

METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO QUALITATIVA DE ROTAS ESCOLARES GERADAS PELA PLATAFORMA TRANSCOLAR RURAL

Marcelo Franco Porto

Leandro Cardoso

Renata Moura Pereira

Laura de Assis Pereira Almeida

Nilson Tadeu Ramos Nunes

Lucas Vinícius Ribeiro Alves

Universidade Federal de Minas Gerais
Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia

RESUMO

Muitos estudantes das áreas rurais residem distantes de suas escolas e, além de não possuírem condições de arcar individualmente com o transporte diário necessário para chegar até o seu destino, os serviços prestados pelos poderes públicos são, em geral, deficitários. Considerando que o transporte escolar é fundamental para prover acesso aos serviços educacionais e este deve ser dotado de requisitos de qualidade, foi criado o Projeto Transcolar Rural, o qual foi desenvolvido por pesquisadores do Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia (DETG) da Escola de Engenharia da UFMG, visando elaborar uma plataforma que possibilite a otimização de rotas e redução de custos com o Transporte Escolar Rural (TER). O presente artigo visa apresentar a metodologia criada para as rotas geradas, cujo objetivo principal foi analisar, avaliar e propor alternativas de aprimoramento do sistema, com a finalidade de reduzir eventuais falhas e inconsistências, buscando melhorar a acessibilidade das crianças ao TER. Os resultados das avaliações apontam que as rotas geradas pelo sistema Transcolar necessitam de importantes alterações para garantir a segurança e conforto do aluno.

ABSTRACT

Many students from rural areas live far from their schools, often unable to afford the daily transportation necessary to go to their classes. As the school transport is important to promote their education, the Transcolar Rural Project was created, a project developed by researchers of the Transportation and Geotechnical Engineering Department (DETG) of the School of Engineering of UFMG, to produce a platform that allows the optimization of routes and reduction of costs with the Rural Scholastic Transport. This paper aims to present the methodology created for the generated routes, which main objective was to analyze, evaluate and propose alternatives to improve the system, in order to reduce failures, seeking to improve kids accessibility to the scholastic transport. The results of the evaluations indicate that the routes generated by the Transcolar system require important changes to ensure the safety and comfort of the students.

1. INTRODUÇÃO

Os artigos 205 e 208 da Constituição Federal Brasileira de 1988 garantem a educação como direito de todos e dever compartilhado entre Estado e família, sendo o primeiro também responsável por prover programas educacionais suplementares, como material didático, transporte, alimentação e assistência à saúde (Brasil, 1988). No Brasil, mais de 6 milhões de alunos da educação básica residem ou estudam em escolas de áreas rurais, sendo que aproximadamente 70% desses alunos necessitam do transporte escolar para chegar à sala de aula (MEC/INEP, 2014), tornando o fundamental o papel do Estado em fornecer transporte público escolar rural de qualidade.

Entretanto, um dos maiores desafios da educação no Brasil é a acessibilidade e permanência do aluno no ambiente escolar, principalmente os que residem em zonas rurais. Tais alunos enfrentam diariamente obstáculos como longas distâncias de caminhada, trajetos extensos e tempos de viagem elevados, sendo a gratuidade do ensino e do transporte não suficiente para o exercício pleno de seus direitos. Além dos variados reveses que o Transporte Escolar Rural (TER) apresenta, os municípios e estados arcam com elevados custos para a sua manutenção,

mesmo em condições precárias, apresentando carência de recursos e instrumentos para a definição de rotas e gerenciamento das viagens (Nascimento *et al.*, 2016).

Nesse contexto, destaca-se a importância da otimização de rotas e viagens realizadas pelo TER, de maneira a incentivar tanto o aluno a frequentar regularmente a escola quanto os governos municipais e estaduais a ofertarem serviços de qualidade a um menor custo. Com esse objetivo, foi desenvolvido por pesquisadores da Universidade Federal de Minas Gerais um sistema computacional que otimiza rotas e custos das viagens diárias – o Transcolar Rural. A plataforma, que conta com dados georreferenciados das vias, dos alunos e das escolas, permite a geração e otimização das rotas escolares, minimizando a quilometragem e os custos dos trajetos.

