



## **Benefícios do Transcolar Rural na otimização de rotas: um estudo comparativo entre diferentes ferramentas de roteamento**

**Marcelo Franco Porto**

Universidade Federal de Minas Gerais

*marcelo@etg.ufmg.br*

**Izabela Ribas Vianna de Carvalho**

Universidade Federal de Minas Gerais

*bela-ribas@ufmg.br*

**Raphael Bruno Alves Teixeira**

Universidade Federal de Minas Gerais

*teixeiraraph@ufmg.br*

**Nilson Tadeu Ramos Nunes**

Universidade Federal de Minas Gerais

*nilson@etg.ufmg.br*

**Lucas Vinicius Ribeiro Alves**

Universidade Federal de Minas Gerais

*lucas@coltec.ufmg.br*

**Renata Maria Abrantes Baracho**

Universidade Federal de Minas Gerais

*renatabaracho@eci.ufmg.br*



## **BENEFÍCIOS DO TRANSCOLAR RURAL NA OTIMIZAÇÃO DE ROTAS: UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE DIFERENTES FERRAMENTAS DE ROTEAMENTO**

M. F. Porto, I. R. V. De Carvalho, R. Teixeira, L. Cardoso,  
N. T. R. Nunes, L. V. R. Alves, R. M. A. Baracho

### **RESUMO**

O acesso à educação em zonas rurais é prejudicado devido às dificuldades enfrentadas, em especial, os longos trajetos entre a casa e a escola, que implicam em altos custos no fornecimento de transporte escolar, serviço este obrigatório, segundo a Constituição Federal Brasileira de 1988. Visando melhorar este cenário, o Nucletrans, da Escola de Engenharia da UFMG, desenvolveu o *software* Transcolar Rural para a otimização de rotas e custos do transporte escolar rural. O presente artigo apresenta uma análise comparativa do método desenvolvido com o uso do *software* ArcGIS para a avaliação de rotas previamente existentes. O Transcolar, além de fornecer o cenário ótimo para as rotas, também fornece o custo final do serviço a ser prestado. Os resultados da análise de rotas para o município analisado indicaram que há uma margem para reduzir significativamente o custo e, portanto, o gasto excessivo de verbas públicas no transporte escolar rural.

### **1 INTRODUÇÃO**

A área rural no Brasil é caracterizada por uma densidade populacional muito baixa, que se estende por grandes extensões de terra. Tal espraiamento populacional, combinado com uma infraestrutura deficiente, faz com que os estudantes dessas regiões necessitem viajar longas distâncias para chegar à escola mais próxima todos os dias. Nesse sentido, o transporte escolar rural é um serviço essencial, oferecido por estados e municípios brasileiros, que contribui para o desenvolvimento social e melhoria da qualidade de vida da população, considerando que seu não-fornecimento pode acarretar em diversas consequências, já que, em muitos casos, essa é a única forma que o aluno da área rural dispõe de chegar à escola (Egami *et al.*, 2006).

A população rural no Brasil corresponde a 15,64% do total e vem diminuindo gradativamente tanto em porcentagem quanto em termos absolutos desde 1970 (IBGE, 2010). Como consequência, há uma tendência na constante redução do número de escolas rurais, colocando-as em locais mais centralizados. Isto significa, no entanto, que as distâncias percorridas pelos alunos até as escolas também aumentaram substancialmente, especialmente para aqueles que vivem em lugares mais remotos. O número de escolas nas áreas rurais caiu de 92.172, em 2006, para 63.049, em 2016, o que representa um decréscimo de 31,6% em apenas dez anos (Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira, 2006).

Desde 1994, o Governo Federal vem promovendo programas de fomento ao transporte escolar mediante ações do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE). Dentre as ações, destaca-se o fornecimento de recursos de financiamento ao transporte escolar rural por meio do Programa Nacional de Apoio ao Transporte Escolar (PNATE), por exemplo (Egami *et al.*, 2006). Entretanto, esse serviço ainda representa um gasto expressivo aos cofres públicos municipais, principalmente se considerado que, com o aumento das distâncias entre aluno e escola, aumentam-se também os custos relacionados ao transporte escolar rural.

