

## **ROTEIRIZAÇÃO: COMPARATIVO ENTRE OS RESULTADOS DE OTIMIZAÇÃO OBTIDOS POR UM SOFTWARE E OS OBTIDOS POR MODELOS CLÁSSICOS**

**Roberto Ramos de Moraes – Universidade Presbiteriana Mackenzie**

**Renata Ramos Pinheiro – SENAC**

**Natália Aparecida de Sousa – Fatec Zona Leste**

**Resumo:** Este trabalho tem por objetivo estudar o processo de roteirização de cargas fracionadas em área urbana por meio de um estudo de caso da distribuição de jornais em uma região da cidade de São Paulo. Como objetivos específicos tem-se apresentar modelos de roteirização de varredura e o método de Clark e Wright e comparar os resultados entre os modelos teóricos e de um *software* de roteirização. Mostrou-se uma prevalência dos modelos teóricos sobre o software na roteirização, obtendo-se menores distâncias totais no processo de roteirização.

**Palavras chave:** Roteirização. Modelo de Varredura. Modelo de Clark e Wright. Software de roteirização.

## **ROUTING: COMPARING THE OPTIMIZATION RESULTS OBTAINED BY A SOFTWARE AND OBTAINED BY CLASSIC MODELS**

**Abstract:** This paper aims to study the routing process of less than truckload cargo in urban areas through a case study of newspaper distribution in an area of São Paulo City. The specific objectives are to present scan routing models and Clark's method and Wright and compare the results between the theoretical models and a routing software. It showed a prevalence of theoretical models of the software in routing, resulting in lower total distances in the routing process.

**Keywords:** Routing. Scan model. Model of Clark and Wright. Routing software.

## 1 Introdução

A distribuição de produtos em área urbana é uma questão de grande complexidade e, portanto, objeto de preocupação das empresas, que busca a minimização do custo da operação.

O objetivo deste trabalho é estudar o processo de roteirização de cargas fracionadas em área urbana. Para isto, foi realizado um estudo de caso da distribuição de jornais em uma região de São Paulo.

Como objetivos específicos tem-se apresentar modelos de roteirização de varredura e o método de Clark e Wright e comparar os resultados entre os modelos teóricos e de um *software* de roteirização.

O público alvo deste artigo são a comunidade acadêmica e os profissionais que atuam no planejamento de distribuição urbana.

## 2 Referencial Teórico

### 2.1 Logística Urbana

A logística urbana é um tema com grande crescimento, pois a cada dia tanto o transporte de pessoas quanto a de cargas está com grande ampliação. Segundo Prata et al (2012), a logística urbana é um campo em crescente expansão nos dias atuais. O autor ainda expõe o tema com o objetivo de otimizar o sistema logístico em áreas urbanas, não deixando de considerar os custos e os benefícios voltados à mobilidade da carga urbana para os setores público e privado.

Há diversos fatores e operações que influenciam no fluxo de movimentação tanto de carga quanto de pessoas. Conforme Lima (2014), as operações de logística urbana são bastante condicionadas pelo aspecto urbano, além da infraestrutura viária disponível e pela a superestrutura utilizada pelos operadores do ramo logístico.

Já Mukai et al (2007) informam que interagir com o cenário urbano é sofrer com o caos urbano de congestionamento, que acarreta em perda de tempo e gasto de combustível, desgaste de veículos, maior emissão de poluentes, entre outros motivos pelos os quais fazem essa junção ser complexa.

Existe outro termo que deu início a logística urbana que é a *City Logistics* (Logística da Cidade), iniciou-se na Dinamarca em meados de 1990. Conforme Solon (2012), a principal função é a otimização global dos sistemas logísticos em uma área urbana, sempre considerando os custos e os benefícios dos setores privados e público.