As rotas são geradas automaticamente pelo sistema a partir do cadastro da malha viária, dos alunos e das escolas, por meio de ferramentas GIS (*Geographic Information System*) desenvolvida pela equipe. Eventualmente, devido a algum problema de leitura e processamento dos dados, ou equívoco nos dados de entrada, algumas rotas apresentam incoerências ou detalhes que poderiam ser melhorados. A partir disso, faz-se necessário, então, uma análise posterior à geração das rotas, não computadorizada, com o objetivo de detectar as falhas, revisar os trajetos e reduzir pequenos custos adicionais devido ao conjunto de rotas gerados, além de fornecer subsídios para corrigir a metodologia aplicada aos modelos matemáticos e computacionais do sistema. Não obstante a resposta financeira propiciada pela ferramenta, é também avaliada a qualidade das rotas sob a perspectiva do aluno, sendo considerados ainda para análise parâmetros como segurança e conforto, de modo a proporcionar melhores condições de acessibilidade às escolas.

Sendo assim, este trabalho tem por objetivo primeiro avaliar qualitativamente as rotas geradas pela plataforma Transcolar Rural, com foco no município de Ibatiba, no Estado do Espírito Santo, além de propor alternativas de aprimoramento do sistema para melhorar a qualidade nas rotas geradas automaticamente pelo sistema. O modelo de rotas a ser avaliado se baseia no conceito de viagens espelhadas, nas quais os alunos são transportados pela mesma rota em ambos os sentidos de ida e volta.

2. O TRANSPORTE ESCOLAR RURAL BRASILEIRO

O êxodo rural no Brasil se deu na segunda metade do século XX, de maneira mais intensa nas décadas de 1960 e 1980, contribuindo para a aceleração do processo de urbanização do país, carregando todas as consequências negativas do crescimento populacional desordenado dos grandes centros urbanos. A educação rural, por sua vez, mostrou-se como importante ferramenta para conter a migração rural-urbana, sendo apenas nessa época que se deu o surgimento das primeiras escolas rurais (Carvalho *et al.*, 2016). Além da importância tardia que foi dada à educação nas zonas rurais, outras dificuldades também são enfrentadas, como segregação e padrões complexos de organização espacial, isolamento físico, desigualdade social e oferta insuficiente de infraestrutura e serviços por parte do Estado (Pegoretti, 2005). O TER, portanto, configura-se como instrumento importante para amenizar as segregações sofridas pelos residentes das zonas rurais, atendendo à necessidade de acessibilidade dos alunos às escolas.

De acordo com o Ministério da Educação, 6,7 milhões dos estudantes brasileiros residem ou estudam em escolas rurais, dos quais quase em sua totalidade (99%) estão matriculados em

escolas públicas e 4,8 milhões dependem do transporte escolar para se deslocar até as escolas (MEC/INEP, 2014). Manter esses alunos frequentes nas escolas, no entanto, é um obstáculo a ser vencido. Em 2006 o índice de analfabetismo nas áreas rurais foi de 21% – contra 8% nas áreas urbanas – e o percentual de evasão escolar foi de 2,7% para jovens entre 10 e 14 anos, e 17,8% para jovens entre 15 e 17 anos (PNAD, 2006). Segundo pesquisa realizada pela Fundação Getúlio Vargas (FGV), a dificuldade de acesso à escola representa 10,90% dos motivos pelos quais os jovens estão fora da escola, sendo que dessa parcela 12,55% se devem ao fato de “não existir escola perto de casa” e 10,23% à “falta de transporte escolar” (FGV, 2009). Tais números reforçam a necessidade de programas e projetos voltados para a melhoria da oferta e das condições de serviços do TER.

Carvalho *et. al* (2016) conduziram uma pesquisa a campo em 450 municípios do interior do Brasil, ao longo do ano de 2012, a fim de avaliar a evolução do cenário do TER brasileiro após a implementação do programa Caminho da Escola – programa federal que objetiva renovar, padronizar e ampliar a frota de veículos do TER. Em 2012, a frota de veículos era composta majoritariamente por ônibus (36,6%), micro-ônibus (15,5%), Kombi (18,8%) e van (9,4%) e tinha idade média de 13 anos, sendo o Sudeste a região com terceira maior média, com idade de 12,5 anos. Também foi aferida a taxa de ocupação dos veículos, ou seja, a razão do número de alunos transportados pela capacidade do veículo, sendo que valores maiores que 1,00 indicam veículos operando acima de sua capacidade. Observou-se que a taxa média dos municípios variou de 0,76 (Rio Grande do Sul) até 1,19 (Piauí), sendo o valor médio geral para o Brasil igual a 1,00, apontando que em alguns municípios a segurança e o conforto dos alunos são comprometidos devido à superlotação dos veículos. Quanto à quilometragem percorrida, em média, as rotas mostraram um trajeto completo (ida e volta) de 73,9 km de extensão, sendo que 72% das rotas estavam entre 10 km e 70 km de percurso total e a maior rota verificada na amostra (371,58 km) apresentou um tempo total de viagem igual a 4 horas de duração.

