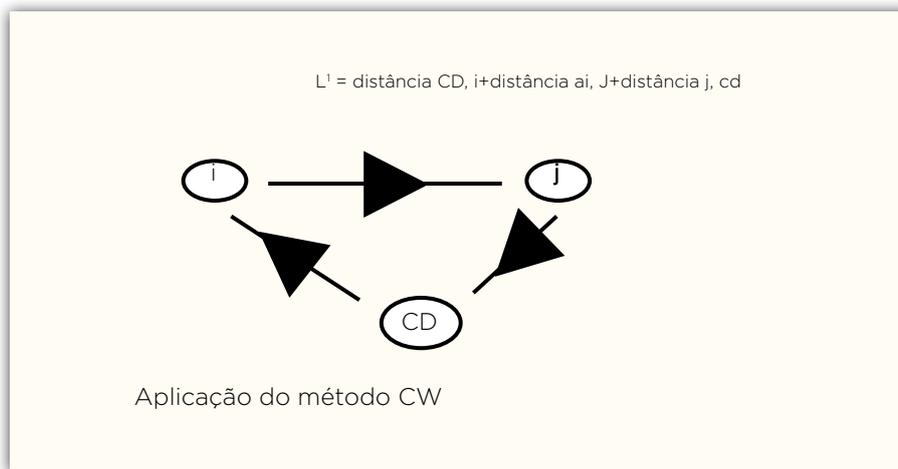
O objetivo do método das economias é minimizar a distância total percorrida por todos os veículos e indiretamente minimizar o número de veículos para servir a todas as paradas. A lógica do método está em começar com um veículo fictício servindo a cada parada e voltando ao depósito, vide FIG. 10. Isso mostra a distância máxima a ser abordada no problema da roteirização. Em seguida, combinam-se duas paradas no mesmo roteiro, como mostra a FIG. 11, a fim de tornar possível a eliminação de um dos veículos e a redução da distância percorrida. A fim de determinar quais são as paradas a serem combinadas num roteiro, a distância economizada é calculada antes e depois da combinação (BALLOU, 2006).

FIGURA 10 - Rota antes da aplicação do método de Clarke-Wright



FONTE: Os autores (2012)

FIGURA 11 - Aplicação do Método CW



FONTE: Os autores (2012)

Segundo Novaes (2003), o ganho tende a crescer quando os pontos  $i$  e/ou  $j$  se afastam do  $CD$  e também quando os pontos  $i$  e  $j$  estão mais próximos.

O método de CW se inicia com a análise de todas as combinações possíveis entre os pontos, dois a dois.

Novaes (2003) apresenta as seguintes etapas para a utilização do método:

- Etapa 1: combina-se todos os pontos, dois a dois, e calcula-se o ganho para cada combinação;
- Etapa 2: ordena-se todas as combinações  $i$  e  $j$ , de forma decrescente, segundo os valores dos ganhos;

- Etapa 3: inicia-se com a combinação de dois pontos que apresentam o maior ganho. Depois vai descendo na lista de combinações, obedecendo a sequência decrescente de ganhos;
- Etapa 4: para um par de pontos, tirado da sequência de combinações, verificar se os dois pontos fazem parte de um roteiro iniciado;
- Etapa 5: cada vez que se acrescentar um ou mais pontos num roteiro, ou quando se fundir dois roteiros, verificar se a nova configuração satisfaz as restrições impostas.

Essa abordagem não é garantia de uma solução ótima, mas, levando-se em conta a complexa natureza desse problema, aumenta-se as probabilidades de que se alcance uma boa solução (BALLOU, 2006). Em seguida, apresenta-se um estudo de caso de pequena complexidade que exemplifica a aplicação dos métodos.

