

# ANÁLISE DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS NA COLETA DE RESÍDUOS DE SERVIÇO DE SAÚDE

**Flávia Bruno Mendes**  
**Miguel A. A. Faria de Paula**  
**Carlos Alberto Faria**

Universidade Federal de Uberlândia  
Faculdade de Engenharia Civil (FECIV)  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

## RESUMO

Este trabalho tem por objetivo avaliar a roteirização de veículos na coleta de resíduos dos serviços de saúde, destacando o caso da cidade de Uberlândia. A partir do uso da tecnologia do GPS e a ferramenta logística *Routing/Logistics – Vehicle Routing* do software *TransCAD*, verifica-se a menor rota possível que atenda os clientes. Para isso, dois cenários são comparados: um considerando a rota real do motorista da empresa para o atendimento aos clientes no período da manhã e tarde, monitorado pelo receptor *Global Positioning System* (GPS). E o segundo cenário é gerar uma rota alternativa, por meio do software *TransCAD 4.5*, que logisticamente atenda esses clientes. Analisam-se os cenários por meio dos parâmetros distância, tempo de viagem e custo operacional. Os resultados mostram que a rota do *TransCAD* teve um melhor desempenho em relação a realizada pelo motorista.

## ABSTRACT

This paper aims to evaluate the vehicle routing in the collection of waste from health services, highlighting the case of the Uberlândia city. From the use of *Global Positioning System* (GPS) technology and logistics software tool *Transcad*, there is the slightest possible route that meets the customers. For this, two scenarios are compared: one considering the actual route of the driver for the company's customer service in the morning and afternoon, tracked by GPS. The second scenario is to generate an alternative route through the *Transcad 4.5* software, which meets these customers logistically. The procedure of routing *TransCAD* to be used is *Routing / Logistics - Vehicle Routing*. It examines the scenarios by means of the parameters distance, time and operational cost. The results show that the route of *TransCAD* had a better performance on held by the driver.

## 1. INTRODUÇÃO

A mobilidade urbana é um elemento importante no desenvolvimento urbano, e proporcionar uma mobilidade eficiente é uma ação mais que essencial para o desenvolvimento econômico e social das cidades. Deslocar de modo eficiente, eficaz e coordenado é papel da logística, que também abrange a coleta de produtos, serviços e pessoas.

A logística é considerada um elemento-chave na estratégia competitiva de empresas públicas e privadas. Insere no processo de desenvolvimento dos sistemas de transportes no que diz respeito ao planejamento, otimização e controle do fluxo de serviços. Tornou-se importante quando passou de um simples centro de custo, a uma operação que poderia trazer dividendos a uma empresa se fosse tratada de forma coordenada e eficaz. Desse modo, a logística converteu-se em peça fundamental para o sucesso financeiro e econômico, não só de uma empresa, como também de um município, estado ou nação.

O acelerado crescimento dos centros urbanos tem desencadeado graves problemas ligados à infra-estrutura, ao meio ambiente e aos serviços prestados a população. As empresas que transportam bens de uma central para um conjunto de destinos são fundamentais gerenciar estas operações eficientemente, de modo a reduzir os custos de operação e assegurar que coletas e entregas adquiram razoáveis padrões de serviço.

O uso da tecnologia de rastreamento por GPS para monitoramento de veículos em relação a outras técnicas existentes no mercado consiste no fato desta permitir uma ampla cobertura, ou seja, permite que se localize o veículo em, praticamente, qualquer região do país. O sistema de *Global Positioning System* (GPS) permite que, em qualquer localização na superfície da terra, um usuário ou objeto possa ser localizado com precisão. Essa tecnologia é desenvolvida em vários países através do Sistema Inteligente de Transporte.

Os serviços de distribuição de produtos e de coleta de resíduos são problemas clássicos de transportes por conta dos custos operacionais crescentes envolvidos que, em última instância, incidem desfavoravelmente no custo final dos produtos consumidos. Esse problema pode ser descrito como um problema de roteirização, determinando quantos veículos é necessário para servir os destinos, desenvolvendo uma rota e uma programação para cada um.