Outra pesquisa conduzida, entre abril de 2016 e dezembro de 2017, pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) e pelo Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes (Ceftru/UnB), teve como objetivo traçar um panorama quali-quantitativo do TER brasileiro, que contou com entrevistas com cinco atores envolvidos no TER: os gestores, os planejadores e operadores, os condutores, as escolas e os alunos. De acordo com os alunos entrevistados, as maiores insatisfações quanto ao TER dizem respeito à ocupação do veículo (19,83%), à ausência de equipamentos de conforto e segurança (13,36%), e à falta de assiduidade e de pontualidade do serviço (12,50%). O tempo de viagem e a extensão do trajeto representou 3,88% das respostas. Ainda de acordo com os alunos, ao serem questionados sobre como o TER deveria ser, as principais melhorias apontadas foram em equipamentos de conforto e segurança (23,71%), limpeza e manutenção (10,82%) e assiduidade e pontualidade (10,47%). A distância e cobertura nas condições de acesso ao embarque/desembarque representaram 3,11% das respostas.

2.1. O Município de Ibatiba

Ibatiba se localiza na região sul do Estado do Espírito Santo, a 171 quilômetros da capital Vitória (Figura 1). O município é o 33º mais populoso do Estado, com 22.366 habitantes em 2010, e o 12º em adensamento, com uma densidade populacional de 92,98 hab./km². Configura-se, então, como um município de 240,54 km² de extensão com pouco desenvolvimento urbano e uma pequena população espalhada ao longo de sua extensão

territorial. De acordo com levantamento de dados do IBGE, em 2015 o salário médio mensal da população era de 2 salários mínimos - sendo o salário mínimo igual a R\$788,00 na época – e a proporção de pessoas ocupadas em relação à população total era de 10,9% (IBGE, 2015).

Em 2010, a taxa de escolarização de crianças entre 6 e 14 anos de idade era de 97,3%, uma porcentagem não tão elevada quando comparada com os outros municípios do Estado (a maior é 99,3%) e com o restante do país (99,2%). Ademais, em 2015 os alunos dos anos iniciais do Ensino Fundamental receberam nota 5 no IDEB (Índice de Desenvolvimento da Educação Básica) e os alunos dos anos finais receberam nota 3,7 – em uma escala de 0 a 10. Em Ibatiba há 13 escolas de Ensino Fundamental e 2 de Ensino Médio. O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) era de 0,647, e o IDHM da Educação era de 0,501, ambos considerados baixos.

De fato, as condições do transporte escolar em Ibatiba são precárias, sendo recorrentemente motivo de preocupações tanto da população quanto dos administradores públicos. Logo no início do ano letivo de 2018 os serviços foram suspensos segundo ordem judicial devido a irregularidades contratuais, os quais causaram um prejuízo de R\$3,7 milhões nos cofres públicos municipais, entre os anos de 2013 e 2016. A população não foi notificada em tempo hábil e várias crianças passaram horas esperando pelo atendimento nos pontos de parada, alguns alunos chegavam a percorrer até 6 km de distância até as escolas. Apenas em meados de março do mesmo ano o serviço foi restabelecido (Coutinho, 2017). Evidencia-se, portanto, como a otimização das rotas e dos custos de viagens seria uma peça chave para a mudança do cenário da educação e do desenvolvimento humano de Ibatiba.



Figura 1: Localização do município de Ibatiba no estado do Espírito Santo

3. TRANSCOLAR RURAL – ESPÍRITO SANTO

O Transcolar Rural é um projeto desenvolvido por pesquisadores do Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia (DETG) da Escola de Engenharia da UFMG, que tem como objetivo principal a pesquisa e o desenvolvimento de um sistema de informação espacial para o Transporte Escolar Rural (TER). Desde 2012, o projeto reúne profissionais e acadêmicos de diversas áreas do conhecimento para desenvolver uma plataforma que possibilite a otimização de rotas e redução de custos com o TER. O projeto já teve adesão de diversos municípios mineiros e capixabas, sendo que no Estado Espírito Santo 76 dos 78 municípios utilizam das ferramentas desenvolvidas pelo Transcolar. Como resultado, observa-

se uma economia significativa de recursos do governo do Espírito Santo destinados ao financiamento do TER (Rigueira Jr., 2017).