Solon (2012, p. 20) esclarece dentro do transporte de carga e de pessoas, essa técnica tem o objetivo dividido em seis tópicos, sendo eles:

- **Desempenho macroeconômico do setor público:** visa contribuir com o desempenho econômico;
- **Custos e qualidade:** visa elevar a eficiência e a produtividade, na busca pela redução dos custos relativos aos transportes, em especial, aqueles que estão associados a possíveis congestionamentos do tráfego;

- **Ambiental:** visa reduzir ao máximo os efeitos advindos de atividades de movimentação de carga, como ruídos, emissões gasosas e vibrações que possam estar inferindo áreas residenciais próximas;
- **Infraestrutura:** visa fornecer uma adequada infraestrutura, em especial aquela que está voltada a manutenção do sistema viário e dos terminais nele dispostos, e a regularidade das operações de carga por caminhões na área em estudo;
- **Segurança:** visa reduzir o número de acidentes, bem como a gravidade destes;
- **Estrutural:** Contribui com a formação de uma estrutura urbana desejada, em especial na localização de atividades que possam gerar cargas e terminais.

Para ser desenvolvida encontra-se a técnica de previsão de demanda, pois a previsão das cargas urbanas é baseada pelo o desenvolvimento do modelo da previsão dos passageiros, estas afirmações são verdadeiras, mas limitam-se em relação às análises e inferências, segundo Lima (2014).

Os modelos citados pelo o autor para a movimentação urbana são divididos em duas classes:

- **Modelos de Demanda:** Objetos de discussão neste item são voltados para a previsão de volumes de movimentações tanto de veículos quanto de cargas.
- **Modelos de Oferta ou Logísticos:** São voltados para questões relativas ao dimensionamento e operação, como roteirização e programação de motoristas e frotas.

## 2.2 Roteirização e Modelos de roteirização

A roteirização tem a finalidade de traçar o caminho mais viável para a entrega do produto ou serviço na localização física do cliente. De acordo com Araújo (2003, p. 19), roteirização pode ser definido como a determinação da melhor escolha de vias ou pontos que devem ser percorridos pelos veículos, visando o atendimento das demandas por serviço com o objetivo de minimizar os custos operacionais.

A roteirização não é tão simples como se parece, pois existem diferentes tipos de problemas que dificultam o percurso do objetivo. No ponto de vista de Cunha (s.d, apud LAPORTE et al, 2000), o problema de roteirização de veículos é definido por roteiros de veículos que minimizem o custo total do atendimento, com o objetivo de assegurar que cada ponto seja visitado exatamente uma vez e a demanda em qualquer rota não exceda a capacidade do veículo que a atende.

Já Partyka e Hall (2000, apud NOVAES, 2007), definem os três pontos fundamentais que formamos problemas de roteirização:

- **Decisões:** Dizem respeito à alocação de um grupo de clientes, que devem ser visitados, a um conjunto de veículos e respectivos motoristas, envolvendo também a programação e o sequenciamento das visitas.
- **Objetivos:** 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 baixo quanto possível.

- **Restrições:** A primeira restrição é completar as rotas com os recursos disponíveis, mas cumprindo totalmente os compromissos assumidos com os clientes. A segunda, respeitar os limites de tempo impostos pela jornada de trabalho dos motoristas e ajudantes. E por último, devem ser respeitadas as restrições de trânsito, no que se refere às velocidades máximas, horários de carga/descarga, tamanho máximo dos veículos nas vias públicas etc.

Os itens citados são baseados nas situações que ocorrem com certa frequência, como exemplo, entrega em domicílio de produtos comprados nas lojas de varejo ou pela internet. No exemplo é possível encontrar os três fatores citado pelo o autor, a decisão é por fazer a união de grupos (clientes) da mesma região para serem feitas as entregas das compras feitas. O fator objetivo é fazer a entrega com qualidade a um custo viável para a empresa, sempre respeitando o outro fator das restrições como o tempo de trabalho e as regras das vias estipulado pela justiça.

Existem dois tipos de roteiro que constitui o tema de roteirização de veículos, que são sem e com restrições. Conforme Novaes (2015, p. 314):

Roteirização sem restrições é quando não é preciso se preocupar com tais restrições, tudo se passando como se o sistema não fosse restrito por tempo ou capacidade, nesses casos, o problema que resta a ser resolvido é o de encontrar a sequência de visitas que torne mínimo o percurso total dentro do distrito.

Mas há roteirização com restrições que são os maiores problemas da distribuição física do processo. Ainda com Novaes (2015), o ato de roteirizar pode ocorrer ao mesmo tempo com o processo de divisão dos distritos ou zonas de entregas, e com isso tornando a resolução do modelo mais complexo.