Um problema de roteirização pode ser considerado como um conjunto de meios para atender certa demanda, localizada nos arcos ou nos vértices de uma rede de transporte. A idéia principal é a designação de pontos de paradas de veículos e a determinação da sequência com que esses pontos são visitados, estabelecendo assim, as rotas para os veículos.

Wu (2007) afirma que o problema de roteirização de veículos pode ser definido como o atendimento de nós de demanda geograficamente dispersos, sendo que, para cada ligação entre um par de nós, há distâncias e custos associados. O objetivo é determinar o conjunto de rotas de menor custo que atenda às necessidades dos nós, respeitando restrições operacionais, tais como capacidade do veículo, duração das rotas, tempo, duração da jornada de trabalho, entre outras.

Problemas de roteirização ocorrem com frequência na distribuição de produtos e serviços. Alguns exemplos são listados a seguir:

- Entrega, em domicílio, de produtos comprados nas lojas de varejo ou pela internet;
- 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;
- Distribuição de produtos dos Centros de Distribuição (CD) de atacadistas para lojas do varejo, dentre outros.

Em situações práticas de roteirização é necessário lidar com grafos de grandes dimensões e complexidades, nos quais a resolução de problemas exige recursos computacionais. Embora seja conveniente a representação de grafos através de diagramas de pontos ligados por linhas, tal representação é inadequada se desejamos armazenar grandes grafos em um computador. Daí pode se utilizar a representação de matriz.

Um recurso computacional interessante em transportes é o *software* TransCAD. Segundo Caliper (1998), o TransCAD apresenta um sistema para armazenar, mostrar, gerenciar e analisar dados de transporte, combinando plataforma de SIG (sistema de georeferenciamento) com a modelagem de transportes. (Melo e Filho, 2001). Além disso, apresenta ferramentas para análise de redes, modelagem de demandas de viagens, sistemas de rotas, logística,

modelos de localização para as instalações, dentre outras.

## 2. PROBLEMÁTICA

O trabalho de coleta de resíduos de serviços de saúde é de suma importância para o município, pois tais resíduos são fontes diretas de contaminação. Os principais estabelecimentos geradores são: centros de saúde, ambulatorios, postos de assistência médica, consultórios médicos e odontológicos, casas de repouso, clínicas, hospitais, sanatórios, pronto-socorros, farmácias, serviços veterinários (clínicas, consultórios, etc.), laboratórios de pesquisa, serviços de medicina nuclear, entre outros.

Com o intuito de analisar a coleta de resíduos no município de Uberlândia e verificar a roteirização do veículo coletor, foi investigado o serviço de uma empresa responsável pela coleta dos Resíduos de Serviço de Saúde (RSS) durante um dia de trabalho. O problema é verificar se a rota adotada pela empresa pode ser minimizada, a fim de atender um conjunto de clientes a um custo mínimo.

## 3. METODOLOGIA

Inicialmente, monitora-se a rota do motorista, através do receptor GPS em um dia de coleta. Para facilitar o procedimento, os estabelecimentos a serem atendidos ao identificados previamente em listagem para coleta. Em seguida, o receptor GPS é configurado para coletar adequadamente as informações (coordenadas geográficas, distância, velocidade e tempo em cada trecho). Com auxílio do *software* GPS TrackMaker-Pro realiza-se a transferência dos dados para o *software* AutoCAD. Também foi realizado a pesagem dos resíduos coletados em cada ponto gerador e obtido o tempo de parada em cada ponto de coleta.

Por meio do *software* TransCAD, foi configurada a rede viária da região urbana com base georeferenciada do mapa da cidade considerando o sentido das vias e as velocidades operacionais em cada trecho. Criou-se *layers* de parada (nós) para identificação dos clientes e do local de depósito. No *layer* de paradas (*Stop*) foram necessários os campos de *Id* (identificação de cada parada), demanda, *open time*, *fixed time*, *unit time* e *close time*. No *layer* de depósito (*depot*) foram necessários, apenas, o *Node Id*, *open time*, *close time*.