De forma a tornar possível a otimização das rotas e custos do TER, o projeto conta com várias etapas de trabalho, sendo possível dividi-las em 3 principais etapas: cadastro dos alunos, escolas e vias; otimização das rotas; avaliação das rotas. A primeira consiste no cadastro das informações georreferenciadas dos alunos, escolas e das vias por meio de ferramentas GIS. A construção da malha viária do município é realizada utilizando-se a ferramenta AutoCAD MAP, que permite traçar as rotas geometricamente por meio de fotos aéreas do local, observando-se caminhos possíveis para o TER e conectando todos os alunos atendidos às vias.

Com o cadastro de todos os dados necessários para a geração das rotas, dá-se início à segunda etapa, que conta com as partes de pré-processamento, otimização e pós-processamento. As rotas são geradas por meio de dois ou mais modelos matemáticos que fazem o cruzamento dos dados cadastrados com parâmetros de viagem pré-estabelecidos. Ao final desta etapa, com as rotas já geradas inicia-se a terceira etapa de avaliação das rotas à procura de eventuais melhorias que possam ser aplicadas aos resultados gerados. Todas as três etapas são realizadas por meio de ferramentas próprias criadas pelo projeto, sendo a principal delas o Transcolar Rural, presente em todas as três etapas.

O Transcolar Rural possibilita a geração, por município, de rotas e o cálculo dos custos das viagens por veículo e por aluno, a partir de informações cedidas pela secretaria de estado e municipais de educação, da localização da residência dos alunos do TER, das escolas em que estão matriculados e da malha rodoviária que interliga os alunos às escolas que é gerada nos laboratórios da UFMG. Com estes dados, são identificados cada escola do município e seus respectivos alunos e, em seguida, com a malha viária cadastrada, é possível traçar uma rota entre eles baseando-se em dois modelos de roteamento, a saber: modelo conservador (Otimização tipo 1) e modelo arrojado (Otimização tipo 2).

O modelo conservador é um espelhamento de viagens, isto é, a rota da viagem de ida é similar à viagem de volta, com os mesmos alunos; já o modelo arrojado possui embarque e desembarque de alunos ao longo da viagem, com rota definida para um dia inteiro. Os estudos de roteamento sempre são realizados de três formas, sendo:

- Somente alunos municipais: calcula-se um conjunto de viagens e custos, transportando somente alunos da rede municipal;
- Somente alunos estaduais: calcula-se um conjunto de viagens e custos, transportando somente alunos da rede estadual;
- Compartilhado: calcula-se um conjunto de viagens e custos, transportando de forma compartilhada todos os alunos das redes municipais e estaduais.

O Sistema Transcolar Rural foi criado para a organização dos dados, tendo cada município uma senha para o acesso irrestrito às informações do mesmo. No processo de implantação foram organizados todos os alunos por escola no sistema, a partir do Censo Demográfico de 2010 ou a partir de planilha Excel atualizada, fornecida pelo município em um arquivo padrão do projeto, sendo que, a Secretaria de Estado da Educação (SEDU) ou a diretoria da escola pode atualizar as informações diretamente na tela do sistema, sendo necessárias informações sobre a matrícula, INEP, turno, tipo de ensino e o número do padrão de instalação de energia

para o georreferenciamento do aluno. Além disso, antes da geração das rotas são cadastrados também parâmetros e diretrizes adotados pelo cliente – no caso, os municípios – como distância máxima entre aluno e pontos de paradas, tempo de viagem, capacidade do veículo, dentre outros.

Outra importante ferramenta desenvolvida especificamente para o projeto é o GeoTER, instrumento essencial para a realização da análise espacial das rotas geradas pela plataforma Transcolar Rural. Dada a geração e otimização das rotas pelo Transcolar, em caso de sucesso do processamento (Situação 18), os resultados são transferidos para o GeoTER, ambiente o qual apresentam-se todas as viagens feitas por cada veículo no município em um mapa contendo camadas de linhas e pontos: da rota, da malha viária, das paradas, dos alunos e das escolas. Ademais, é possível visualizar outros resultados como os custos de cada viagem, os alunos transportados por distância e a quilometragem das rotas.