### 2.2.1 Método de varredura

No momento de se fazer a roteirização, pode-se recorrer a diferentes métodos para se chegar a uma solução ótima. Segundo Luizelli e Garcia (2010, apud GAMA, 2011, p. 40):

O método da varredura, também conhecida como *sweepalgorithm* ou até pela heurística de *Gillet e Miller* (1974), é uma estratégia onde se procura obter a solução do problema em duas etapas distintas. A primeira visa agrupar os pontos de demanda segundo algum critério de proximidade, enquanto na segunda etapa cada grupo é solucionado independentemente.

Marins (2011) define o método varredura como fácil e de rápida utilização, mas com uma média de 10% de erro na solução ótima comparado ao método de Clarke e Wright, pois o nível de precisão aceita no problema com característica que muda rapidamente, porque a justificativa do autor é mais preferível se ter uma solução razoável em pouco tempo, do que a ótima a longo prazo.

Para a elaboração desse método Marins (2011, p. 25) descreve as etapas pelas quais serão feitas o processo de modelagem do problema:

- **Etapa 1.** Definir um eixo horizontal passando pelo depósito.

- **Etapa 2.** Girar o eixo em torno do CD no sentido anti-horário até que a linha inclua um cliente.
- **Etapa 3.** Teste do cliente em potencial para inclusão no roteiro:
  - a) Tempo de atendimento do novo cliente estoura a jornada de trabalho permitida por dia?;
  - b) Quantidade de mercadoria a transportar para o novo cliente excede o limite de capacidade do veículo?
- **Etapa 4.** Se o novo cliente não puder ser incluído no roteiro em formação, é sinal que as possibilidades desse roteiro se esgotaram. Nesse caso, fechamos o roteiro e iniciamos um novo. O processo termina quando todos os clientes tiverem sido incluídos em um roteiro.
- **Etapa 5.** Para cada roteiro, aplicar um método de melhoria (2-opt ou 3-opt) de forma a minimizar os percursos.

Caso as restrições não forem violadas, o novo cliente deverá passar pelas etapas 2 e 3 para serem incorporados, se não violada seguir diretamente para a etapa 4.

E essas são algumas formas de se fazer o método de varredura em um modelo de roteirização com restrição, por mais que possa haver uma margem de erro ainda sim é utilizada pela sua praticidade e rapidez para se obter uma solução em curto prazo. Como afirma Pacheco (2009), esta previsão só é considerável se a situação do seu problema alterasse rapidamente, precisando ou não de uma resposta rápida.

### 2.2.2 Método de Clark e Wright

Conhecido também como *Savings Algorithm*, o Clark e Wright é método bastante utilizado em modelos matemáticos, pois ele possui apenas a média 2% de erro em relação ao método de varredura com 10%. Segundo Ballou (2001, apud MARQUE, 2008), a abordagem deste método por Clarke e Wright esteve em evidência ao longo dos anos por sua flexibilidade, além de sua rapidez para um determinado número de paradas, sendo capaz de gerar soluções de pequenos problemas próximos do resultado ótimo, assim mostrando que o Método das Economias dá 2% acima das soluções ótimas.

Novaes (2007, apud FERREIRA, 2011) apresenta que o objetivo do método é gerar roteiros que respeitem as restrições de tempo e de capacidade, visando, ao mesmo tempo, minimizar a distância total percorrida pela frota.

Para a elaboração dessa técnica em um modelo matemático ele se inicia com a formação de roteiros para direcionar o veículo com a carga. De acordo com Pacheco (2009), os roteiros são fechados quando a restrição de tempo ou a capacidade de carga estiver praticamente atingida e reinicia-se novo roteiro com o par de pontos de maior ganho que não tenha entrado nos roteiros anteriores.

Toigo (2007) explica a forma como é iniciado, através da análise das combinações possíveis em grupos de dois a dois e listados em ordem decrescente de ganho. Conforme Silva (2003, apud TOIGO, 2007), os maiores ganhos são dos pontos mais afastados do CD e mais próximos entre si, portanto, o roteiro é formado a partir dos pontos mais distantes e vindo em direção ao CD.