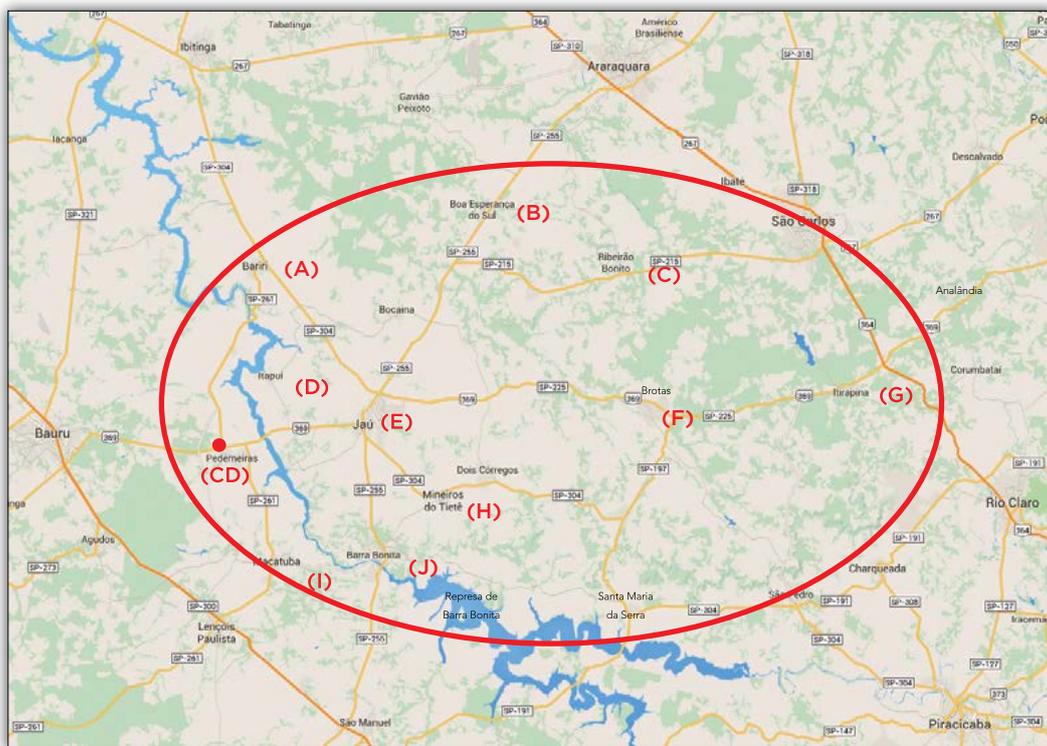
## 4 Estudo de Caso

Utilizando-se dos critérios apresentados no item anterior, será calculada a rota de uma distribuidora de tintas na região centro-oeste do estado de São Paulo, localizada na cidade de Pederneiras. Serão analisadas a rota feita pela empresa normalmente e a rota depois da aplicação do método matemático utilizado em *softwares* de roteirização, de Clarke-Wright.

Serão verificados os custos, o tempo e algumas outras restrições importantes para a empresa, antes e depois da aplicação do método.

A FIG. 12 apresenta a área que o CD (centro de distribuição) abrange e os seus pontos de entrega, os chamados “nós” citados anteriormente.

FIGURA 12 – Área de abrangência do CD



FONTE: Google Maps (2014, adaptado)

A distribuidora atende 10 pontos dentro de uma área de pontos próximos. A área onde estão localizados os pontos atendidos é conhecida como bolsão e a partir desta delimitação é que podem ser feitos os cálculos de otimização de rota.

#### 4.1 Roteiro Utilizado pela Empresa

A empresa distribui sua mercadoria de acordo com os pedidos feitos pelos clientes, sem nenhum tipo de cálculo de otimização ou traçado de rotas. Analisando a rota geralmente feita pela empresa serão apurados o custo total mensal, o custo por cliente e o tempo de ciclo, abrangendo os 10 pontos atendidos pela empresa, para que depois possam ser comparados com os custos obtidos utilizando o método de roteirização.