Tendo em mente esta realidade, o Nucletrans, do Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia da Universidade Federal de Minas Gerais desenvolveu o projeto Transcolar Rural, cujo objetivo principal constitui na otimização de rotas das linhas de transporte escolar rural, para que, conseqüentemente, estados e municípios possam fazer uso dos recursos disponíveis de forma mais inteligente, bem como fomentar o desenvolvimento de políticas públicas mais assertivas, contribuindo, portanto, para a melhoria da educação da população bem como o aprimoramento da qualidade de vida da sociedade.

Este estudo tem como objetivo fazer uma análise comparativa do método desenvolvido de roteamento por meio do Sistema Transcolar Rural com o uso de outro sistema consagrado na otimização de rotas que é o ArcGIS<sup>1</sup>. Foi escolhido como estudo de caso para a análise, um município localizado no estado do Espírito Santo/Brasil.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1 O uso de SIG na roteirização**

O problema de roteamento de veículos (PVR) é um estudo que aparece com frequência na literatura, sendo Dantzig e Ramser alguns dos pesquisadores pioneiros no assunto, iniciando seus estudos em 1959. Baseados no problema do caixeiro viajante (PCV)<sup>2</sup>, os pesquisadores desenvolveram um modelo matemático para a criação de rotas mais curtas de caminhões para o transporte de combustíveis.

Os SIG (Sistemas de Informação Geográfica), segundo Chaudhari *et al.* (2010) são sistemas baseados em computador que vinculam dados espaciais (ruas, edifícios, vegetação etc.) a dados tabulares, possibilitando analisar, armazenar e consultar os dados em formato de mapa. Essa característica tornou a tecnologia SIG uma ferramenta muito útil no setor de transportes e, em especial, no problema de roteamento em diferentes situações.

Kallel, Serbaji e Zairi (2016), por exemplo, utilizaram de ferramentas SIG para a otimização de rotas realizadas por caminhões de coleta de lixo no distrito de Cité El Habib da cidade Sfax, na Tunísia. Para o roteamento foi utilizado o *software* ArcGIS, onde foram criados três cenários de otimização. Se comparados com o cenário previamente existente, os três novos cenários apresentaram reduções em tempo de viagem, distância e economias no consumo de combustível.

---

<sup>1</sup> O ArcGIS é *software* baseado em Sistema de Informações Geográficas (SIG) desenvolvido pela ESRI, utilizado no desenvolvimento de mapas, compilação e gerenciamento de dados geográficos, bem como para a análise de informações espaciais.

<sup>2</sup> O problema do caixeiro viajante consiste basicamente na obtenção da menor rota para passar por uma série de cidades e retornar à cidade de origem (NILSSON, 2014).

O SIG também pode ser utilizado na elaboração de rotas para o transporte de cargas com alta periculosidade. Özceylan *et al.* (2017) desenvolveram uma solução de roteamento baseada em SIG para a distribuição de combustível em 78 diferentes postos de gasolina na cidade de Gaziantep, na Turquia, visando minimizar principalmente a distância percorrida, a exposição da população a carga, a probabilidade de ocorrência de um incidente e contribuir com a responsividade do atendimento de serviços de emergência. O estudo demonstrou que, com o uso do SIG, é possível determinar a rota que proporcionará menor risco para o transporte da carga.

Jin e Lee (2013) analisaram a melhoria da acessibilidade para usuários de ônibus devido a uma reatribuição de rotas de ônibus na cidade de Chungju, na Coreia do Sul, usando *software* SIG. Dados sobre demandas foram coletados, como, por exemplo, a população total, idosos e população estudantil, redes rodoviárias e rotas de ônibus. Com base nos dados coletados, estudos de roteamento foram desenvolvidos em ambiente GIS e, em seguida, as novas rotas elaboradas foram comparadas com as configurações anteriores. Foi percebida a melhoria na capacidade de serviço sem acarretar em maiores investimentos, por meio de uma maior disponibilidade do serviço para a população, além da redução no tempo de viagem.