Essa técnica segue com etapas que são descritas por Novaes (2007, apud FERREIRA, 2011):

- **Primeira etapa:** combinam-se todos os pontos dois a dois e calcula-se o ganho para cada combinação.
- **Segunda etapa:** ordenam-se todas as combinações, de forma decrescente, segundo os valores dos ganhos.
- **Terceira etapa:** inicia com a combinação dos dois nós que apresentaram o maior ganho.
- **Quarta etapa:** para um par de pontos, tirado da sequência de combinações, verifica-se se os dois pontos já fazem parte de um roteiro iniciado:
  - (a) se os pontos não foram incluídos em nenhum dos roteiros já iniciados, cria-se então um novo roteiro com esses dois pontos;
  - (b) se um ponto já pertence a um roteiro iniciado, verifica-se se esse ponto é o primeiro ou último desse roteiro. Se a resposta for positiva, acrescenta-se o par de pontos na extremidade apropriada. Faz-se a mesma análise com outro ponto, se nenhum dos dois pontos satisfizer essa condição separadamente, passa-se para o item (c);
  - (c) se ambos os pontos i e j fazem parte, cada um deles, de roteiros iniciados, mas diferentes, verifica-se se ambos são extremos dos respectivos roteiros. Caso contrário, passar para a etapa 5;
  - (d) se ambos os nós pertencerem a um mesmo roteiro, passa-se para a quinta etapa.
- **Quinta etapa:** Cada vez que se acrescenta um ou mais pontos num roteiro, ou quando se fundir dois roteiros num só, verifica-se se a nova configuração satisfaz as restrições de tempo e de capacidade volumétrica. Se atender aos limites das restrições, a nova configuração é aceita.
- **Sexta etapa:** O processo termina quando todos os pontos forem incluídos num roteiro.

### 3 Procedimentos metodológicos

Este trabalho caracteriza-se por um estudo de caso, com base em uma distribuidora de jornais, na qual foram coletados dados de uma rota de entrega. Foram considerados 112 pontos de entrega para a análise.

Para o estudo, considera-se que todos os clientes podem ser atendidos por um único veículo e dentro da janela de tempo estipulada, assim o critério de comparação é a menor distância percorrida.

Os cálculos teóricos foram processados em uma planilha eletrônica.

### 4 Estudo de caso

A empresa é o resultado da parceria na logística de transporte e entrega domiciliar de editoriais e produtos (jornais, brindes, etc.) entre os dois grandes grupos de jornais, tendo como objetivo atuar na administração das franquias, responsáveis pela qualidade na distribuição dos produtos oferecidos.

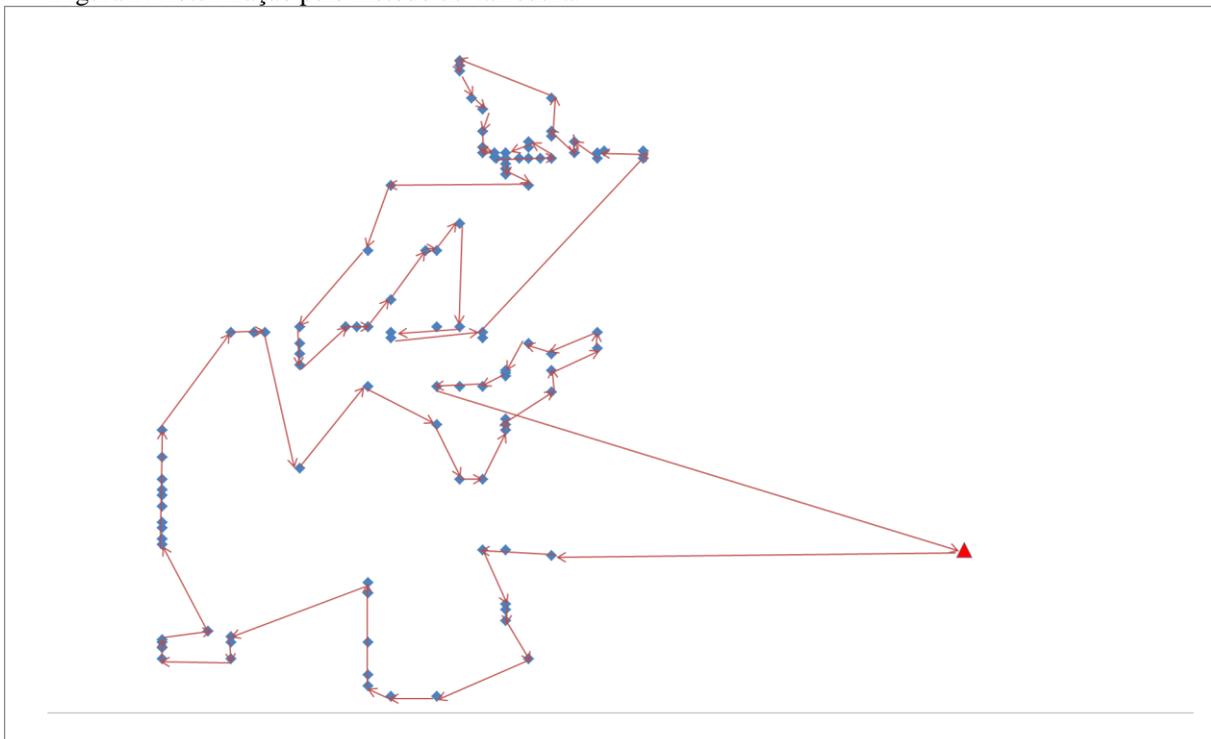
Os processos de logística e distribuição são realizados conforme a impressão dos cadernos, sendo cada um em sua própria gráfica e entregue nas franquias para conferência e montagem dos mesmos. Com a chegada dos produtos/cadernos na franquia a operação noturna começa por volta das 22hs, sendo que os funcionários fazem o descarregamento, conferência e encarte (montagem), dos jornais que são colocados em sacos plásticos de cores diferentes, para a fácil identificação do entregador. Após montados os jornais, cada distribuidor imprime e verifica sua rota de entrega, sempre tendo em mente que as entregas não podem ultrapassar a margem das 06:30 em todas os clientes.