No procedimento de roteirização é necessário criar a rede de trabalho (*network*) para a junção das informações do *layer* da rede e do *layer* de ponto. Os parâmetros para a roteirização do veículo foram definidos para minimizar a distância de percurso. Segundo o Manual do TransCAD (Caliper, 1998), este procedimento pode ser usada repetidas vezes para:

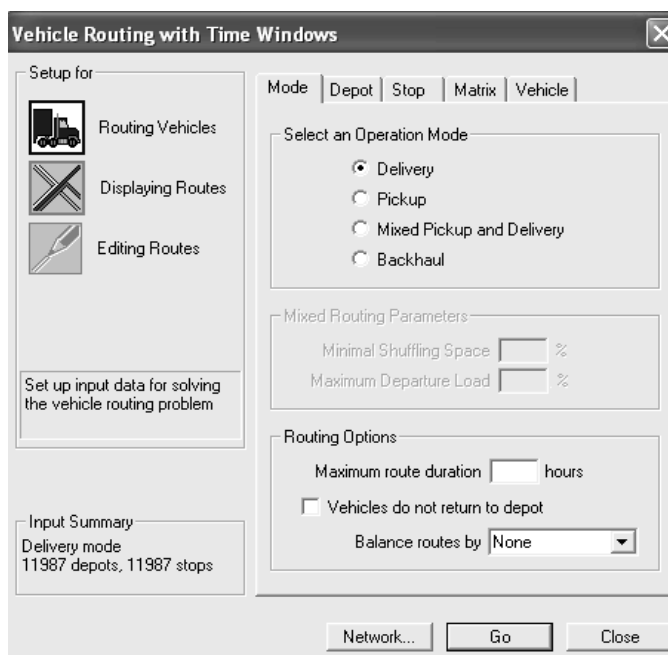
- Criar rotas usando um subconjunto de paradas;
- Promover variações na demanda, capacidades de veículos, atribuir janelas de tempo, ou outros parâmetros.

O *software* possui um módulo específico que resolve diversos tipos de problemas de roteirização de veículos. Algumas características do procedimento de roteirização no TransCAD são apresentadas a seguir:

- **Janela de tempo (*close time, open time*):** É definida por todas as paradas em função de restrições de horários de atendimento. É atribuída também ao depósito, em função do seu horário de funcionamento, ou em função da jornada de trabalho do motorista.
- **Tempo fixo de serviço (*fixed time*):** Corresponde ao montante de tempo requerido em cada parada, independente da quantidade de produto (ou serviço) demandada. É considerado, por exemplo, como um tempo de espera em filas para descarregar o veículo, ou o tempo para colocar o veículo em uma doca de descarga e verificar a mercadoria.
- **Tempo por unidade (*unit time*).** Tempo necessário para descarregar (ou carregar) cada unidade da mercadoria demandada.
- **Tabela de veículos:** podem ser considerados veículos de diferentes capacidades informando o custo operacional e a quantidade de veículos da frota.

Segundo Carrara (2007), para o planejamento de transportes podem ser utilizados dados matriciais associados à rede viária configurada para a solução de problemas complexos em transportes, tais como obtenção de caminhos mínimos e problemas de roteirização.

A ferramenta de roteirização de veículos (*Vehicle Routing*) do TransCAD descreve os procedimentos utilizados para desenvolver rotas eficientes de coleta/entrega. A Figura 1 mostra a caixa de diálogo para o procedimento de roteirização, onde cada campo deve ser preenchido de acordo com as informações inseridas em cada *layer*.



**Figura 1:** Janela para a roteirização.

É essencial criar a matriz de roteamento (campo *matrix*) que contenha a distância de viagem entre o depósito e/ou paradas (estabelecimentos geradores de resíduos) e a tabela de veículos (campo *Vehicle*) especificando os campos de *Id*, tipo de veículo, capacidade, número de veículos e custo operacional. Após, a inserção destes parâmetros o *software* TransCAD gera a rota mais otimizada.

