

PROPOSTA DE UMA FERRAMENTA PARA O PROBLEMA DE ROTEIRIZAÇÃO DO TRANSPORTE ESCOLAR RURAL

Priscila de Almeida Prata

Suely da Penha Sanches

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana
Universidade Federal de São Carlos

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo propor uma ferramenta para a definição das rotas do Transporte Escolar Rural (TER) utilizando um Sistema de Informações Geográficas. Esta ferramenta é composta por um algoritmo que leva em consideração as particularidades do TER e uma interface que permite a entrada dos dados necessários à definição rotas e gera como saída o desenho das rotas em um mapa e um relatório com os itinerários das rotas. A ferramenta também permite a consulta individual de cada rota facilitando o entendimento das soluções geradas. O estudo de caso realizado permite validar as soluções geradas pelo algoritmo e concluir que esta ferramenta pode ser de grande ajuda aos responsáveis pelo Transporte Escolar Rural.

ABSTRACT

The objective of this paper is to propose a tool for the definition of Rural School Transportation (RST) routes, using a Geographic Information System. This tool is made up by an algorithm which considers the characteristics of the RST and an interface that allows the input of the data for the definition of the routes and generates a map with the routes and a report with the itineraries. The tool permits that each of the routes be visualized individually facilitating the analysis the solutions. The case study presented in this paper was used for validating the solutions created by the algorithm and confirm that this tool may be useful for those responsible for the Rural School Transportation.

1. INTRODUÇÃO

Fazer os alunos chegar às salas de aula diariamente é um grande desafio para as autoridades educacionais brasileiras. Nas cidades, o problema não é tão grave, porque o uso de passes escolares, oferecidos gratuitamente ou com descontos, permite que os jovens se movimentem utilizando ônibus, vans, trens e metrô (Guimarães, 2004). Na zona rural, o problema é mais grave, pois com a desativação da maioria das escolas rurais os alunos precisam ser transportados para a zona urbana. Este transporte é garantido constitucionalmente, mas na maioria das cidades é precário e gera custos elevados aos municípios (Sanches e Ferreira, 2003).

Na definição das rotas do TER é preciso que sejam considerados: a segurança e o tempo de viagem dos alunos, os custos do transporte, os horários de entrada e saída das escolas e a ocupação dos veículos. Muitos municípios, no entanto, não têm pessoal técnico, nem ferramentas que auxiliem a definição dos itinerários dos ônibus escolares. Assim sendo, em alguns municípios o transporte é precário e em outros, que tentam garantir um serviço adequado, as despesas podem consumir boa parte dos recursos da área de educação.

Tratar manualmente o problema do transporte escolar rural, como ocorre na maioria dos municípios brasileiros, é uma tarefa complexa. Neste contexto, os Sistemas de Informações Geográficas projetados para uso em transportes (SIG-Ts) podem ser uma boa ferramenta de apoio à decisão para o planejamento das rotas. No entanto, os algoritmos incorporados a estes pacotes computacionais não podem ser utilizados para o transporte escolar rural porque não são adequados para as características e restrições desses problemas. Para suprir este tipo de necessidade alguns SIG-Ts permitem que novas funcionalidades sejam inseridas através de linguagens de programação.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo propor uma ferramenta para a definição das rotas do Transporte Escolar Rural (TER) utilizando um Sistema de Informações Geográficas.

2. TRANSPORTE ESCOLAR RURAL

O Transporte Escolar Rural (TER) é um dos segmentos do Transporte Rural, que é definido pelo GEIPOT (1995) como “o transporte de passageiros, público ou de interesse social, entre a zona rural e a urbana ou no interior da zona rural do município”.

A educação é um direito garantido por lei e está sob a responsabilidade dos estados e municípios. Uma das formas de garantir esse direito é através do transporte que, principalmente para os alunos que se encontram na zona rural, é a única forma de chegar até a escola, pois, nesses lugares não há um sistema de transporte coletivo que possa suprir a demanda existente nos horários que eles necessitam.

Este transporte é gratuito para os usuários, mantido e gerido pelos municípios. O Governo Federal dá assistência aos municípios para que garantam o serviço através do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE). No entanto, em muitos casos, a maior parte dos custos recai sobre os municípios, sendo que muitos deles chegam a arcar com 58% dos recursos (FNDE, 2007). Segundo o INEP (2006) o transporte escolar representa a segunda maior parcela dos custos com educação.

Os principais fatores que colaboram para que o Transporte Escolar Rural seja dispendioso são os custos de operação e de aquisição de veículos apropriados e seguros para o transporte dos alunos (Souza, 2004). Além disso, na definição das rotas devem ser respeitadas restrições relativas ao tempo de viagem dos estudantes, à lotação dos veículos, aos horários de entrada e saída das escolas, dentre outros. Tudo isto torna o TER um transporte caro e difícil de ser gerenciado sem pessoal técnico e ferramentas adequadas.

A roteirização é um aspecto muito importante, pois acaba influenciando os outros fatores envolvidos no planejamento do serviço, visto que uma roteirização eficiente pode minimizar o tempo de viagem, otimizar a ocupação dos veículos e melhorar o atendimento à demanda existente, o que acabará diminuindo os custos com o sistema e melhorando a qualidade deste.