Cada viagem no GeoTER conta com informações básicas para a sua classificação, sendo elas:

- Sentido: sentido de ida e volta do veículo ao levar e buscar a criança para a escola;
- Turno: turno da criança entre manhã, tarde e noite.
- Tipo: Viagem tronco com o aluno embarcado (TR), viagem de aproveitamento de ligação entre duas rotas (AP), viagem de aproveitamento de retorno da última parada do veículo para o ponto inicial do dia (AR) e baldeação (CO) – não aplicável ao caso em estudo. As viagens de aproveitamento não possuem alunos embarcados.
- Veículo: veículos com placas hipotéticas criadas para facilitar a divisão das viagens.

Com a visualização facilitada das rotas geradas por veículo, com a localização das escolas, dos pontos de paradas e dos alunos, e com as informações adicionais das viagens, é possível, então, fazer uma análise qualitativa das rotas do TER que foram geradas pelo Transcolar Rural. Portanto, este trabalho tem como foco a apresentação de uma metodologia que avalie qualitativamente as rotas do TER posteriormente ao processamento de dados e geração de viagens pela plataforma Transcolar Rural. Além de uma análise puramente sistemática e econômica dos resultados do processamento de dados, tal avaliação conta também com critérios mais humanizados que levam em consideração a perspectiva do principal agente envolvido no cenário do TER: o aluno.

4. METODOLOGIA

De modo a realizar a avaliação qualitativa das rotas geradas pelo Transcolar, tomou-se como exemplo três das requisições de Ibatiba (32002035; 32002041 e 32002047), que são requisições que contaram com o modelo de rotas espelhadas (Otimização 1) em uma viagem compartilhada, com alunos estaduais e municipais embarcados. As ferramentas utilizadas para as análises das rotas de Ibatiba foram o GeoTER 2.0 e a plataforma Transcolar Rural. Primeiramente, foram adotados critérios e indicadores para a análise das rotas e posteriormente foi criado um formulário para que se registrasse as percepções acerca do que poderia ser aprimorado em cada viagem, com o propósito de facilitar a utilização das ferramentas.

Com auxílio das camadas existentes do GeoTER 2.0, realizou-se uma análise visual das rotas, na qual houve uma divisão e distribuição dos veículos das viagens da requisição entre os pesquisadores para a organização do trabalho. Para que a análise sucedesse de forma correta, criou-se um formulário a ser preenchido com as informações básicas da viagem (número, tipo,

turno, etc.) e com pontos relevantes para sua avaliação, que podem ser agrupados em quatro categorias: alunos; pontos de parada; rota; tempo de viagem. A Figura 2 ilustra as duas partes de preenchimento do formulário, com as informações e com as mudanças, caso necessárias.

The image displays two side-by-side screenshots of a web form titled "Análise de Otimização de Rotas".

The left screenshot shows the information section. It includes a header with the title and a disclaimer: "O nome e a foto associados à sua Conta do Google serão registrados quando você fizer upload de arquivos e enviar este formulário. Não é projetotranscolares@gmail.com? [Alternar conta](#)". Below this is a red asterisk indicating a mandatory field: "*Obrigatório". The form contains several fields, each with a red asterisk: "Responsável pela análise" (with a text input field labeled "Sua resposta"), "Estado" (with a checkbox for "Espírito Santo"), "Município" (with a dropdown menu labeled "Escolher"), "Ano Base" (with a dropdown menu labeled "Escolher"), and "Requisição" (with a dropdown menu labeled "Escolher").

The right screenshot shows the "Alterações a serem feitas" section, which has a green header. It includes a sub-header: "Marque as opções as serem alteradas, explique - as e adicione imagens ilustrativas." Below this are two checkboxes: "Mudar traçado da rota" and "Adicionar paradas". Each checkbox is followed by an "Explique:" label and a text input field labeled "Sua resposta". There are also two blue links labeled "ADICIONAR ARQUIVO" below each "Explique:" field.