Buliung *et al.* (2013) usaram o ArcGIS para estimar o caminho mais curto de um aluno no caminho de ida e volta para a escola em Toronto, Canadá. As informações sobre as rotas reais dos alunos foram fornecidas pelos pais, por meio de desenhos em um mapa. As mesmas foram digitalizadas e, em seguida, comparadas com as rotas desenvolvidas no ArcGIS, usando a ferramenta Network Analyst. O estudo indicou que nem sempre os caminhos escolhidos pelos estudantes são os mais curtos. Os autores ainda questionam a validade da estimativa da rede de caminhos mais curtos, considerando que a metodologia desconsidera alguns fatores importantes na escolha da rota do usuário.

Dentre os problemas que podem ser analisados dentro do ambiente SIG, está também o roteamento de ônibus escolares. Segundo Chaudari (2010), os SIG podem determinar a distância ideal da rota de ônibus, identificar residências de estudantes, analisar paradas de ônibus e sua cobertura de proximidade, descrever os tipos de uso do solo, além de fornecer características da estrada e dos pedestres.

Nayati (2008) desenvolveu um estudo de roteamento de transporte escolar fazendo uso do ArcGIS, na Índia. A otimização teve como objetivo principal a criação de pontos de parada e a otimização de tempo e distância das rotas, de forma a proporcionar um serviço de menor custo e maior eficiência. A implantação da metodologia proporciona ainda maior segurança, pois, por meio de sistemas de GPS é possível identificar o posicionamento dos veículos.

Hashi, Hasan e Zaman (2016) propuseram uma metodologia baseada no uso de SIG e para o roteamento e escalonamento de ônibus escolares fazendo uso do algoritmo de Clarke & Wright. Como estudo de caso, foi escolhida a Escola Scholastica na cidade de Dhaka, Bangladesh, onde foram coletados dados georreferenciados da escola e dos pontos de coleta de alunos. O estudo apontou que o uso da metodologia proposta indica uma redução de até 80% no custo relacionado ao transporte escolar, se comparado com o sistema existente.

Com relação às áreas rurais, o roteamento se mostra essencial no transporte escolar. Para Bodin e Berman (1979), nas zonas rurais as rotas tendem a ser mais longas. Além disso, os veículos não são utilizados em sua total capacidade na maioria dos casos, o que torna o problema de roteamento mais complexo do que o transporte escolar de áreas urbanas.

## **2.2 O Sistema Transcolar Rural**

O Sistema Transcolar Rural é um projeto desenvolvido pelo Laboratório Computacional do Núcleo de Ensino e Pesquisa em Transportes – Nucletrans, no Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia (ETG) da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Consiste no desenvolvimento de um *software* de geoprocessamento online, com foco na determinação de um conjunto de rotas otimizadas e seus respectivos custos para transportar todos os estudantes da área rural matriculados em escolas de município. Parâmetros de qualidade, como o tempo que um aluno pode ficar dentro do veículo em uma viagem, a distância que um aluno pode percorrer a pé até o ponto de ônibus, entre outros, são considerados e podem ser modificados pelos usuários para obter novos resultados (Porto, 2015).

O projeto teve como ponto de partida o estudo de roteamento para municípios mineiros, em parceria com o Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE), em 2013. Posteriormente, o Governo do Espírito Santo entrou como parceiro na conclusão do projeto, em 2016. Atualmente, o Sistema Transcolar Rural atende a todos os 76 municípios do Estado do Espírito Santo que utilizam o transporte escolar rural.

Os objetivos principais do Sistema são a otimização de rotas para a redução de custos do serviço de transporte escolar rural. O processo de otimização do desenvolvimento de um *software* baseado em SIG gera as viagens e respectivos custos que atendem os alunos da requisição com a menor distância possível e de forma a alocar um menor número de veículos da forma mais econômica.

## **3 METODOLOGIA**

O problema consiste em um conjunto de estudantes espalhados por região geográfica, que precisam ser transportados para a ida e volta de suas respectivas escolas nos horários estabelecidos por cada escola. O objetivo é alocar veículos para transferir esses estudantes com custos mínimos de roteamento e transporte, e ainda oferecer um nível adequado de serviço aos alunos.