A rotina *Vehicle Routing* produz dois ou três arquivos de saída: um arquivo de texto contendo o itinerário de cada veículo; uma tabela contendo a listagem das paradas em cada rota (este relatório é produzido somente se a matriz de roteamento for definida pelo método de rede); e um arquivo de relatório resumido (este arquivo é produzido se a opção *Procedure Report File* é ativada na caixa de diálogo *Procedure Settings*). A partir da saída dos dados (rota otimizada, relatório do itinerário) é possível analisar qual a rota mais eficiente dentre os cenários propostos.

Em suma, pretende-se comparar a rota monitorada pelo GPS e a rota alternativa criada pelo TransCAD, e verificar qual é a rota mais eficiente para o serviço de coleta. Para análise da eficiência foram determinadas variáveis quantitativas (distância, tempo, velocidade do veículo e peso da coleta), que expressam a condição empregada pela empresa e a obtida pelo TransCAD.

O método utilizado pelo TransCAD para roteirização é denominado de *greedy heuristic*, baseada na heurística desenvolvida por Clarke e Wright (1964) desenvolvida para resolver o problema clássico de roteirização de veículos. Baseia-se no ganho de distância ao atender 2 (dois) clientes sucessivamente em uma rota sem retornar ao ponto inicial, quando comparado ao atendimento destes clientes individualmente (GRANEMANN *et al.*, 2007). A heurística escolhe a melhor rota ao avaliar todas as rotas alternativas e seleciona a que melhor alcança a função objetivo.

O cálculo do custo operacional para coleta de resíduos foi baseado nos conceitos descritos pelo Manual de Cálculo de Custos e Formação de Preços do Transporte Rodoviário de Cargas (NTC, 2001) e pela publicação Custos Operacionais, Frete e Renovação de Frotas (Reis, 2003).

#### **4. ESTUDO DE CASO**

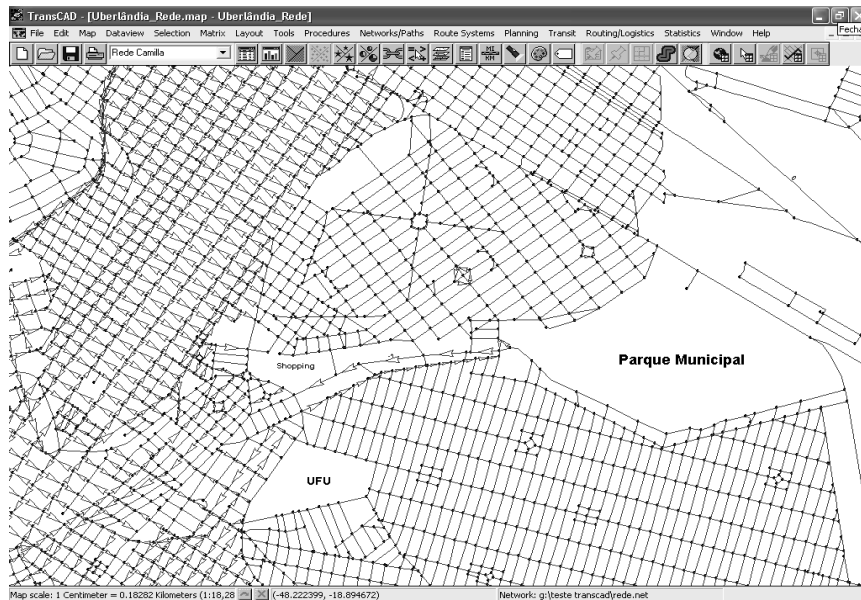
A cidade de Uberlândia, segundo dados do IBGE 2008, contava com cerca de 622 444 habitantes. É caracterizada como um importante centro urbano regional do Triângulo Mineiro. Segundo Bessa (2005), Uberlândia a partir de 1970 apresentou considerável desenvolvimento econômico, caracterizado pela ampliação e diversificação da produção agropecuária e industrial, do comércio e prestação de serviços. Paralelamente, ocorreu o desenvolvimento do sistema de transportes.