3. ROTEIRIZAÇÃO E PROGRAMAÇÃO DO TRANSPORTE ESCOLAR

Existem várias abordagens descritas na literatura para tratar do problema de roteirização para o transporte escolar. Estas se diferem em termos da decomposição do problema, das hipóteses utilizadas na modelagem e nos algoritmos utilizados para a solução (Spada et al., 2003).

No que se refere à decomposição do problema duas abordagens podem ser encontradas, uma baseada na escola e outra baseada nos alunos. Na primeira delas, um problema é resolvido para cada escola e não é permitido que alunos que estudam em escolas diferentes utilizem o mesmo ônibus ao mesmo tempo. Esta abordagem foi utilizada por vários autores como, Ripplinger (2005) e Rashidi et al. (2009).

Na segunda abordagem, a solução é baseada nos alunos e o problema é resolvido para um aluno de cada vez. Esta abordagem é mais flexível, pois permite carregamento misto, com alunos de diversas escolas no mesmo ônibus. Entretanto, as modificações na solução quando

um estudante é incluído são mais complexas (Spada et al., 2003). Como exemplo de trabalhos que utilizam esta abordagem pode-se citar: Braca et al. (1994) e Thangiah et al. (2004).

Na zona urbana é possível trabalhar com a decomposição baseada nas escolas, pois a demanda de alunos assegura que os ônibus irão atingir a capacidade em um tempo adequado para os estudantes, além da capilaridade das vias que garante diversas possibilidades de trajetos (Steiner et al., 2000).

Na zona rural dos municípios brasileiros, no entanto, devem ser destacadas algumas particularidades que influenciam na programação das rotas, como a baixa densidade populacional, as grandes extensões de terra, a dispersão dos estudantes pelas várias escolas e a pouca capilaridade da rede viária.

A demanda de estudantes na área rural é bem menor que na área urbana. Além disso, existem grandes extensões de terra e estes estudantes estão dispersos por essas regiões obrigando que o serviço seja, em muitos casos, porta a porta e que numa viagem não seja possível utilizar toda capacidade do veículo ou pelo menos sua capacidade mínima.

Outro ponto a ser considerado é a dispersão dos estudantes pelas escolas, ou seja, os alunos, ou seus pais, podem escolher onde estudar e como estes estão bem dispersos pela zona rural pode ocorrer que num mesmo ponto sejam encontrados alunos que se destinam a diferentes escolas, tornando o problema mais complexo para ser resolvido.

Além disso, a pouca capilaridade da rede viária e as condições das estradas dificultam a escolha de trajetos alternativos e acabam influenciando no tempo de viagem dos estudantes.

Dessa forma, as particularidades do transporte escolar rural exigem a utilização do modelo de decomposição baseado no aluno para resolver o problema. Com isso, é possível equilibrar melhor os custos e a qualidade do transporte. O uso de carregamento misto também obriga a observar as restrições de precedência existentes no embarque e desembarque de um estudante, pois, não se pode entregar um estudante que não embarcou.

São poucos os trabalhos encontrados na literatura que tratam da Roteirização para Transporte Escolar Rural. Almeida (1998) cita o trabalho de Chen e Kallsen (1990), como único a tratar do TER até a data de sua pesquisa. Mais recentemente podem-se destacar os trabalhos de Thangiah et al. (2004), de Ripplinger (2005) e o trabalho de Silva et al. (2007). Destes, o único que utiliza a decomposição baseada no aluno é o trabalho Thangiah et al. (2004).

4. ESTRATÉGIA PROPOSTA

Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são ferramentas importantes quando se trata de problemas que envolvem a localização geográfica como cidades, casas, escolas, ruas, empresas, redes de esgoto, redes de transmissão de energia, dentre outros; facilitando a tomada de decisão em diversas áreas, tais como planejamento urbano, gestão de recursos naturais, transporte, saúde e educação.

Dentre os diversos SIGs existentes, neste trabalho foi utilizado o TransCAD (Caliper, 1996). Este é um SIG projetado especificamente para planejar, gerenciar e realizar operação e análise

das características dos sistemas de transporte e aplicações logísticas, caracterizando-se, portanto, como um SIG-T.

Além das funcionalidades já implementadas, o TransCAD disponibiliza um *kit* de programação que permite que novas funcionalidades sejam inseridas para resolver problemas específicos, não tratados pelos módulos existentes: o GISDK (*Geographic Information System Developer's Kit*).

Como pode ser observado em Almeida (1998) o TransCAD não consegue tratar o problema de roteirização do TER levando em consideração as particularidades descritas na seção 3, pois o algoritmo utilizado no procedimento de roteirização do TransCAD (algoritmo das economias de Clarke e Wright (1964)) considera que os veículos partem de uma garagem (também considerada uma escola), percorrem todos os pontos de embarque e voltam à garagem. Mas, na prática o que acontece é que os veículos partem da garagem, percorrem as fazendas recolhendo os alunos, percorrem as escolas entregando os alunos e voltam a garagem. A simplificação do problema considerando que todos os alunos se destinam a um único ponto da zona urbana pode resultar em soluções não ótimas, pois muitas vezes o tempo gasto percorrendo as escolas entregando os alunos é muito grande para não ser considerado, aumentando ainda mais o tempo de viagem dos alunos.