Para o desenvolvimento da análise proposta foi escolhido como estudo de caso o transporte de alunos para uma escola estadual de ensino fundamental e médio do município de Linhares, no estado do Espírito Santo. O município possui 141.306 habitantes, sendo que 14% estão localizados em áreas rurais. É o maior município do Espírito Santo em extensão territorial, sendo 92% desta área zona rural (IBGE, 2010). Selecionou-se um escola em que as rotas otimizadas não possuem alunos compartilhados com outras escolas, de modo que é possível realizar uma comparação direta entre os diferentes métodos. O sistema Transcolar em geral realiza o compartilhamento de viagens entre alunos estaduais e municipais de diferentes escolas para reduzir os custos.

O mapeamento da malha viária existente foi executado por meio de pesquisas de campo, através de rastreadores GPS instalados dentro dos veículos que realizam o transporte escolar rural e da análise de imagens de satélite. Além disso, a localização

georreferenciada de todos os alunos e escolas foi obtida por meio de dados fornecidos pelas concessionárias de energia elétrica, que já continham essas informações em suas bases de dados. Ao mesclar esses dados e plotá-los em um mapa, as rotas puderam ser analisadas por suas características. Estes incluíram: caminho escolhido, distância percorrida e preenchimento de outros requisitos, como distância máxima de caminhada para os alunos e tempo de permanência dentro do veículo.

### 3.1 ArcGIS

O roteamento no ArcGIS é geralmente realizado por meio do algoritmo Dijkstra para encontrar a melhor rota através do conjunto de paradas com custo mínimo. O sistema divide a rede em nós e linhas e cada linha que conecta dois nós tem um custo associado. O caminho mais curto entre dois nós é selecionado após uma série de iterações comparativas. Esse processo apresenta uma solução ótima, mas em um cenário com muitos nós, o algoritmo pode gerar processos computacionais excessivos. Por esta razão, o ArcGIS melhora a solução através do processo de heurística Tabu-Search. Este processo apresenta soluções não ótimas, mas que são consideradas boas, em um processo que demanda um menor tempo computacional. (Oliveira, 2002).

### 3.2 Transcolar Rural

O processo de roteamento no Sistema Transcolar é realizado através do site <http://transcolar.eng.ufmg.br/>, no qual todos os cadastrados possuem um login e senha. Todo o processo de roteamento é projetado especificamente para fornecer o transporte escolar rural, no qual os dados são inseridos de forma simples, intuitiva, dispensando a necessidade de um especialista em geoprocessamento para operá-lo (Figura 1). Além disso, o modelo online não exige a aquisição de software avançado ou equipamentos de última geração. É uma plataforma gratuita, acessível e de fácil utilização.

## Otimização e Custo de Viagens

Manutenção dos parâmetros do processamento.

Ano base: 2018 ▾      Selecione o município: Municípios do Estado ▾

	Veículos oficiais	Veículos não oficiais	Ano fabricação veículo	Distância mínima do ramal da viagem			Tipo aluno
Até 08 lugares	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1998"/>	Ensino Médio/EJA	<input type="text" value="3000"/>	metros	<input checked="" type="checkbox"/> Municipal
Até 15 lugares	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1998"/>	Ensino Fundamental - Estadual	<input type="text" value="3000"/>	metros	<input checked="" type="checkbox"/> Estadual
Até 23 lugares	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1998"/>	Ensino Fundamental - Municipal	<input type="text" value="3000"/>	metros	<input checked="" type="checkbox"/> Ambos
Acima de 23 lugares	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1998"/>	Pré-escola	<input type="text" value="1000"/>	metros	
				Ensino especial (APAE)	<input type="text" value="0"/>	metros	
				Ensino Noturno	<input type="text" value="1000"/>	metros	