A coleta de resíduos de serviço de saúde na cidade é realizada por uma empresa que atende aos estabelecimentos geradores dentre os quais: hospitais, farmácias, postos de saúde, consultórios médicos e odontológicos, clínicas veterinárias e outros. A empresa atualmente coleta aproximadamente 140 toneladas de resíduos dos grupos A (resíduos com a possível presença de agentes biológicos), B (resíduos contendo substâncias químicas que podem apresentar risco à saúde pública ou ao meio ambiente, dependendo de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade) e E (materiais perfurocortantes ou escarificantes). Dentre os quais são tratados na cidade apenas o A e E.

A empresa dispõe de uma frota de três veículos, sendo um para coleta de grandes geradores e outros dois para os pequenos geradores. O veículo de menor capacidade empregado na coleta é um utilitário com capacidade para 400 kg ou 3.200 litros. O procedimento normal de seleção

da rota é realizado pelo motorista sem levar em consideração, qualquer parâmetro técnico quanto ao tipo de resíduo ou as demandas dos clientes.

Com as informações de coletas e a localização dos clientes, tempo de parada e demandas configurou-se a rede no TransCAD constituída pelo conjunto de nós e arcos baseado em mapa georeferenciado da cidade (Figura 2). Além disso, foram informados os sentidos das vias.



**Figura 2:** Rede viária representada no *software* TransCAD.

Foram identificados no mapa os estabelecimentos geradores e o local de depósito, onde os resíduos são deixados para tratamento. Para isso, foram criados *layers* de ponto (nós), diferenciando os locais de demanda e o depósito, conforme apresentado na Figura 3.



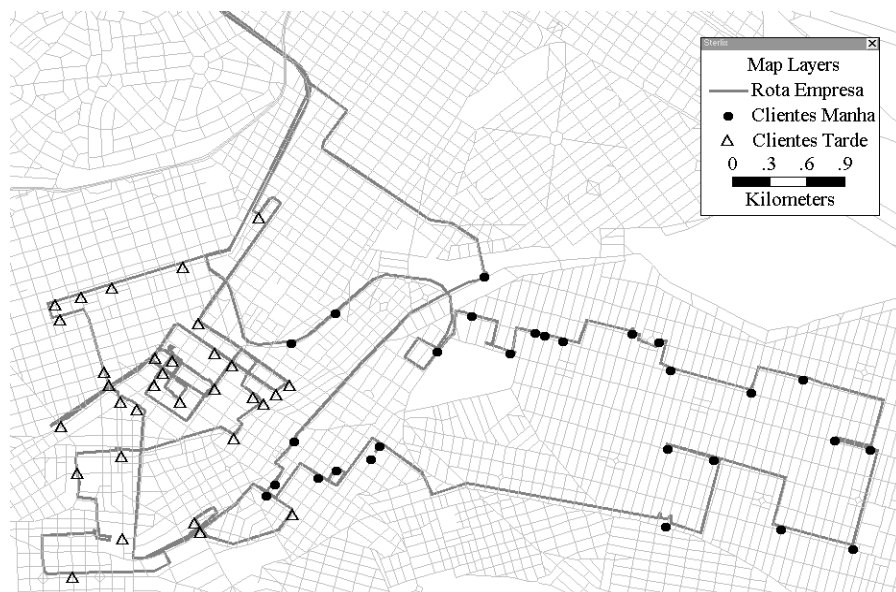
**Figura 3:** Inserção na rede dos locais de coleta.

Os estabelecimentos visitados estão dispostos espacialmente, na maior parte, localizados próximos ao centro e em bairros com características potenciais de subcentros. A demanda de resíduos nestes locais foi consideravelmente significativa, fazendo com que a empresa atenda mais de uma vez por semana, os mesmos clientes. Independente da quantidade de resíduo gerado, a empresa passa pelo local de coleta para serviço de rotina e controle. Alguns destes locais são próximos e, o motorista, estaciona o veículo próximo a um deles e percorre o trajeto até o seguinte, a pé. Segundo ele, isso contribui para melhor eficiência do serviço de coleta.