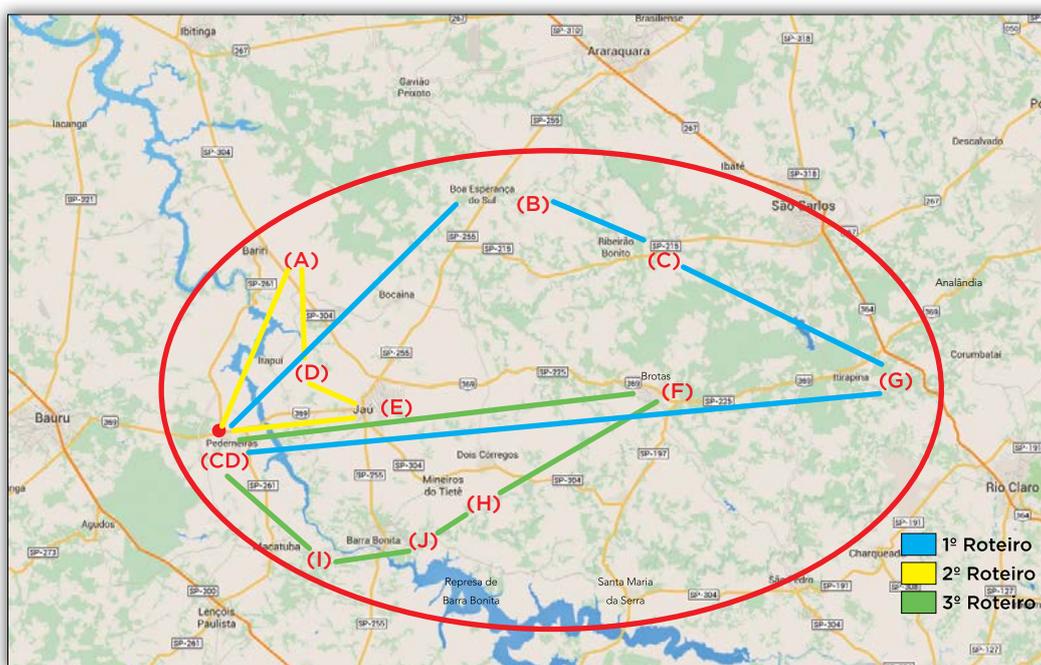
O transporte da carga, desde a distribuidora até seus consumidores, é feito por caminhões Truck Volkswagen 15-180 com capacidade para 15 toneladas, tem um gasto de 1 litro de óleo diesel para

em média 2,87 quilômetros, um custo fixo médio mensal, segundo a empresa, de R\$ 2.500,00 e o variável por quilômetro é de R\$ 0,93, considerando o valor do litro do óleo diesel R\$ 2,69 dividido por 2,87 quilômetros (distância rodada com 1 litro de óleo diesel). Segundo os entregadores, cada atendimento demora em média 30 minutos e as viagens são realizadas em uma velocidade média de 70 km/h, tanto na viagem do CD até o bolsão (V1) como no percurso dentro deste (V2). A empresa trabalha 22 dias por mês, sendo as entregas em cada ponto realizadas a cada 7 dias.

Os entregadores trabalham 7 horas diárias e levam em média uma hora para o carregamento do caminhão, antes da saída do CD. Os entregadores não ganham por produtividade, e sim recebem um salário fixo mensal, então este tipo de gasto não será considerado neste estudo.

Devemos considerar também que nos pontos E, F e J possuem dois locais de descarga. Na FIG. 13 é representada a rota geralmente feita pela empresa.

FIGURA 13 - Roteiro utilizado pela empresa



FONTE: Google maps (2014, adaptado)

A área total para a realização das entregas é de 243,20 km<sup>2</sup>, ou bolsão, como é mais conhecida. Dentro desta área são realizados pela empresa três roteiros diferentes, em que o primeiro roteiro possui uma área de 220,80 km<sup>2</sup>, o segundo roteiro 88 km<sup>2</sup> e o terceiro 148,80 km<sup>2</sup>.

A partir das informações obtidas serão calculados a quilometragem mensal percorrida, o tempo do ciclo e o custo, antes e depois da aplicação do método de roteirização.

Para estes cálculos serão considerados pedidos fixos em cada ponto, apresentados na TAB. 1, mas que podem variar no dia a dia da empresa.

TABELA 1 - Relação de pedidos em cada ponto

PONTOS	PESO DO PEDIDO (TON)
Bariri (A)	2,4 toneladas
Boa Esperança do Sul (B)	1,9 toneladas
Ribeirão Bonito (C)	2,2 toneladas
Itapuí (D)	3,1 toneladas
Jaú (E) *	9,7 toneladas
Brotas (F) *	7,4 toneladas
Itirapina (G)	5,0 toneladas
Mineiros do Tietê (H)	1,5 toneladas
Macatuba (I)	2,7 toneladas
Barra Bonita (J) *	5,3 toneladas

\*Considera-se o peso da carga para atender os dois pontos dentro da cidade.