Assim sendo, o GISDK foi utilizado para criar uma ferramenta para a geração das rotas para o TER, a fim de se aproximar um pouco mais da realidade do problema. Esta ferramenta é composta por um algoritmo que é utilizado para a definição das rotas e por uma interface para que o usuário entre com os dados necessários para o algoritmo realizar este cálculo; além de possibilitar a consulta de cada rota individualmente.

4.1. Definição do problema

Observando as características do TER e do problema *dial-a-ride* é possível dizer que estes possuem muitas semelhanças. Neste trabalho o problema de roteirização para o TER será tratado como um caso particular do problema *dial-a-ride*. Esta abordagem permite uma investigação maior do problema e conseqüentemente a possibilidade de encontrar uma solução mais próxima do ótimo.

Em termos de modelagem o *dial-a-ride* para o TER foi tratado de forma estática, com restrições de tempo (janelas de tempo) e de capacidade dos veículos, frota homogênea e garagem única. O objetivo do problema é minimizar a distância total percorrida pela frota e o número de veículos utilizados, tentando conseguir assim, um serviço de boa qualidade com o menor custo financeiro possível.

O método de solução utilizado é composto de duas etapas. Inicialmente é gerada uma solução inicial para o problema baseada na Heurística de Inserção Paralela, implementada por Znamensky (2000). Esta solução é melhorada através de processos de busca local interrota e intrarrota, fundamentadas no trabalho de Znamensky (2000) e de Mauri (2006).

É importante destacar que estes trabalhos tratam do transporte de pessoas com necessidades especiais, que difere um pouco do TER. Portanto, tanto a implementação da heurística de Inserção Paralela quanto as heurísticas utilizadas no procedimento de melhoria para o TER sofreram algumas modificações.

Antes de tratar das heurísticas implementadas para o problema, serão destacadas as diferenças do TER para o problema *dial-a-ride* para o transporte de pessoas com necessidades especiais e como estas foram tratadas. Adota-se aqui o termo DARP como problema *dial-a-ride* para o transporte de pessoas com necessidades especiais.

No DARP cada solicitação possui um ponto de embarque e um ponto de desembarque. No caso do TER, no entanto, num mesmo ponto de embarque (fazenda) pode haver estudantes para mais de uma escola, ou seja, diferentes pontos de desembarque. Assim sendo, o algoritmo deve tratar as duas possibilidades (somente uma escola na solicitação ou mais de uma escola). Procurou-se ainda, agrupar os pontos de desembarque coincidentes na rota para que o ônibus não necessite visitá-los mais de uma vez.

É importante observar também que, diferentemente do DARP que tenta atender ao maior número de solicitações possível, no TER nenhum aluno pode deixar de ser transportado. Desse modo, para aplicação da solução inicial é convencionado que existirá um veículo para cada ponto de embarque, assim, na pior das hipóteses existirá uma rota para cada ponto de embarque e garante-se que todos os alunos serão atendidos. Um novo veículo (rota) só é utilizado caso a solicitação (ponto de embarque e ponto(s) de desembarque) que está sendo analisada não puder ser inserida em nenhuma rota já existente respeitando as restrições do problema.

Nos algoritmos implementados considerou-se que a medida para avaliação da melhoria das rotas seria a quilometragem percorrida. Assim, toda vez que o texto fizer menção a custo, está se referindo à quilometragem percorrida.

4.1.1. Solução Inicial

A seguir são descritos os passos do algoritmo de Inserção Paralela aplicado ao TER para obtenção da solução inicial:

Passo 1: Obter a demanda de alunos.

Passo 2: Agrupar a demanda por ponto de embarque (fazenda) e em cada ponto de embarque por escola.

Passo 3: Calcular o número de veículos a serem utilizados na solução inicial, que é igual ao número de pontos de embarque.

Passo 4: Ordenar a demanda em ordem decrescente de distância da garagem.

Passo 5: Enquanto houver solicitações a serem inseridas:

- a) Se a solicitação possui mais de um ponto de desembarque:
Para cada rota pertencente à solução, percorrer as posições de cada uma verificando se o ponto de desembarque já existe.
 - A. Se existir, inserir este ponto no fim da lista, da posição encontrada.
 - B. Se não existir procurar a melhor posição na rota para este ponto.
 - C. Se todos os pontos de desembarque puderem ser inseridos na rota. Procurar a melhor posição para inserção do ponto de embarque. Se tal posição existir comparar o melhor custo de inserção conseguido até então, se for, menor essa rota é retida.
- b) Se a solicitação possui somente um ponto de desembarque:

Para cada rota pertencente à solução, percorrer as posições de cada uma verificando se o ponto de desembarque já existe.

- A. Se existir, insere este ponto de desembarque no fim da lista, da posição encontrada. Procurar a melhor posição para inserção do ponto de embarque.
- B. Se não existir, procurar a melhor posição para inserção da solicitação.
- c) Se a solicitação não puder ser atendida, pois a restrição de janela de tempo não foi satisfeita, essa solicitação é inserida numa lista de solicitações não atendidas.