## 5. RESULTADOS

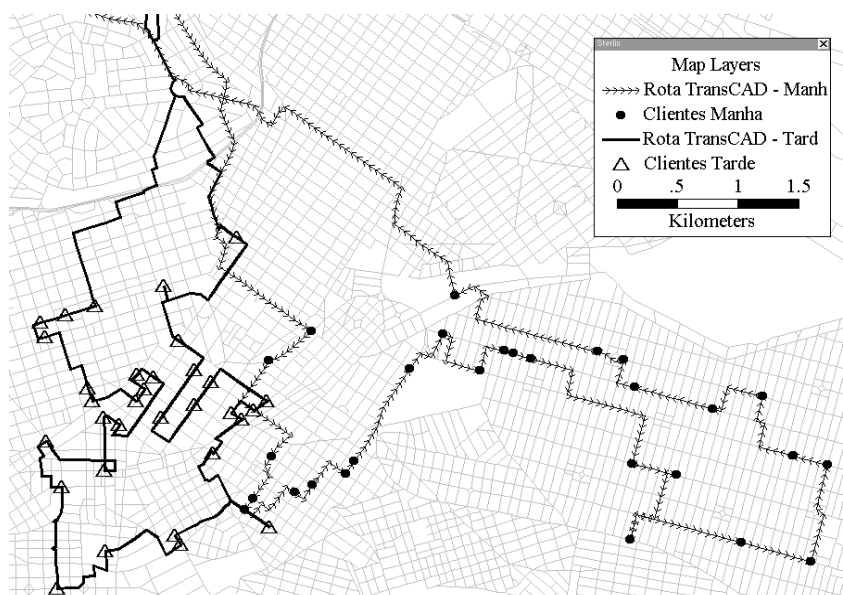
Os dados obtidos pelo receptor GPS informaram que a distância percorrida na coleta foi de 77 km e o tempo decorrido foi de 530 minutos (8 horas e cinquenta minutos), portanto a velocidade média operacional foi de 32 km/h atendendo diariamente 87 clientes (pontos de coleta).

A rota monitorada com o receptor GPS na coleta no período da manhã e da tarde (Figura 4) e a obtida por procedimento de roteirização no programa TransCAD foram comparadas. A rota obtida pelo GPS mostra o percurso realizado pelo motorista partindo do depósito (empresa de coleta) localizado no distrito industrial em direção aos locais de coleta. Percebe-se que há maior demanda na região central da cidade e nos bairros próximos ao centro.



**Figura 4:** Rota monitorada pelo GPS.

Por outro lado, a rota otimizada pelo TransCAD (Figura 5) mostra que a rota para atender alguns clientes é diferente em alguns trechos em relação ao realizado regularmente pelo motorista. O TransCAD apresenta um caminho que atende as demandas e levou em consideração as vias que permitem desenvolver maiores velocidades, ou seja, as vias principais ou de trânsito rápido.



**Figura 5:** Rota TransCAD.

Contudo, a distância percorrida, tempo de viagem e custo operacional obtidos com o TransCAD indicaram uma redução significativa comparando com a rota realizada pelo motorista. A distância total percorrida foi reduzida na ordem de 20 %, o tempo total de viagem apresentou redução de aproximadamente 10% e redução de 3 % no custo operacional, conforme Tabela 1.

**Tabela 1:** Análise dos dados.

Rotas	Rotas Geradas	Clientes atendidos	Distância percorrida (km)	Tempo de Viagem (min)	Custo Operacional (R\$)
Motorista	2	87	77,0	530	226,58
Software	2	87	61,2	486	219,38

## 6. CONCLUSÃO

A utilização do GPS permitiu monitorar as rotas e com a otimização da rota realizada pelo TransCAD percebe-se que pode haver uma redução de custos de transporte e melhoria da qualidade do serviço prestado pela empresa. Além disso, se for considerado os demais serviços realizados pela empresa de coleta e totalizados ao longo do ano, a quilometragem percorrida e o valor economizado não são desprezíveis e podem contribuir como melhor estratégia de logística urbana para toda a cidade.

A otimização do processo de coleta deve buscar a máxima satisfação da população com a prestação de serviços em relação aos aspectos de qualidade, custos, atendimento e proteção à saúde pública. Sendo assim, é fundamental que as empresas responsáveis pela coleta de resíduos de serviço de saúde estabeleçam um controle operacional com a dinâmica de otimização de rotas.