Para melhorar a margem de distribuição dentro do tempo estipulado, redução de custos e ociosidade nos roteiros, a empresa junto aos cotistas fazem do uso do *software* RouteSmart para auxiliar no seu planejamento logístico. O RouteSmart é um sistema norte americano que proporciona o balanceamento e roteirização de jornais que por meio de medições de quilometragem, tempo e peso, liga informações dos endereços dos assinantes a serem atendidos, ajudando assim nos estudos de mercado, análises geográficas, custos e nas melhorias de tempo e percurso, aumentando a qualidade dos processo de distribuição da empresa.

#### a. Resultados

O primeiro roteiro foi construído pelo método da varredura, conforme descrito no item 2.2.1. O resultado, após as interações de melhoria, é apresentado na Figura 1, onde o centro de distribuição é representado pelo triângulo vermelho e os clientes por losangos azuis:

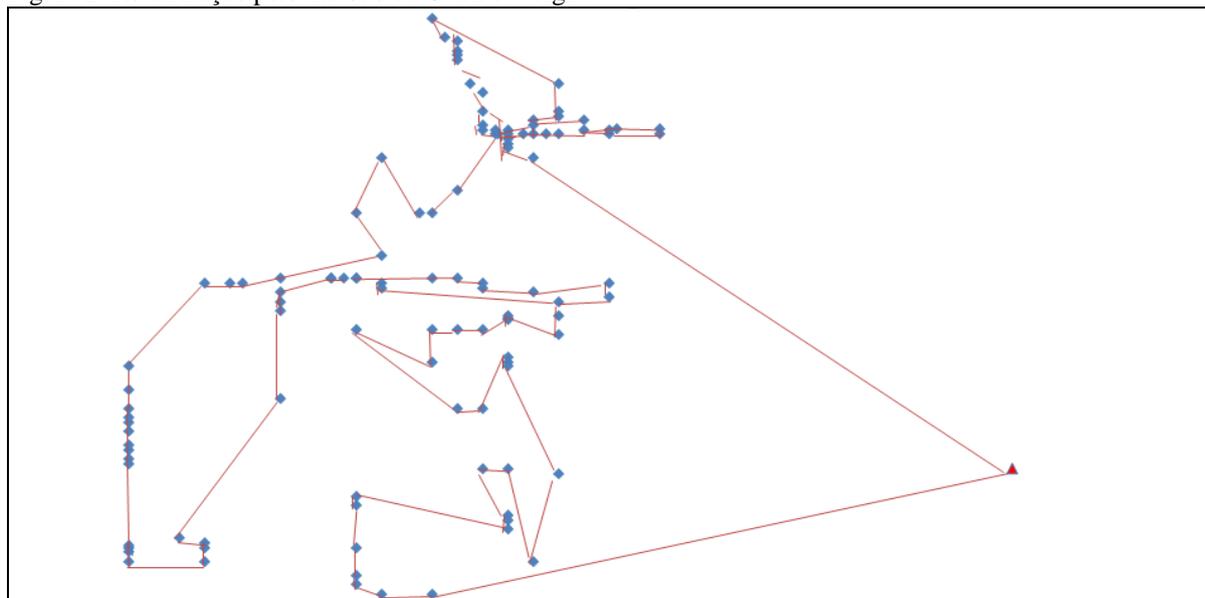
Figura 1: Roteirização pelo método de varredura.