Figura 2: Formulário elaborado para análise das rotas

Os pontos a serem analisados referentes à categoria “alunos” são: verificar alunos que caminham em excesso até o ponto de parada e realocar aluno para outra viagem. GEIPOT (1995) e Vasconcellos (1997) afirmam que os itinerários dos veículos que transportam as crianças são fixados em função de seu local de residência, geralmente buscando evitar que elas tenham que percorrer a pé distâncias superiores a 2 ou 3 km entre a residência e o ponto de embarque. Já Pegorreti (2005) recomenda que essa distância não deve ultrapassar 1,5 km. Pensando nisso, optou-se por realocar as crianças para um ponto de parada mais próximo caso ela percorra uma distância maior que a de 2 km, para alunos do Ensino Fundamental II e Ensino Médio, e de 1,5 km, para alunos do Ensino Fundamental I. Para isso, evidenciou-se as crianças que caminham em excesso até o ponto de parada. Ademais, realocaram-se crianças para uma outra viagem no caso de o tempo estipulado excedesse os 90 minutos – parâmetro determinado pelo usuário – ou caso passasse uma outra rota mais próxima da criança, facilitando, assim, para tal.

No que se diz respeito à categoria “tempo de viagem”, as mudanças são: verificar tempo de viagem dos alunos embarcados e verificar tempo de chegada na escola. Como já exposto anteriormente, o máximo tempo total de viagem adotado, desde a primeira parada até o ponto final de chegada, foi de 90 minutos. Sendo assim, verificou-se o tempo de cada viagem em relatórios gerados pela plataforma Transcolar. A verificação do tempo de chegada na escola faz-se importante para saber se haverá funcionários para que os alunos sejam recebidos na escola no horário em que chegarem. Para tal, fixou-se um tempo de chegada de no máximo 30 minutos antes do início das aulas, também determinado pelo usuário.

As mudanças que se incluem na categoria “pontos de parada” são: adicionar parada; eliminar paradas; realocar parada; e alterar a ordem dos pontos. Para os pontos de parada, adicionou-se novos pontos nas viagens que, vindo que a criança estava selecionada para um ponto de

parada muito distante, e a mesma se localizava na rota, poderia ser criado um novo para ela. Em certas vezes, utilizando-se do mesmo critério de 1,5 e 2 km de distância máxima para caminhada, realocava-se o próprio ponto de parada para próximo a criança, no caso de não haver outras que dependiam deste mesmo ponto. Quando a criança era realocada para outro ponto de parada e não havendo outra no mesmo, este ponto é eliminado. Também se eliminou pontos os quais sua localização não se justificava, seja pelo fato de haver outros pontos mais próximos dos alunos, ou por forçar um traçado de rota desnecessário.

Finalmente, as mudanças referentes à rota são: mudar o traçado da rota; corrigir linhas inexistentes ou desconexas; e analisar se há possibilidades de agrupamento de viagens. Na rota optou-se por mudar o seu traçado no caso de melhoria da mesma, sendo percebida uma rota – uma forma de atalho – que reduziria a distância entre um ponto e outro. Houve correções de linhas inexistentes ou desconexas, pelo fato do programa às vezes não conseguir identificar uma via existente por considerar que há uma barreira, havendo assim, uma descontinuidade. Havendo a possibilidade de reduzir o custo da viagem, agrupou-as quando o trajeto de um veículo coincidia com o de outro, então, a sua distância que antes era percorrida por dois veículos, passaria a ser por um.

A Figura 3 é um exemplo de alterações sugeridas e registradas no formulário, utilizando-se das diretrizes descritas nos parágrafos anteriores. A imagem à esquerda exemplifica uma situação da requisição 32002047 em que a localização da parada P11 se mostrava incoerente e não justificável, recomendando-se sua exclusão além da adição de novos pontos próximos aos alunos e consequente mudança de traçado. A imagem à direita, referente a uma situação da requisição 32002035, exemplifica a realocação de um ponto de parada em local mais propício que reduz a quilometragem total da rota, também mudando o seu traçado.