Passo 6: Se após a tentativa de inserção de todas as solicitações em alguma rota existam solicitações não inseridas gera-se um arquivo texto com os pontos de embarque destas solicitações e pede-se ao usuário que a janela de tempo destes pontos seja alterada para que seja possível atendê-los. O procedimento de melhoria só é executado quando todas as solicitações puderem ser atendidas com a janela de tempo estipulada pelo usuário.

4.1.2. *Procedimento de Melhoria*

Com o objetivo de melhorar os resultados gerados pela solução inicial três procedimentos de melhoria foram implementados. Do mesmo modo que na solução inicial os pontos de desembarque coincidentes são agrupados na mesma posição da rota em todos os procedimentos de melhoria. Os procedimentos (a) e (b) são baseados nos trabalhos de Znamensky (2000) já o procedimento (c) é baseado no trabalho de Mauri (2006).

a) *Reinserção de Solicitação:*

Para cada solicitação i da rota x tenta-se inserir na melhor posição viável na rota y . Se a inserção for viável, ou seja, se as restrições forem respeitadas, compara-se o resultado do custo desta inserção com o menor custo já conseguido até então, caso seja melhor, esta é retida. Se depois de ter testado a inserção da solicitação i em todas as rotas, existir uma com o menor custo de inserção, retira-se essa solicitação da rota original e insere na rota com o melhor resultado. Caso contrário, a solicitação continua na mesma rota.

b) *Troca de Solicitações:*

Para cada solicitação i de uma rota x , busca-se aleatoriamente uma solicitação j numa rota y e tenta realizar a troca, ou seja, inserir a solicitação i na rota y e a solicitação j na rota x . Caso a soma dos custos dessa troca seja menor que a soma dos custos com as solicitações em suas rotas originais, essa troca é retida. Todas as rotas disponíveis são testadas, guardando sempre aquela que acarretar a maior diminuição do custo, se tal troca existir ela é aceita na solução.

c) *Re-ordenar Rota:*

No procedimento Re-ordenar rota, para cada ponto pertencente à solução procura-se uma outra posição que diminua os custos da rota inicial. Deve ser levado em consideração o fato de um ponto a ser modificado poder ser de coleta ou de entrega. Isso limitará o espaço de busca pela melhor posição para o ponto. A cada mudança na posição de um ponto é verificado se as restrições são respeitadas, ou seja, se a nova solução respeita o limite das janelas de tempo e a capacidade do veículo. Caso as restrições sejam satisfeitas o procedimento verifica se a função de custo com a nova rota é menor e se for, essa nova rota é retida.

O método de solução para o TER é composto pela geração da solução inicial e do procedimento de melhoria que é executado 15 vezes (iterações). O melhor resultado conseguido (menor quilometragem) ao longo de todas as iterações é a solução final do problema.

O procedimento de melhoria é executado a cada iteração na seguinte sequência: Primeiramente o procedimento Re-ordenar rota é executado para que seja possível achar a melhor posição para os pontos pertencentes às rotas, seguido pelo procedimento de Reinserir Solicitação que tenta diminuir o número de rotas utilizadas. Novamente o procedimento Re-ordenar rota é executado, seguido do procedimento de Troca de Solicitações.

4.2. Interface de acesso

A ferramenta implementada adiciona mais um menu à interface do TransCAD e permite ao usuário acessar duas das principais funcionalidades desta: a caixa de diálogo responsável por coletar as informações para o cálculo das rotas (ver Figura 1(a)) e a caixa de ferramentas responsável pela consulta às rotas geradas como mostrado na Figura 1(b).