FONTE: Os autores (2012)

#### 4.1.1 Cálculo de tempo e custos mensais baseados no roteiro utilizado pela empresa

Para que possa ser calculado o tempo e os custos mensais que a empresa apresenta e depois comparar com os resultados obtidos a partir do método de roteirização, será calculada a quilometragem mensal, o tempo do ciclo e considerados os custos fixos e variáveis para chegar a um custo total mensal.

Para calcular a quilometragem mensal será utilizada, segundo Novaes (2003) a seguinte fórmula:

$$Km\ Mensal = \frac{n^{\circ} de\ dias\ trabalhados}{Freq.de\ atendimento} \times \left( 2 \times K1 \times d + \frac{K0 \times K1 \times n}{\sqrt{\Sigma}} \right), \text{ onde:}$$

K1 representa o coeficiente de correção (neste caso será 1,10 que corresponde a uma correção de 10%), K0 a constante 0,765, d a distância do CD até o bolsão, n o número de clientes (pontos) e  $\sqrt{\Sigma}$  representa a densidade de clientes por km<sup>2</sup>.

O tempo de ciclo (TC) é, segundo Novaes (2003), o tempo decorrido desde a saída do veículo do CD até seu retorno. A partir deste cálculo será comparado o tempo gasto antes e depois da aplicação do método de roteirização. A fórmula utilizada para o cálculo é a seguinte:

$$TC = \left( \frac{2 \times K1 \times d}{V1} \right) + \left( \frac{K0 \times K1 \times n}{V2 \times \sqrt{Z}} \right) + \frac{n \times \text{tempo médio de parada}}{60}, \text{ em que:}$$

V1 representa a velocidade do veículo do CD até o bolsão e V2 represente a velocidade do veículo dentro do bolsão.

A partir das fórmulas apresentadas e dos valores fornecidos pela empresa, chegou-se aos valores disponíveis na TAB. 2.

TABELA 2 - Custo total mensal anterior à aplicação do método de roteirização

	1° Roteiro	2° Roteiro	3° Roteiro
KM Mensal	476,82 km	263,99 km	528,70 km
Tempo de um ciclo	3,67 horas	3,23 horas	5,55 horas
Tempo de ciclo mensal	14,68 horas	12,92 horas	22,20 horas
Custo fixo	R\$ 2.500,00		
Custo variável	R\$ 443,44	R\$ 245,51	R\$ 491,69
Custo médio por cliente	R\$ 283,13		
<b>CUSTO TOTAL MENSAL</b>	<b>R\$ 3680,64</b>		

FONTE: Os autores (2012)

## 4.2 Cálculo de Rota pelo Método Clarke-Wright

Seguindo os critérios anteriormente apresentados, será calculado o novo roteiro. A seguir estão demonstradas todas as etapas para o cálculo do método e os resultados obtidos. Primeiramente:

- Etapa 1: combina-se todos os pontos, dois a dois, e calcula-se o ganho para cada combinação. Para este cálculo são necessárias as distâncias entre todos os pontos e o centro de distribuição, apresentadas na TAB. 3.

TABELA 3 – Relação de distância entre todos os pontos do bolsão

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Pedreiras
Bariri (A)	/	33,60 KM	57,60 KM	16 KM	28,80 KM	65,60 KM	94,40 KM	46,40 KM	46,40 KM	48 KM	32 KM
Boa Esperança do Sul (B)	33,60 KM	/	24 KM	44,80 KM	38,40 KM	43,20 KM	65,60 KM	48 KM	68,80 KM	59,20 KM	59,20 KM
Ribeirão Bonito (C)	57,60 KM	24 KM	/	59,20 KM	46,40 KM	24 KM	40 KM	48 KM	73,60 KM	60,80 KM	70,40 KM
Itapuí (D)	16 KM	44,80 KM	59,20 KM	/	16 KM	62,40 KM	92,80 KM	35,20 KM	28,80 KM	32 KM	16 KM
Jaú (E)	28,80 KM	38,40 KM	46,40 KM	16 KM	/	44,80 KM	76,80 KM	17,60 KM	28,80 KM	22,40 KM	24 KM
Brotas (F)	65,60 KM	43,20 KM	24 KM	62,40 KM	44,80 KM	/	32 KM	36,80 KM	52,80 KM	49,60 KM	67,20 KM
Itirapina (G)	94,40 KM	65,60 KM	40 KM	92,80 KM	76,80 KM	32 KM	/	65,60 KM	96 KM	80 KM	97,60 KM
Mineiros do Tietê (H)	46,40 KM	48 KM	48 KM	35,20 KM	17,60 KM	36,80 KM	65,60 KM	/	30,40 KM	14,40 KM	33,60 KM
Macatuba (I)	46,40 KM	68,80 KM	73,60 KM	28,80 KM	28,80 KM	52,80 KM	96 KM	30,40 KM	/	16 KM	14,40 KM
Barra Bonita (J)	48 KM	59,20 KM	60,80 KM	32 KM	22,40 KM	49,60 KM	80 KM	14,40 KM	16 KM	/	24 KM