Capacidade do veículo acima de 23 lugares: <input type="text" value="44"/>	
Distância máxima do aluno <b>Municipal</b> à escola que não dá direito ao transporte escolar: <input type="text" value="2000"/> metros	Distância máxima do aluno <b>Estadual</b> à escola que não dá direito ao transporte escolar: <input type="text" value="3000"/> metros
Tempo esperado de chegada do aluno antes do início da aula: <input type="text" value="30"/> min.	Velocidade média considerada no cálculo: <input type="text" value="30"/> km/h
Tempo máximo no veículo: <input type="text" value="90"/> min.	Distância máxima entre escolas a agrupar: <input type="text" value="2000"/> metros
Coeficiente da lotação mínima do veículo: <input type="text" value="0.0"/>	Distância máxima em KM para viagens TR + AP + AR de veículo: <input type="text" value="400"/> Km
Coeficiente máximo para a relação TR e AP + AR: <input type="text" value="0.6"/>	Distância mínima em KM para viagens TR + AP + AR de veículo: <input type="text" value="30"/> Km

**Fig. 1 Interface do Sistema Transcolar Rural**

Na guia “Otimização e Custo de viagem”, o usuário define parâmetros como a distância máxima percorrida por um aluno a pé para chegar ao ponto de ônibus, se o roteiro inclui

alunos da rede municipal, estadual ou ambos os tipos de alunos, e também a máxima distância percorrida por um aluno dentro do veículo. A partir do estabelecimento desses parâmetros, novos cenários de rota são gerados.

## 4 RESULTADOS E DISCUSÕES

### 4.1 Roteamento no ArcGIS

A otimização foi realizada utilizando a extensão Network Analyst do *software* ArcGIS. Utilizou-se a análise do tipo PVR, selecionando a escola como ponto final de todas as rotas, e deixando o ponto inicial no modo dinâmico, para que o solver encontrasse a melhor origem para as rotas. A capacidade máxima dos veículos (routes) foi limitada a 44 alunos (orders), mesmo valor utilizado na prática. Similarmente, o tempo máximo de viagem foi limitado a 90 minutos. Foram encontrados 305 alunos cadastrados nesta escola, tendo como base cadastro de alunos do ano de 2018. Inicialmente, tentou-se realizar a otimização usando o número mínimo de veículos que pudessem atender a este número de alunos, que seriam 7 veículos. No entanto, a restrição de tempo de viagem imposta impediu que os ônibus fossem utilizados em sua máxima capacidade na solução. Logo, o número mínimo de veículos passou para 12. Com esse valor, obteve-se um resultado de otimização que inclui todos os 305 alunos (Figura 2).