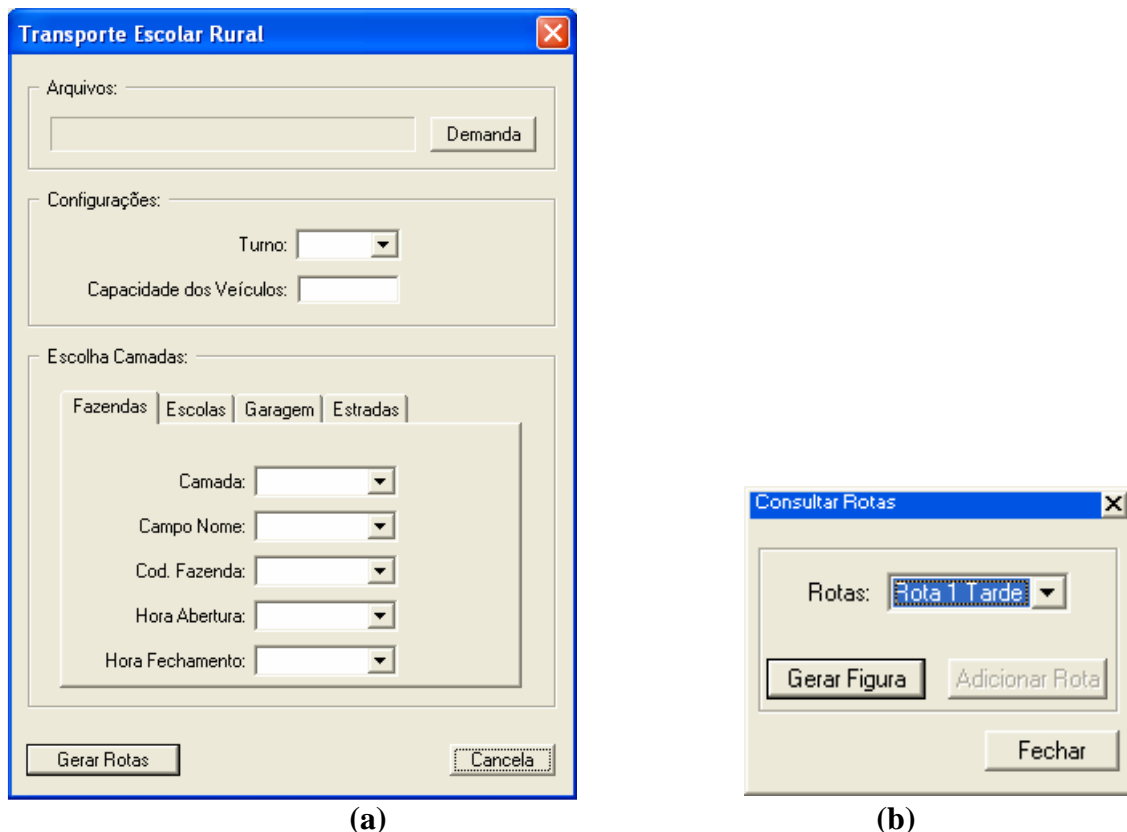


Figura 1: Interface da ferramenta implementada

A caixa de diálogo da Figura 1(a) está dividida em três partes: (1) na guia “Arquivos” o usuário deverá localizar o arquivo com a demanda de alunos que precisam ser apanhados nos pontos de embarque e levados para suas respectivas escolas, (2) na guia “Configurações” o usuário deve escolher o turno para o qual as rotas serão geradas e informar a capacidade dos veículos, (3) a guia “Escolha Camadas” é responsável por coletar os dados do mapa.

O mapa a ser utilizado deve conter quatro camadas e alguns atributos devem ser informados para estas camadas:

1. Fazendas:
O usuário deve informar o nome da camada de fazendas, o atributo que representa o nome da fazenda, o atributo que representa o código que foi utilizado para gerar o arquivo de demanda, o atributo que representa o horário de abertura da janela de tempo e o atributo que representa o horário de fechamento da janela de tempo;
2. Escolas:
O usuário deve informa qual das camadas representa as escolas, qual atributo nesta camada representa o nome das escolas e qual o atributo representa o código que também foi utilizado para o arquivo de demanda;
3. Garagem:
É necessário informar somente o nome da camada que representa a garagem;
4. Estradas:
O usuário deve informar qual a camada que representa as estradas e o atributo que representa o tempo gasto para percorrer cada trecho dessas estradas.

O botão “Gerar Rotas” é responsável por executar o método de solução para a definição das rotas. Como saída, a ferramenta mostra o desenho das rotas no mapa (ver Figura 2(a)) e um relatório com os itinerários destas rotas como mostrado na Figura 2(b).

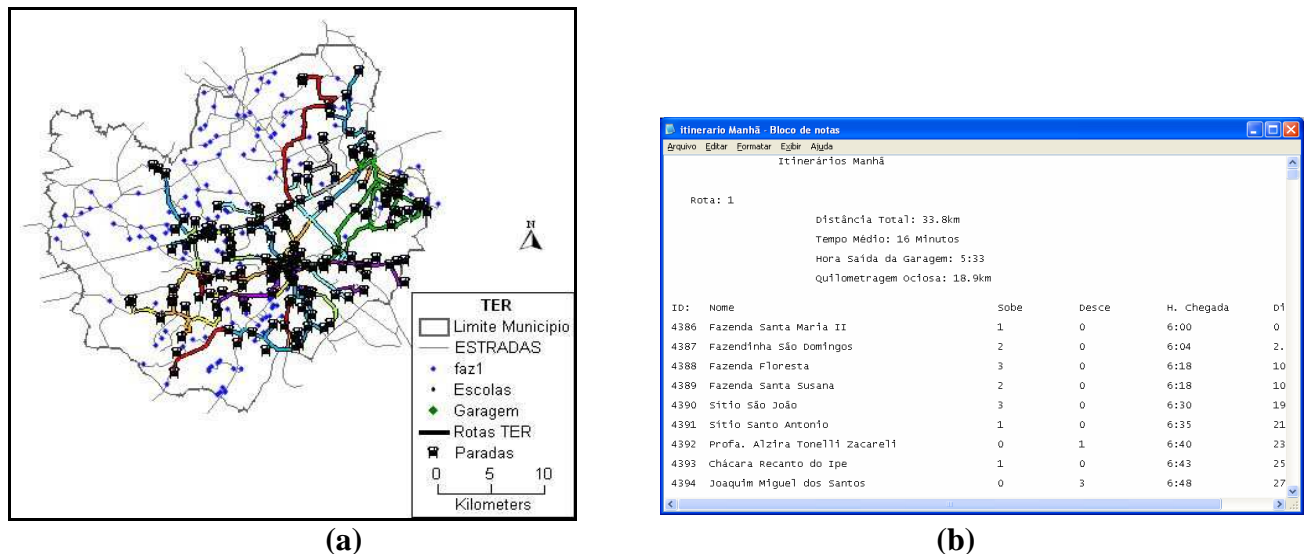


Figura 2: Saída do programa - Desenho das rotas no mapa e relatório com itinerário das rotas