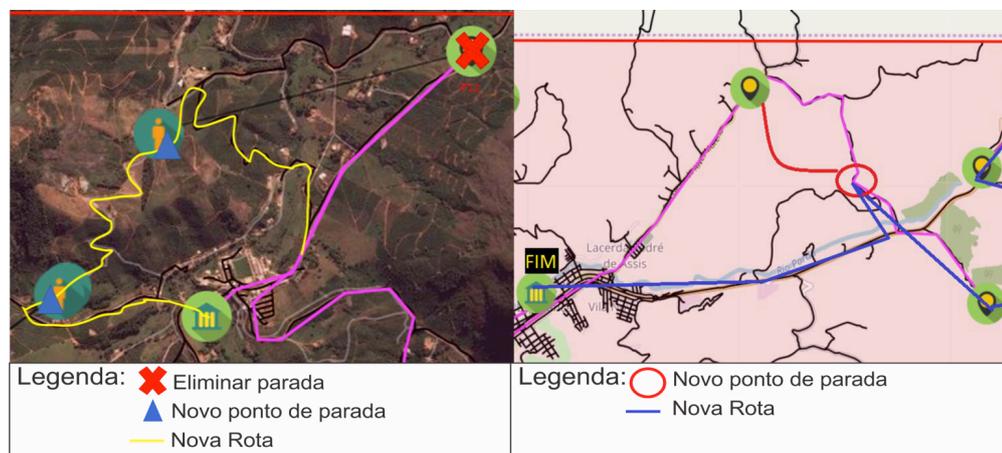


Figura 3: Exemplos de alterações sugeridas para rota em análise

É importante ressaltar que esse estudo foi realizado utilizando a visão disponível para o usuário, com a percepção propiciada ao mesmo pelo sistema. No entanto, nem todos os parâmetros internos estão facilmente acessíveis aos usuários, como por exemplo, as restrições de tráfego aplicadas as vias e outros parâmetros de eficiência que levam ao agrupamento de alunos em pontos de parada que minimizem o tempo de viagem sem infringir as restrições impostas pelo usuário sobre possibilidade de caminhada. Portanto, esse trabalho foca no transporte exclusivamente na qualidade da viagem pelo aluno enquanto o sistema busca o transporte de qualidade, mas com foco no menor custo, respeitando todas as restrições

impostas pelo usuário.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para melhor apresentação dos resultados obtidos pelas respostas ao formulário, foram selecionadas amostras de três requisições do município de Ibatiba, sendo, 90 viagens pertencentes à requisição 32002035, 79 viagens à requisição 32002041 e 102 viagens à requisição 32002047, somando um total de 271 viagens. A Figura 4 mostra a divisão da amostra por tipo de viagem, sendo as viagens do tipo TR de maior volume, conforme esperado. A pequena diferença percentual entre os sentidos de ida e volta das viagens TR se deve ao fato de, em alguns casos, o aluno estar matriculado na escola em tempo integral, sendo a viagem de volta para residência diferente da viagem de ida.

Ao todo, 78% das viagens necessitaram de pelo menos um tipo de alteração e 22% já se apresentavam satisfatórias em sua forma original. Entretanto, como é possível perceber na Figura 5 grande parte das viagens que não necessitaram de alteração são do tipo AP ou AR, sendo que as viagens TR representam 15% da amostra. Isso ocorre pelas viagens do tipo AP e AR sofrerem modificações apenas no caso de seu ponto inicial e/ou final forem alterados (alteração da ordem e da localização dos pontos finais/iniciais da viagem TR), caso isso não ocorra, não há a necessidade de sofrer alteração.

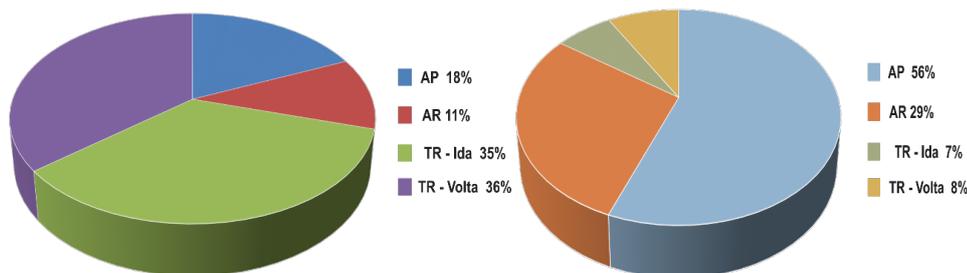


Figura 4: Divisão das viagens por tipo

Figura 5: Viagens que não sofreram alteração por tipo

As análises das três requisições produziram 561 sugestões de modificações, visando melhorar a viagem tanto do ponto de visto do aluno quanto da otimização da rota. A Figura 6 mostra a distribuição dessas modificações pelas quatro categorias adotadas na metodologia, destacando-se as modificações relacionadas aos pontos de parada. A Figura 7 mostra detalhadamente as modificações propostas para a categoria “pontos de parada”, evidenciando que a necessidade de realocação dos pontos de parada já existentes foi a modificação que mais se destacou.