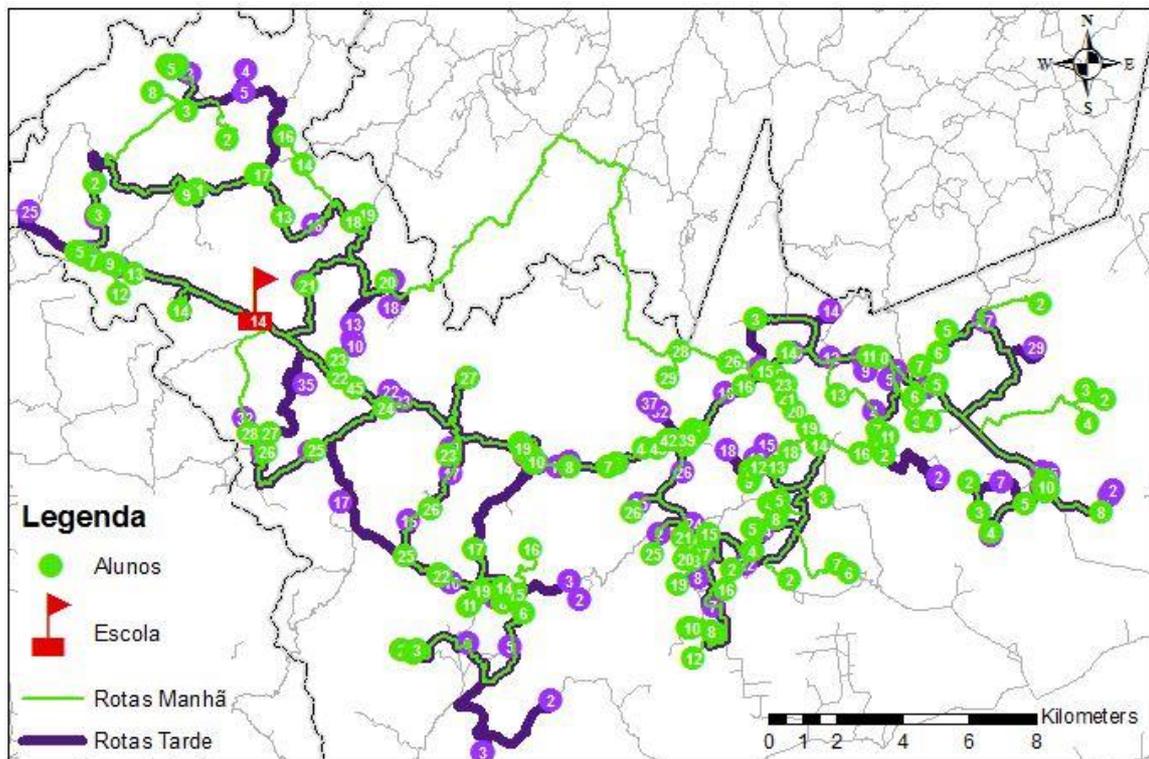
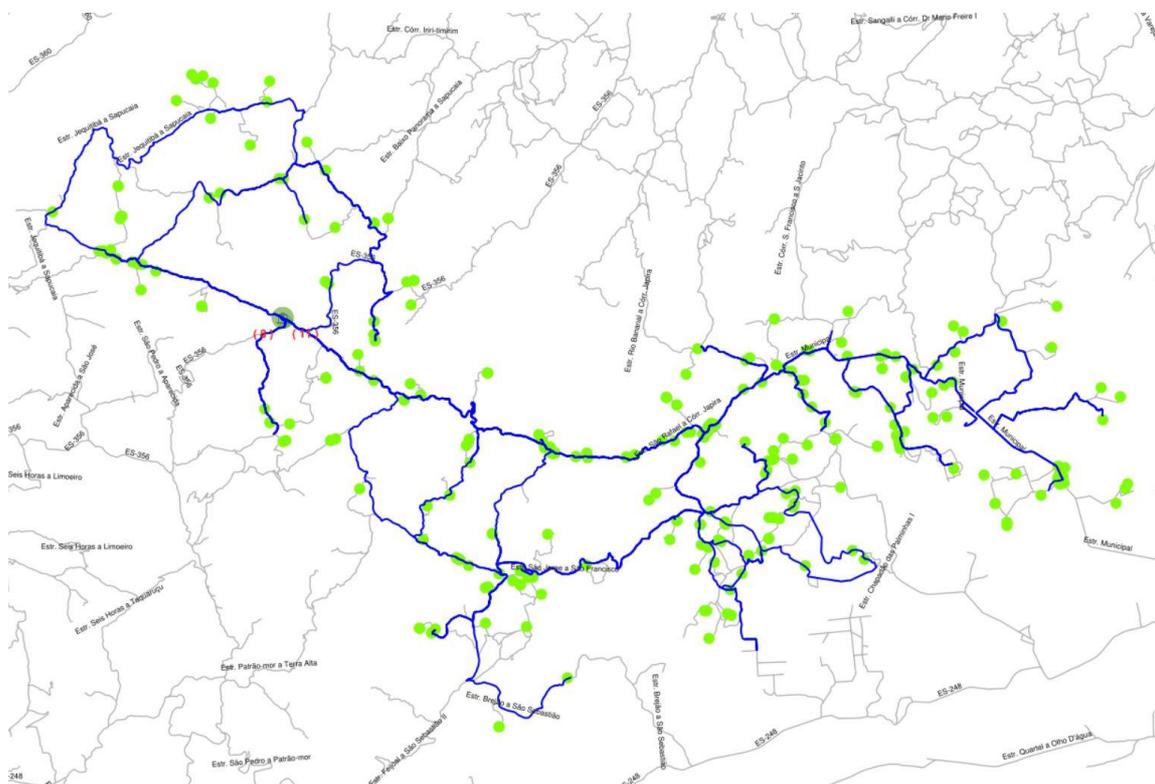


Fig. 2 Roteamento realizado no *software* ArcGIS

### 4.2 Roteamento no Transcolar Rural

A otimização no sistema Transcolar foi realizada com dados referentes ao ano base de 2017, que conta com mais alunos, sendo 375 no total. Os parâmetros iniciais são os mesmos dos adotados para a execução do roteamento no ArcGIS, porém o nível de otimização possível inclui outras variáveis que não estão presentes na análise padrão do ArcGIS, como a possibilidade de um mesmo veículo realizar duas viagens, ou o compartilhamento de viagens entre diferentes escolas (Figura 3).