FONTE: Os autores (2012)

Para obter o ganho é realizado o seguinte cálculo: Ganho = distância do CD até i + distância do CD até j - distância entre i e j. A seguir, na TAB. 4, são apresentados os cálculos de ganho, de acordo com os pontos e distâncias atendidos pela empresa. Para a segunda etapa:

- Etapa 2: ordenam-se todas as combinações i e j, de forma decrescente, segundo os valores dos ganhos apresentados na TAB. 4.

TABELA 4 – Cálculo dos ganhos e classificação

i	J	Ganho	Classificação	i	J	Ganho	Classificação	i	J	Ganho	Classificação
A	B	57,6	9º	B	C	105,6	5º	C	D	27,2	28º
A	C	44,8	13º	B	D	30,4	25º	C	E	48	11º
A	D	32	24º	B	E	44,8	14º	C	F	113,6	4º
A	E	27,2	27º	B	F	83,2	6º	C	G	128	3º
A	F	33,6	22º	B	G	222,4	1º	C	H	56	10º
A	G	35,2	21º	B	H	44,8	15º	C	I	11,2	39º
A	H	19,2	35º	B	I	4,8	43º	C	J	33,6	23º
A	I	0	45º	B	J	24	31º	<b>i</b>	<b>J</b>	<b>Ganho</b>	<b>Classificação</b>
A	J	8	41º	<b>i</b>	<b>J</b>	<b>Ganho</b>	<b>Classificação</b>	F	G	132,8	2º
<b>i</b>	<b>J</b>	<b>Ganho</b>	<b>Classificação</b>	E	F	46,4	12º	F	H	64	8º
D	E	24	30º	E	G	44,8	16º	F	I	28,8	26º
D	F	20,8	33º	E	H	40	16º	F	J	41,6	19º
D	G	20,8	34º	E	I	9,6	40º				
D	H	14,4	38º	E	J	25,6	29º				
D	I	1,6	44º	<b>i</b>	<b>J</b>	<b>Ganho</b>	<b>Classificação</b>				
D	J	8	42º	H	I	17,6	36º				
<b>i</b>	<b>J</b>	<b>Ganho</b>	<b>Classificação</b>	H	J	43,2	17º				
G	H	65,6	7º	I	J	22,4	32º				
G	I	16	37º								
G	J	41,6	18º								

FONTE: Os autores (2012)

- Etapa 3: inicia-se com a combinação de dois pontos que apresentam o maior ganho. Depois vai descendo na lista de combinações, obedecendo a sequência decrescente de ganhos.

Para calcular na etapa 3 é necessário saber qual será a restrição mandatória nesta situação. A restrição neste caso pode ser pela jornada de trabalho, ou seja, quantos pontos poderão ser atendidos dentro do tempo trabalhado, ou pela capacidade de carga do caminhão, ou seja, quantos pontos podem ser atendidos de acordo com o peso dos pedidos em relação à capacidade do caminhão. Serão calculadas as duas restrições, a que obtiver menor valor, é a restrição mandatória, ou seja, a restrição sobre a qual os valores serão calculados.

A primeira restrição calculada é a de capacidade de carga, que adota as seguintes fórmulas:

$$\text{Número máximo de visitas (N)} = \frac{\text{Capacidade do Veículo (W)}}{\text{Pedido médio por ponto (Q)}}$$

$$\text{Área máxima (AW)} = \frac{W}{\text{Densidade de clientes na área do bolsão}(\Sigma) \times Q}$$

A segunda restrição calculada é a de jornada de trabalho, calculada pela seguinte fórmula:

$$N = \left( \frac{\text{Jornada de Trabalho} - \frac{2 \times K1 \times d}{V1}}{\left( \frac{K0 \times K1}{V2 \times \sqrt{\Sigma}} + \frac{TP}{60} \right)} \right)$$

$$\text{Área Total (AT)} = \left( \frac{\text{Jornada de Trabalho} - \frac{2 \times K1 \times d}{V1}}{\left[ \Sigma \times \left( \frac{K0 \times K1}{V2 \times \sqrt{\Sigma}} + \frac{TP}{60} \right) \right]} \right)$$

A partir da fórmulas apresentadas anteriormente, obteve-se os resultados apresentados na TAB. 5.