Fonte: os Autores

A distância total percorrida nesta solução foi de 23,61 km.  
Já pelo método de Clark e Wright apresenta uma distância total de 22,17 km, e a resolução está apresentada na Figura 2:

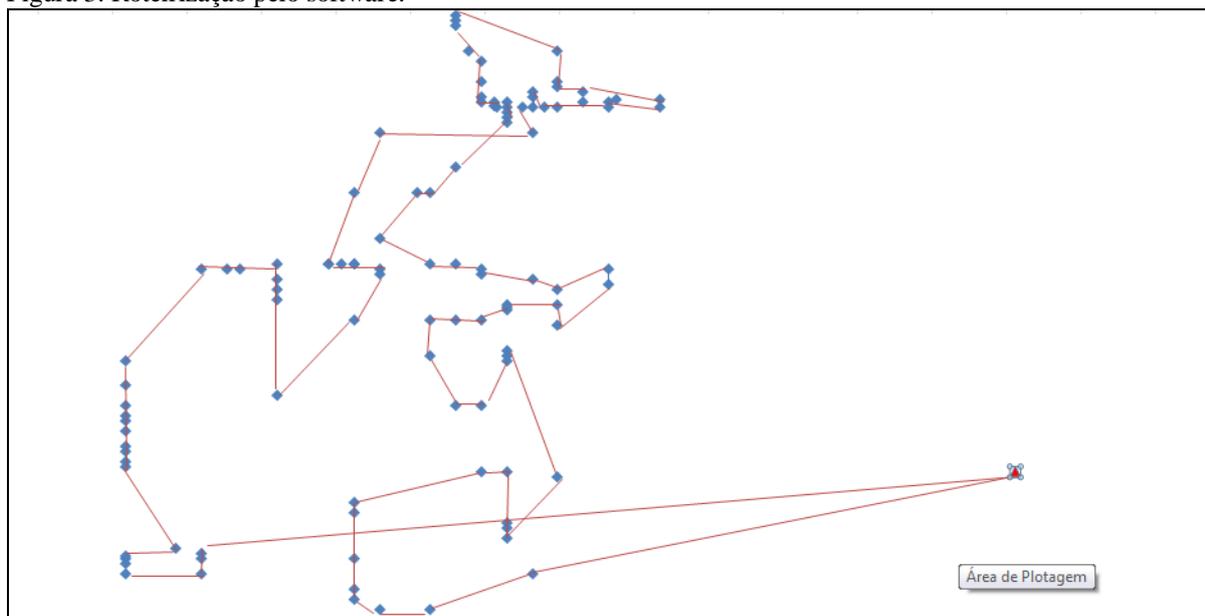
Figura 2: Roteirização pelo método de Clark e Wright.



Fonte: os Autores

Por fim, o resultado do software foi uma roteirização com distância total percorrida de 20,44 km, conforme a Figura 3:

Figura 3: Roteirização pelo software.



Fonte: os Autores.

Assim, o melhor resultado encontrado foi com a utilização de software. As diferenças do resultado obtido pela utilização do software e os métodos de varredura e de Clark e Wright são, respectivamente, 13,42% e 7,80% menor.

## 5 Considerações finais

Os modelos de varredura e o de Clark e Wright foram apresentados e aplicados a um problema de distribuição em área urbana. Os métodos se mostraram satisfatórios, mas o resultado do software se mostrou melhor que os métodos teóricos aplicados.

Desta forma, o objetivo do trabalho foi alcançado.