Com a caixa de ferramentas da Figura 1(b) o usuário consegue visualizar cada rota gerada individualmente podendo identificar a localização de cada um dos pontos de parada no mapa como pode ser observado na Figura 3. Nesta também é possível gerar uma figura da rota selecionada através do botão “Gerar Figura”.

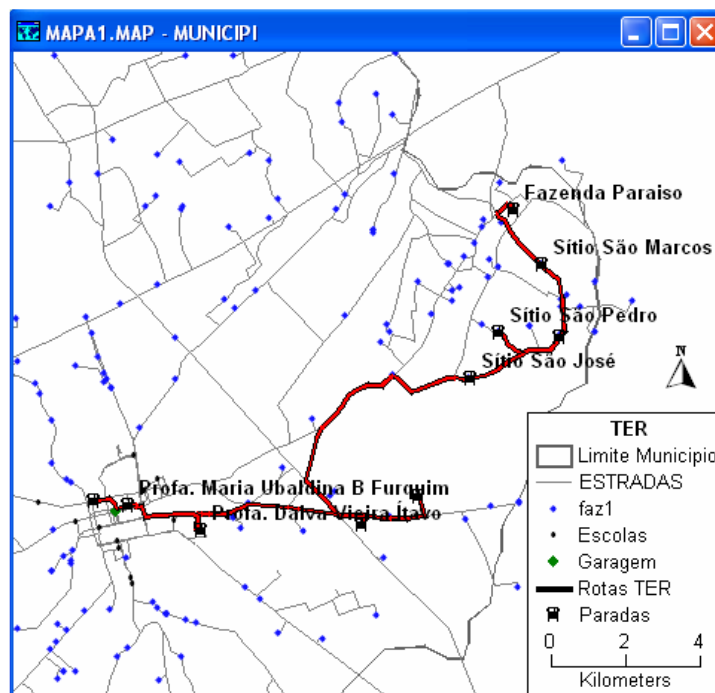


Figura 3: Visualização de uma única rota através da ferramenta implemetada

6. ESTUDO DE CASO

A fim de analisar o desempenho do algoritmo realizou-se um estudo de caso com dados da cidade de Olímpia, São Paulo. Esta cidade possui uma área de 803 km² e uma população de cerca de 46 mil habitantes (Censo do IBGE 2000). O mapa da Figura 4 mostra a dispersão da demanda nos três turnos (manhã, tarde e noite) para os alunos que se destinam as escolas da zona urbana.

Na Figura 4 é possível perceber as características já descritas anteriormente, como a dispersão dos alunos, a pouca capilaridade da rede viária e a grande extensão do município. A figura mostra também a localização das escolas para onde os alunos se destinam, da garagem de onde partem os veículos responsáveis pelo transporte dos estudantes e a dispersão da demanda nos três turnos.

O Transporte dos alunos é realizado por motoristas autônomos contratados pela PRODEM (Progresso e Desenvolvimento Municipal – Olímpia). Estes motoristas utilizam veículos do tipo *Kombi* e são remunerados por quilômetro rodado. A Tabela 1 mostra a demanda de alunos em cada turno.