TABELA 5 - Cálculo das restrições

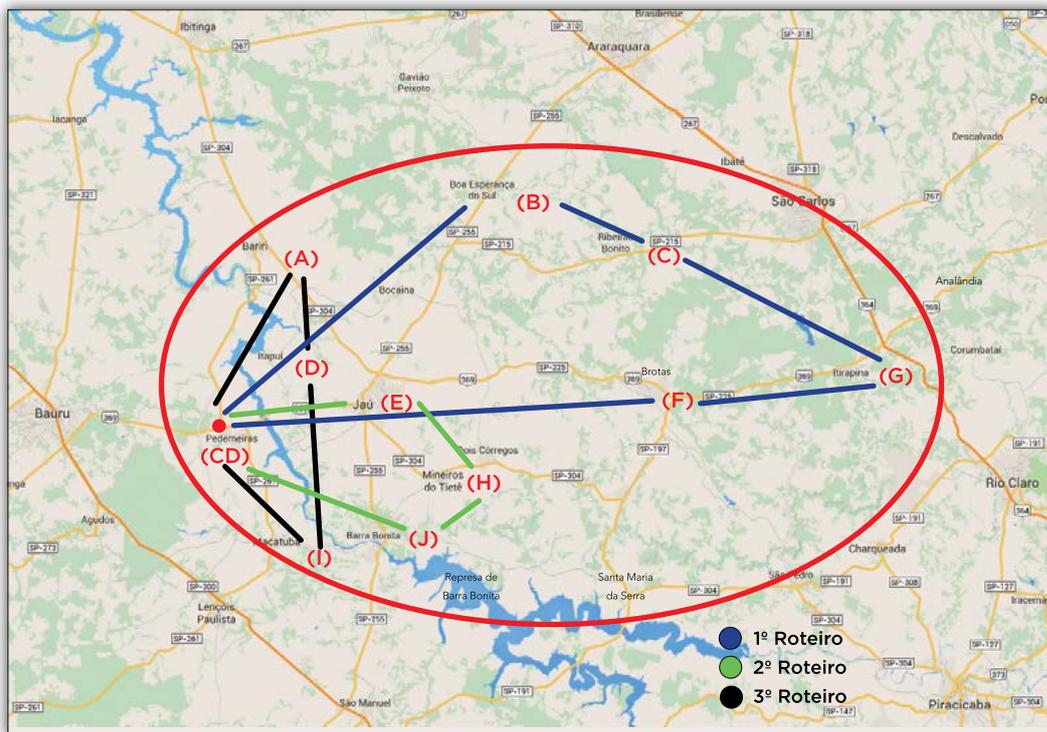
Restrições	
Capacidade	
Número máximo de visitas	3,64 pontos
Área Máxima	88,81 km
Jornada de Trabalho	
Número máximo de visitas	11,84 pontos
Área Máxima	284,65 km

FONTE: Os autores (2012)

A partir dos resultados obtidos no cálculo das restrições, conclui-se que a restrição mandatória é a de capacidade de carga, pois partindo da média de pedido por pontos e da capacidade do caminhão conclui-se que não é possível atender muitos pontos. A partir do número máximo de visitas possíveis e da área máxima que pode ser atendida, utilizando os ganhos anteriormente calculados, será possível traçar a melhor rota, levando em consideração a restrição. Também é possível observar a partir dos resultados que se dependesse unicamente da jornada de trabalho, todos os pontos e mais um poderiam ser atendidos em uma área maior do que a já atendida pela empresa.

Partindo dos resultados apurados nas etapas anteriores, obteve-se uma rota otimizada. Este resultado não é o ótimo, mas o mais próximo disto, e possui um erro médio de somente 2%. Dentro da etapa 3, as etapas 4 e 5 são inclusas. A FIG. 14 ilustra a rota obtida por meio da aplicação do método Clarke-Wright.