O problema de roteirização de veículos desenvolvido pelo TransCAD apresentou um bom



resultado para o fornecimento de rotas de coleta de resíduos, podendo ser considerado uma ferramenta de extrema utilidade para o planejamento operacional e logístico de uma empresa coletora de resíduos.

Dentre as vantagens da utilização do TransCAD para roteirização de veículos de coleta de resíduos de serviço de saúde, pode-se citar a solução de roteirização em menor tempo; a utilização de valores reais de distância e tempo de percurso em toda a rede viária; a possibilidade de análise de mudança dos valores das variáveis, tais como frota e período de operação e; também, a possibilidade de análise de mudança de restrições, tais como capacidade dos veículos.

Algumas ressalvas devem ser feitas quanto ao uso do *software* TransCAD no problema de roteirização de veículos, para que os roteiros gerados sejam executáveis na prática:

- O *software* não analisa as condições de tráfego que se tem na prática, como: presença de semáforo, congestionamentos, capacidade da via entre outros;
- Quanto à circulação dos veículos nas vias de tráfego, eles não operam com uma velocidade média, mas com a velocidade máxima permitida da via;
- O *software* não analisa as condições de carregamento do veículo, ou seja, o arranjo das cargas dentro do veículo.

Enfim, este trabalho contribuiu para o melhoramento da eficiência do serviço prestado pela empresa, bem como, incentivou a utilização de tecnologias para solucionar problemas de roteirização.

#### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à empresa responsável pela coleta dos resíduos por nos fornecer todas as informações necessárias, inclusive autorização do uso do GPS. Ao Laboratório de Transporte do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil pelos recursos necessários para a realização deste trabalho e a CAPES pelo apoio financeiro.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Associação Nacional do Transporte de Cargas (NTC) (2001). Manual de Cálculo de Custos e Formação de Preços do Transporte Rodoviário de Cargas. Disponível em: <<http://www.ntc.org.br>>. Acesso em: 11 de mar. 2009.

Bessa, K. C. (2005) Reestruturação da Rede Urbana Brasileira e Cidades Médias: O Exemplo de Uberlândia (Mg). Caminhos de Geografia, Uberlândia, Out. Disponível em: <[http://www.ig.ufu.br/revista/volume16/artigo24\\_vol16.pdf](http://www.ig.ufu.br/revista/volume16/artigo24_vol16.pdf)>. Acesso em: 9, jul, 2008.

Caliper Corporation (1998) Routing and logistics with TransCAD 4.5, Newton (MA), 764 p. 1998.

Carrara, C. M. (2007) Uma aplicação do SIG para a localização e alocação de terminais logísticos em áreas urbanas congestionadas, Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 224 f.

Clark, G.; Wright, J. (1964) Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. Operations Research, v.12, p. 568-581.

Granemann, S. R.; Yamashita, Y. et al. (2007) Metodologia para Roteirização do Transporte Escolar Rural. In: ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, Rio de Janeiro, 2007. Anais: Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes. Rio de Janeiro: ANPET, 2007.

Melo, A. C. S.; Filho, V. J. M. F. (2001) Sistemas de Roteirização e Programação de Veículos, Pesquisa Operacional, vol.21, n. 2, pp.223-232, (jul 2001). ISSN 0101-7438.

Reis, N. G. (2003) Custos Operacionais, Frete e Renovação de Frotas. Publicado pela Associação Nacional do Transporte de Cargas. Atualizado em Junho de 2003.

Wu, L. (2007) O Problema de Roteirização Periódica de Veículos, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, Universidade São Paulo, 109p.

---

Flávia Bruno Mendes (fbm\_udimoc@yahoo.com.br)

Miguel A. A. Faria de Paula (miganjo@bol.com.br)

Carlos Alberto Faria (cafaria@ufu.br)

Programa de Pós Graduação em Eng. Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia  
Av. João Naves de Ávila, 2121 – Uberlândia, MG, Brasil