Como sugestão de continuidade deste trabalho, coloca-se a aplicação dos métodos teóricos agregando-se as restrições do sentido de uso das vias.

## REFERÊNCIAS

- CUNHA, C. B. *Aspectos práticos da aplicação de modelos de roteirização de veículos a problemas reais*. S.D. Disponível em: [http://www.gestori.com.br/website2/diversos/artigos/aspectos\\_praticos\\_de\\_aplicacao\\_da\\_roteirizacao.pdf](http://www.gestori.com.br/website2/diversos/artigos/aspectos_praticos_de_aplicacao_da_roteirizacao.pdf). Acessado em: 20/04/2015
- FERREIRA, R. P. *Combinação de técnicas da inteligência artificial para previsão do comportamento do tráfego veicular urbano na cidade de São Paulo*, 2011. Disponível em: [http://www.uninove.br/PDFs/Mestrados/Eng/Disserta%C3%A7%C3%A3o\\_Ricardo\\_Pinto\\_Ferreira.pdf](http://www.uninove.br/PDFs/Mestrados/Eng/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Ricardo_Pinto_Ferreira.pdf). Acessado em: 25/04/2015
- GAMA, M. B. *Roteirização de veículos: implementação e melhoria do método de Clarke e Wright*. Monografia apresentada à Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF. Disponível em <http://www.poslogistica.com/web/images/monografias/2011-01.pdf> . Acessado em: 2/05/2015. Juazeiro. 2011.
- LIMA, O. F. J. *Inovação em logística urbana utilizando emergência, geografia do tempo e cocriação*, Disponível em: [http://lalt.fec.unicamp.br/projetocnt2014/files/PROJETO\\_CNT.pdf](http://lalt.fec.unicamp.br/projetocnt2014/files/PROJETO_CNT.pdf). Acessado em: 12/06/2015. Campinas. 2014.
- MARINS, F. A. S. *Roteirização de veículos*, 2011. Disponível em: <http://www.feg.unesp.br/dpd/cegp/2011/LOG/Material%20Complementar/Apresenta%E7%F5es%20%20extras/pdf/Roteiriza%E7%E3o.pdf>. Acessado em: 04/05/2015
- MARQUES, V. J. A. *Um método heurístico de distribuição. Estudo de caso: distribuição de sementes a partir de um centro de distribuição*, 2008. Disponível em: [http://www.maxwell.vrac.pucrio.br/Busca\\_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=11745@1&msg=28#](http://www.maxwell.vrac.pucrio.br/Busca_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=11745@1&msg=28#). Acessado em: 22/04/2015
- MUKAI, H; DIAS, S. I. S. *Logística urbana*, 2007. Disponível em: [http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2007\\_tr570428\\_8881.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2007_tr570428_8881.pdf). Acessado em: 01/05/2015
- PACHECO, T. M. *Usos e benefícios da roteirização na gestão de transporte*. 2009.15 p. Trabalho de conclusão de curso (mestrado em logística empresarial)-Universidade Candido Mendes Pós-Graduação Lato Sensu Instituto A Vez Do Mestre, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: [http://www.avm.edu.br/docpdf/monografias\\_publicadas/k212123.pdf](http://www.avm.edu.br/docpdf/monografias_publicadas/k212123.pdf). Acessado em: 28/04/2015
- PRATA, B. A; OLIVEIRA, L.K; DUTRA N. G. S; NETO, W. A. P. *Logística urbana: fundamentos e aplicações*. 2012. EDITORA CRV 1ª EDIÇÃO

SOLON, A. S. *Aplicação da Logística urbana na modelagem e simulação de corredores do transporte público por ônibus*. 2012. Disponível em: [http://www.bdt.d.ufu.br/tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=4266](http://www.bdt.d.ufu.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=4266). Acessado em: 10/05/2015

TOIGO, R; VALLE, A. M. F; LAVRATTI, F. B. *Sistema de Roteirização de Entregas*, 2007. Disponível em: [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:VgoljIB\\_1jYJ:revistaseletronicas.pucrs.br/fo/ojs/index.php/hifen/article/download/3863/2939+&cd=7&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:VgoljIB_1jYJ:revistaseletronicas.pucrs.br/fo/ojs/index.php/hifen/article/download/3863/2939+&cd=7&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br). Acessado em: 05/05/2015