Tabela 1: Demanda de Alunos por turno

Turno	Número de Alunos
Manhã	275
Tarde	200
Noite	74

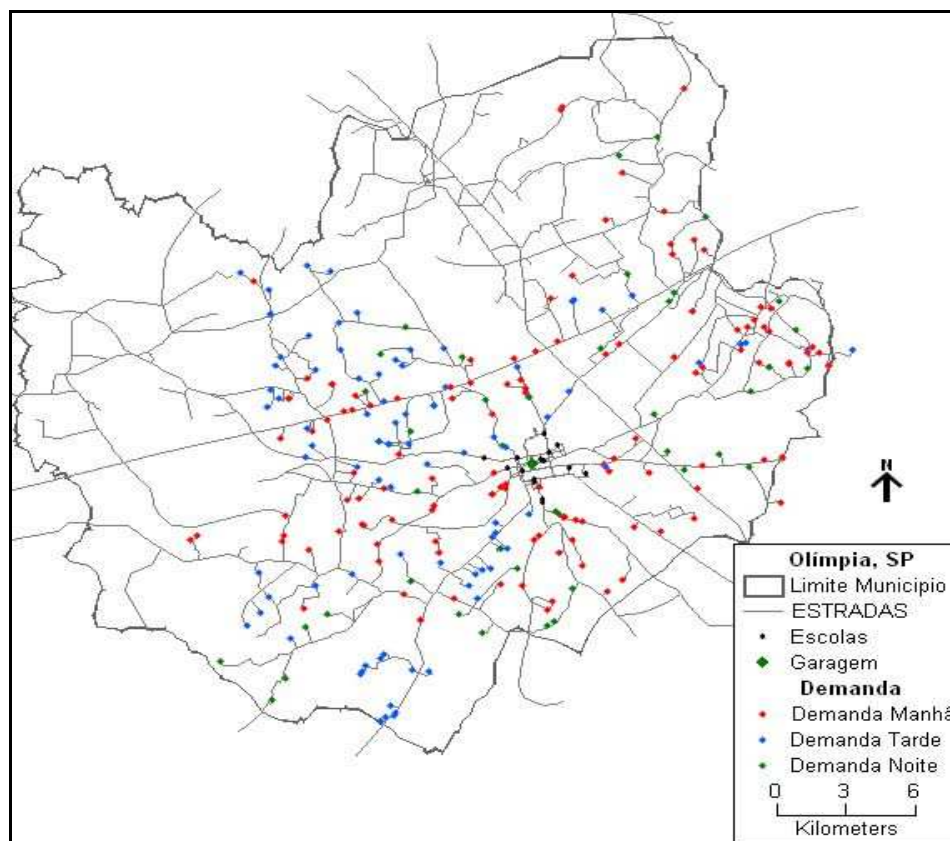


Figura 4: Dispersão da demanda de alunos pelo município

Este artigo descreve apenas a definição das rotas para o período da manhã. Foram consideradas as seguintes restrições:

- Tempo máximo de viagem dos alunos = 60 minutos;
- Capacidade do veículo = 12 alunos (como neste período são transportadas basicamente crianças com menos de 12 anos, considerou-se que 12 alunos podem ser acomodados no veículo).

A Tabela 2 mostra o resultado encontrado após a utilização do algoritmo.

Tabela 2: Resultados encontrados

Período	Nº de Rotas	Quilometragem das Rotas (km)	Quilometragem Diária (km)
Manhã	23	1120,7	2241,4

A Figura 5 mostra a quilometragem percorrida e o número de rotas da solução inicial (representado pelo número zero) e a cada iteração do processo de melhoria. Na Figura 6 é possível observar o número de embarques por rota na melhor solução encontrada.

Apesar do procedimento de melhoria ser executado durante 15 iterações, a melhor solução para o turno da manhã foi encontrada na décima iteração e o número de rotas convergiu para 23 a partir da sexta iteração.

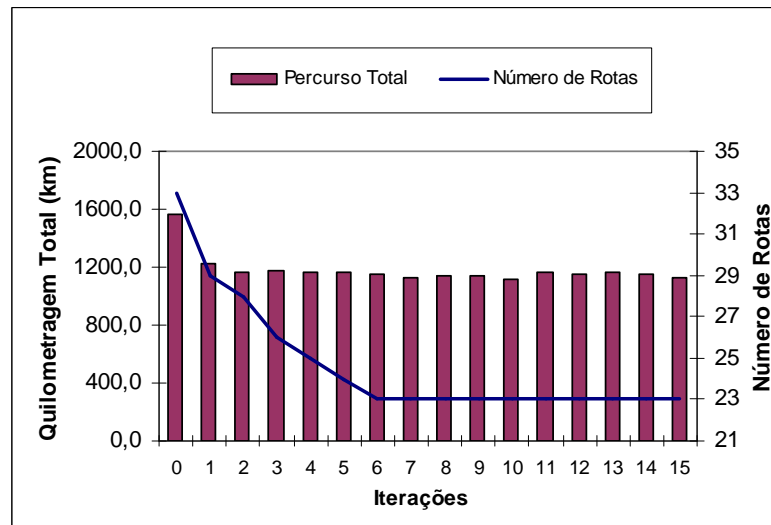


Figura 5: Variação da quilometragem percorrida e número de rotas

É importante destacar que, embora em algumas rotas o número de embarques seja maior que a capacidade estipulada para o veículo (ver Figura 6), esta restrição não foi violada. O que acontece é que alguns alunos são deixados em suas escolas e outros são pegos nos seus pontos de embarque, sem extrapolar a capacidade dos veículos e dentro da janela de tempo definida.

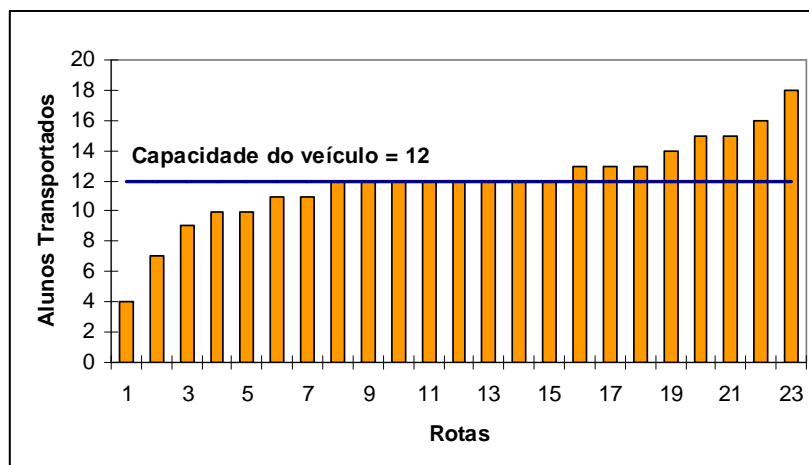


Figura 6: Alunos Transportados – Melhor solução

A melhor solução para o turno da manhã foi conseguida na décima iteração (Figura 5). É possível perceber na Figura 6 que a capacidade dos veículos está sendo bem aproveitada, sendo que somente duas rotas têm menos de 8 embarques.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados encontrados indicam que o algoritmo implementado trouxe soluções viáveis para o problema e juntamente com a ferramenta pode ser utilizado como um sistema de suporte à decisão para o cálculo das rotas do TER.