**Fig. 3 Roteamento realizado no sistema Transcolar Rural**

#### **4.3 Comparativo entre os resultados dos dois modelos com a situação atual do transporte escolar rural**

A tabela 1 mostra os resultados da otimização no Transcolar Rural, ArcGIS e o cenário pré-otimização registrado por dados obtidos da Secretaria da Educação para as rotas da escola estadual de ensino fundamental e médio analisada, tendo como referência o ano de 2017. Os dados de pré-otimização indicam o cenário real aferido por mapeamento via GPS, antes da proposição de métodos de otimização de rotas. A partir do trabalho de campo de mapeamento por GPS realizado em todo o Estado, foi possível aferir uma redução de 7% a 20% no tamanho das rotas, antes mesmo do processo de otimização.

Os resultados são apresentados com base na soma de todas as viagens realizadas para o transporte dos alunos, incluindo trechos de ida e volta. Por esse motivo, a contagem de alunos dobra, já que o número de alunos reflete o transporte nos dois sentidos, e cada aluno é transportado duas vezes.

Apesar do ano base dos dados da Secretaria da Educação e os dados analisados no Transcolar e ArcGIS serem referentes ao mesmo ano base (2017), há uma pequena diferença no número de alunos identificados devido ao fato de serem bases de dados diferentes por um refletir o início do ano quando foram realizadas as licitações de

transportes e outra o final do ano quando as pesquisas foram realizadas. Essa diferença, porém, não compromete uma análise comparativa entre os métodos aplicados pelo fato de que o critério utilizado leva em conta o número de alunos transportados. O Transcolar apresentou uma otimização da rota mais eficiente do que o desenvolvido no ArcGIS e notadamente superior às rotas pré-existentes.

**Tabela 1 Análise comparativa de cenários de roteamento**

	<b>Dados - Secretaria da Educação</b>	<b>ArcGIS</b>	<b>Transcolar</b>
<b>Número de Alunos</b>	742	750	750
<b>Viagens Realizadas (ida e volta)</b>	34	30	22
<b>Total km</b>	1674,6	1210,1	999,9
<b>Km/alunos transportados</b>	2,26	1,61	1,33
<b>Redução na razão km/alunos</b>	-	28,51%	40,93%

Como é possível observar, há uma significativa redução no número de viagens em ambos os casos, o que demonstra de forma clara o benefício para os cofres públicos proveniente da otimização do transporte escolar rural. Foi identificada uma redução de mais de 28% na distância por aluno transportado com a otimização feita no ArcGIS, e de quase 41% com a otimização Transcolar. Vale ressaltar que parte dessa percentagem se deve ao fato de que o processo de mapeamento por GPS também gera uma redução nas distâncias pois reduz o trabalho realizado intuitivamente por uma modelo mais apropriado, além do processamento do roteamento. A análise feita refere-se também ao estudo de transporte de alunos para uma escola específica. Ao analisar o transporte de todos os alunos do município para diversas escolas, a percentagem da redução da distância por meio de otimizações pode sofrer variações principalmente se considerarmos o transporte com múltiplo carregamento.

## **5 CONCLUSÃO**

O transporte escolar rural tem particularidades como a complexidade das rotas, a dispersão dos estudantes nas áreas geográficas e os custos práticos. Por esta razão, a solução do problema do encaminhamento de transportes escolares rurais requer a aplicação de metodologias específicas.

A partir da análise comparativa dos resultados obtidos por meio das otimizações propostas foi possível observar que o sistema atual de transporte escolar rural carece de um plano que possibilite uma melhor utilização dos recursos disponíveis, portanto, faz se necessária a implantação de um sistema de otimização de rotas.