FIGURA 14 - Rota após a aplicação do método Clarke-Wright



FONTE: Google Maps (2014, adaptado)

#### 4.2.1 Cálculo de tempo e custos mensais baseados no roteiro calculado através do Método de Roteirização

Para fazer os cálculos serão adotadas as novas áreas dos roteiros. O primeiro roteiro possui uma área de 222,40km<sup>2</sup>, o segundo roteiro uma de 80km<sup>2</sup> e o terceiro roteiro uma de 91,20km<sup>2</sup>. A área do bolsão ainda se mantém 243,20km<sup>2</sup>, o custo fixo mensal R\$ 2.500,00 e o custo variável por quilômetro R\$ 0,93. A TAB. 6 apresenta os resultados.

TABELA 6 – Custo total mensal após a aplicação do método de roteirização

	1° Roteiro	2° Roteiro	3° Roteiro
KM mensal	487,82 km	206,67 km	264,86 km
Tempo de um ciclo	4,72 horas	3,44 horas	2,71 horas
Tempo de ciclo mensal	18,88 horas	13,76 horas	10,84 horas
Custo fixo			R\$ 2.500,00
Custo variável	R\$453,67	R\$192,20	R\$246,32
Custo médio por cliente	R\$ 260,94		
<b>CUSTO TOTAL MENSAL</b>	<b>R\$ 3.392,19</b>		

FONTE: Os autores (2012)

Comparando os resultados obtidos com os anteriores, podemos ver que a redução do custo total mensal foi de R\$ 3.680,34 para R\$ 3.392,19, valores que no final de um ano resultarão num montante economizado de R\$ 3.457,80 e o custo médio por cliente teve uma redução mensal de R\$ 22,19. Em relação ao tempo, calculando anualmente, nos roteiros anteriores, a aplicação do método de roteirização, são gastas 597,60 horas, enquanto que após a aplicação do método, as horas gastas anualmente caem para 531,76 horas, economizando 65,84 horas ou praticamente 3 dias.

## Considerações Finais

Depois de demonstrar a importância do transporte de cargas, tanto para a cadeia logística como para a satisfação e fidelização do cliente, sua otimização é indispensável para que a empresa se mantenha em um bom nível, dentro de um mercado cada vez mais concorrido onde existem marcas cada vez mais similares e um cliente cada vez mais exigente. O cliente atualmente é a peça principal da cadeia, é a partir dele que a empresa deve definir suas estratégias, analisando o que o cliente quer, onde e quando o produto agrega valor para ele.

Além dos processos logísticos, a empresa deve buscar sempre, por meio da TI e suas inovações, otimizar a maioria dos processos possíveis dentro da empresa para economizar tempo, dinheiro, minimizar erros e aumentar a eficiência. A empresa deve se manter sempre atualizada em relação às novas tecnologias e também em relação a sua equipe de trabalho, que deve estar preparada para operar estes sistemas de informação, que necessitam de informações claras e precisas para poderem gerar os melhores resultados para a empresa e não prejuízos.

Pode-se observar que existem vários métodos matemáticos para roteirizar, cada um com a sua característica. O método Clarke-Wright adotado neste estudo é uma maneira que pode levar a soluções ótimas, e como visto, tem em média 2% de erro e por isso é um dos mais usados para a criação dos *softwares* de roteirização. A partir dos resultados obtidos, pode-se observar a grande otimização em relação a custo e tempo no final de um ano. Esse ganho não é só para a empresa, mas também para o cliente. A empresa economiza, pois os custos e o tempo de rota são reduzidos, e o cliente consequentemente tende a estar mais satisfeito.