A forma como os dados são mostrados pela ferramenta facilita bastante o entendimento e a programação das rotas por parte dos gestores do TER. A ferramenta também permite que

usuários sem muito conhecimento sobre o TransCAD consigam gerar as rotas com pouca interação com as outras funcionalidades disponíveis neste programa.

REFERÊNCIAS

- Almeida, M. F. B. (1998) *Roteirização de Veículos para o Transporte de Alunos da Zona Rural*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- Braca, J., Bramel, J., Poser, B. e Simchi-Levi, D. (1994). *A computerized approach to the new york city school bus routing problem*. Technical report. Graduate School of Business, Columbia University, NY.
- Caliper. (1996) *TransCAD Transportation GIS Software: User's Guide*. Version 3.0 for Windows. Caliper Corporation, Newton, EUA.
- Chen, D. e Kallsen, H. (1990) A Bus Routing System for Rural School Districts. *Computers and Industrial Engineering* 19, p. 322- 325.
- Clarke, G. e Wright, J. (1964) Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. *Operations Research*, Vol 12, p. 568-581.
- FNDE - Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. (2007) *Metodologia de Caracterização do Transporte Escolar Rural. Projeto: Transporte Escolar Rural*. Volume I, Brasília.
- GEIPOT - Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes (1995). *Avaliação Preliminar do Transporte Rural - destaque para o Segmento Escolar*. Ministério dos Transportes, Brasília.
- Guimarães, A. (2004) Por que o Transporte Escolar anda mal. *Nova Escola on-line*. Edição nº 170. Disponível em: <http://novaescola.abril.com.br/index.htm?ed/170_mar04/html/transporte>.
- INEP – Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. (2006) *Mapa do Transporte Escolar Brasileiro: 1º Levantamento do Transporte Escolar - Sinopse Estatística*. Disponível em: <<http://www.publicacoes.inep.gov.br/detalhes.asp?pub=4074#>>.
- Mauri, G. R. (2006) *Uma Nova Abordagem para o Problema de Roteirização e Programação de Veículos*. Qualificação. Doutorado em Computação Aplicada. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos.
- Rashidi, T. H.; Zokaei-Aashtiani, H. e Mohammadian, A. (2009) School Bus Routing Problem in Large-Scale Networks: A New Approach Utilizing Tabu Search on Case Study in Developing Countries. *Transportation Research Board Annual Meeting*. CD-ROM.
- Ripplinger, D. (2005) The Rural School Vehicle Routing Problem. *Transportation Research Board. Annual Meeting*. CD-ROM.
- Sanches, S. P. e Ferreira, M.A.G. (2003) Avaliação do padrão de acessibilidade em um sistema de transporte de alunos da zona rural, *Anais do XVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes – ANPET – Rio de Janeiro*, vol 2, p. 931-942.
- Silva, A. R.; Tedesco, G. M. I.; Yamashita, Y. e Granemann, S. R. (2007) Metodologia para Roteirização do Transporte Escolar Rural. *Anais do XXI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes – ANPET - Rio de Janeiro*. CDROM.
- Souza, W. M. (2004) *Aplicação da mineração de dados para o levantamento de critérios do Programa Nacional do Transporte Escolar*. Dissertação de Mestrado. Departamento de engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília. Disponível em: <<http://www.transportes.unb.br/paginas/2004>>.
- Spada, M.; Bierlaire, M. e Leibling, T. (2003) Decision-aid Methodology for the School Bus Routing and Scheduling Problem. *3rd Swiss Transport Research Conference*. Disponível em: <<http://infoscience.epfl.ch/record/117131/files/>> .
- Steiner, M. T. A.; Zamboni, L. V. S.; Costa, D. M. B.; Carnieri, C. e Silva, A. L. (2000) O Problema de Roteamento no Transporte Escolar. *Scielo Brasil. Pesquisa Operacional*, vol. 20, n.1, p. 83-99. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-74382000000100009>.
- Thangiah, S. R.; Wilson, B.; Pitluga, A. e Mennell, W. (2004) School Bus Routing in Rural Districts. *Working paper*. Disponível em: <<http://srufaculty.sru.edu/sam.thangiah/publications.htm>>.
- Znamensky, A. (2000) *Um Modelo para a Roteirização e Programação do Transporte de Deficientes*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Priscila de Almeida Prata (pricilaprata@gmail.com)

Suely da Penha Sanches (ssanches@ufscar.br)

Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana

Universidade Federal de São Carlos

Rodovia Washington Luis, km 235, 13565-905, São Carlos, SP, Brasil