Comparando os dois modelos de otimização de rotas (Transcolar e ArcGIS), o Sistema Transcolar se mostrou superior, ao apresentar uma redução de aproximadamente 41% na distância por aluno transportado. Salienta-se também como vantagem o fato de o Transcolar ser uma plataforma online, onde é possível o compartilhamento de dados e análise de resultados por diversos usuários simultaneamente. Os dados referentes aos alunos, ônibus e escolas podem ser atualizados a qualquer momento, permitindo a atualização e aperfeiçoamento das rotas geradas.

Com o Transcolar, também não é necessário que o usuário instale nenhum *software*, muito menos exige que o mesmo tenha conhecimentos a respeito de geoprocessamento, facilitando sua utilização em municípios rurais.

Portanto, o Transcolar se mostrou como uma ferramenta eficiente e de fácil implementação, podendo ser útil no cálculo de repasses feitos a municípios por meios de governos Estaduais ou Federais. O sistema ainda proporciona maior transparência em processos licitatórios a partir do pré-estabelecimento de rotas e custos por parte das prefeituras.

## **5 AGRADECIMENTOS**

Este trabalho foi apoiado e financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Pela Secretaria de Educação do estado do Espírito Santo.

## **6 REFERÊNCIAS**

Bodin, Lawrence D.; Berman, Lon (1979) Routing and scheduling of school buses by computer. *Transportation Science*, v. 13, n. 2, p. 113-129.

Buliung, Ron N. et al. (2013) The “path” not taken: Exploring structural differences in mapped-versus shortest-network-path school travel routes. *American journal of public health*, v. 103, n. 9, p. 1589-1596.

Chaudhari, Jaydeep; YE, Zhirui (2010) GIS as a Sketch-Plan Tool to Replace Traditional Transit Route Planning Practice for College and University Communities. *Planning for Higher Education*, v. 39, n. 1, p. 39.

Dantzig, George B.; Ramser, John H. (1959) The truck dispatching problem. *Management science*, v. 6, n. 1, p. 80-91.

Egami, Cintia Yumiko *et al.* (2006) Panorama das Políticas Públicas do Transporte Escolar Rural. In: Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes.

Hashi, Emrana Kabir; Hasan, Md Rokibul; Zaman, Md Shahid Uz. (2016) GIS based heuristic solution of the vehicle routing problem to optimize the school bus routing and scheduling. In: Computer and Information Technology (ICCIT), 2016 19th International Conference on. IEEE. p. 56-60.

IBGE, Censo (2010). Disponível em:< [http://www. censo2010. ibge. gov. br/](http://www.censo2010.ibge.gov.br/)>. Acesso em 15 de agosto, 2017.

Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (2006). Sinopse Estatística da Educação Básica. Disponível em: <<http://portal.inep.gov.br/web/guest/sinopses-estatisticas-da-educacao-basica>>. Acesso em 15 de agosto, 2017.

Jin, Jangwon; Lee, Gyoungju (2013) A GIS-based analysis for examining the effect of serviceability improvement due to reforming the city bus route system. *International Journal of Software Engineering and Its Applications*, v. 7, n. 6, p. 89-100.

Kallel, Amjad; Serbaji, Mohamed Moncef; Zairi, Moncef (2016) Using GIS-Based tools for the optimization of solid waste collection and transport: Case study of Sfax City, Tunisia. *Journal of Engineering*.

Nayati, Mohammed Abdul Khader (2008) School bus routing and scheduling using GIS.

Nilsson, Nils J. (2014) Principles of artificial intelligence. Morgan Kaufmann.

Oliveira, Francisco (2002) Map analysis with networks. Texas A&M University.

Özceylan, Eren *et al* (2017) A GIS-based risk reduction approach for the hazardous materials routing problem in Gaziantep. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, v. 23, n. 6, p. 1437-1453.

Porto, Marcelo Franco *et al.* (2015) Developing a GIS for Rural School Transportation in Minas Gerais, Brazil. *Journal of Systemics*, v. 13, n. 2, p. 89-94, 2015.