## Referências

- BALLOU, R. H. **Logística empresarial**: transporte, administração de materiais e distribuição física. São Paulo: Atlas, 1993.
- \_\_\_\_\_. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/Logística empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 616 p.
- BIGATON, A. L. W.; ESCRIVÃO FILHO, E. Logística e a tecnologia da informação. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA – SEGeT, 2004, Resende, RJ. **Anais...**, Resende, 2004.
- CUNHA, C. B. da. Aspectos práticos da aplicação de modelos de roteirização de veículos a problemas reais. **Revista Transportes da Anpet** – Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, v. 8, n. 2, p. 51-74, novembro/2000.
- CUNHA, C. B. da; MOURAD, F. A. **Problema de roteirização de veículos carga completa com janelas de tempo**. São Paulo: USP, Departamento de Engenharia de Transportes. Disponível em: <[http://cibtmetrorec.gov.br/estudos/pesquisa/anpet\\_xviiiCongrpesqens/rt/RD\\_arq37.pdf](http://cibtmetrorec.gov.br/estudos/pesquisa/anpet_xviiiCongrpesqens/rt/RD_arq37.pdf)>. Acesso em: 27 out. 2014.
- FERREIRA, N. C. **Apostila de sistema de informação geográfica**. Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás, Goiás, 2006. (Apostila) Disponível em: <[http://www.geolab.faed.udesc.br/sites\\_disciplinas/geoprocessamento\\_aplicado\\_ao\\_planejamento/docs/apostila\\_sig%5B1%5D.pdf](http://www.geolab.faed.udesc.br/sites_disciplinas/geoprocessamento_aplicado_ao_planejamento/docs/apostila_sig%5B1%5D.pdf)>. Acesso em: 13 ago. 2012.
- GHISI, M. A., et al. **Uso e benefícios de softwares de roteirização na gestão de transportes**. São Paulo: VII SEMEAD, 2004. Disponível em: <[http://www.ead.fea.usp.br/Semead/7semead/paginas/artigos%20recebidos/Opera%E7oes/OP18-\\_\\_Softwares\\_de\\_roteiriza%E7%E3o.PDF](http://www.ead.fea.usp.br/Semead/7semead/paginas/artigos%20recebidos/Opera%E7oes/OP18-__Softwares_de_roteiriza%E7%E3o.PDF)>. Acesso em: 11 ago. 2012.
- GLOBO CIÊNCIA. Disponível em: <<http://redeglobo.globo.com/globociencia>>. Acesso em: 12 out. 2012.
- GONÇALVES, A. R.; SANTOS, L. G. A. dos; SILLA, P. R. **Problema do Carteiro Chinês**. Universidade Estadual de Londrina. Paraná, 2007. Disponível em: <<http://www.dca.fee.unicamp.br/~andreric/arquivos/pcc.pdf>>. Acesso em: 11 ago. 2012.
- HIJJAR, M. F.; LOBO, A. **Cenário da infraestrutura rodoviária no Brasil**. ILOS – Instituto de logística e supply chain. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <[http://www.ilos.com.br/web/index.php?option=com\\_content&task=view&id=1807&Itemid=74&lang=br](http://www.ilos.com.br/web/index.php?option=com_content&task=view&id=1807&Itemid=74&lang=br)>. Acesso em: 13 ago. 2012.
- LOGÍSTICA descomplicada. Disponível em: <<http://www.logisticadescomplicada.com>>. Acesso em: 15 out. 2012.
- MARTIN, C. **Logística e o gerenciamento da cadeia de suprimentos**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2010.
- NOVAES, A. G. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição**. São Paulo: Atlas, 2003.
- PADILHA, T. C. C.; MARINS, F. A. S. Sistema ERP: características, custos e tendências. **Revista Produção**, v. 15, n. 1, p. 102-113, jan./abr. 2005
- RAVAGNOLLI, L. L. Roteirizadores para operadores logísticos: definição e apresentação. **Centro Paula Souza**, Jauá. 2º Sem. de 2006. 86 p.
- TAVARES, P. de C. Algoritmo. In: **Enciclopédia Verbo Luso-Brasileira da Cultura - Edição Século XXI**. Braga; Rio de Janeiro: Editorial Verbo, 1998. v. II.
- TOIGO, R. et al. **Sistema de roteirização de entrega**. Itajaí: UNIVALI, 2008. Disponível em: <<http://revistaseletronicas.pucrs.br/fo/ojs/index.php/hifen/article/viewFile/3863/2939>>. Acesso em: 13 ago. 2012.
- VIVALDINE, M. **Roteirização urbana na distribuição da rede McDonald's**. Bauru, SP: XII SIMPEP, 2005. Disponível em: <<http://www.maurovivaldini.com/PDFs/Roteirizacao%20Urbana.pdf>>. Acesso em: 13 ago. 2012.

- Recebido em: 27/05/2013
- Aprovado em: 17/10/2013