O grande volume de modificações referentes aos pontos de parada, principalmente as que recomendam realocar paradas, pode ser explicado pelo critério adotado de distâncias máximas para caminhada dos alunos até os pontos de parada de 1,5 km e 2 km, conforme consultado na literatura. Isso se deve ao fato de que os parâmetros adotados antes da etapa de geração das rotas foram determinados pela administração pública do município que aderiu ao sistema desenvolvido pelo Transcolar, que, mais especificamente, escolheram uma distância de até 3 km (EF II e EM) e 1,0 km (EF I) entre o ponto de ônibus e a residência do aluno. Dadas as condições precárias das vias nas zonas rurais, as quais muitas vezes não são asfaltadas, caminhar por 3 km para se chegar até o ponto de ônibus mostra-se completamente inviável, principalmente para crianças que estudam de manhã. Não obstante, dado o tempo máximo de

viagem de 90 minutos, parâmetro também definido pelo cliente, aliado a uma caminhada de 3 km de extensão, o tempo total de deslocamento do aluno eleva-se muito, além de tornar todo o trajeto desconfortável.

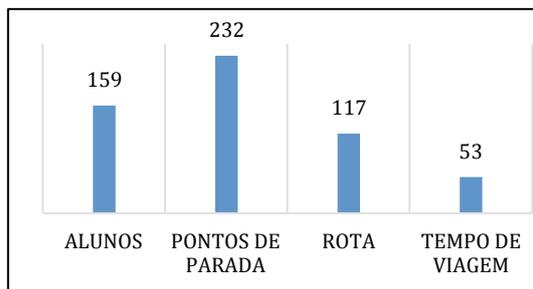


Figura 6: Número de modificações por categoria

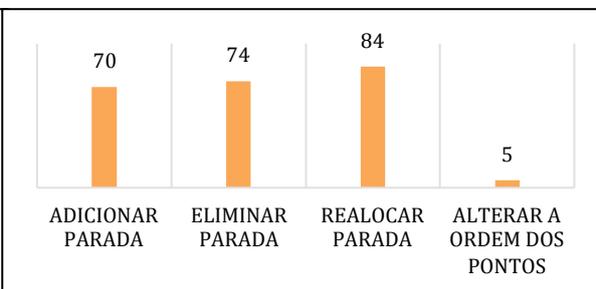


Figura 7: Modificações de Ponto de Parada

Por essa razão, optou-se por chamar a atenção dos agentes envolvidos nas tomadas de decisão acerca do TER para a percepção do aluno, sugerindo, então, que os pontos de parada fossem alterados, de modo a proporcionar maior conforto e segurança durante seu deslocamento, principalmente quando tal alteração não causaria grandes mudanças na rota já proposta. Visto que a rota gerada já se encontraria no menor custo e quilometragem possível, caso a alteração desses pontos de parada causasse grande impacto no resultado final – podendo comprometer a otimização –, manteve-se a configuração original, porém, com ressalvas e observações.

Além das modificações sugeridas visando o conforto do aluno, houve também modificações relativas à rota que valem ser ressaltadas. Em alguns casos, a rota não fazia um caminho que seria mais curto ao se observar as fotos aéreas, ou sequer a via de menor extensão estava cadastrada na malha viária. Tal problema pode ser ocasionado por dois motivos, inconsistência de parâmetros da malha no processamento ou falha humano na etapa de traçado da malha. No primeiro caso, durante a etapa de processamento) a via pode ter sido excluída por não permitir o tráfego do tipo de veículo escolhido para a referida viagem. No segundo caso, o qual é um pouco mais difícil de ser corrigido, o responsável por traçar as rotas no AutoCAD MAP pode não ter percebido a existência de outras vias ou a necessidade de se fazer mais de uma ligação do na malha viária ou via pode ter sido excluída por falta de nitidez ou identificação de algum obstáculo (nuvens e/ou sombras).

As 53 respostas que sugeriram modificações no tempo de viagem dizem respeito às rotas que ultrapassaram o tempo limite de 90 minutos, mesmo que esse parâmetro tenha sido previamente estabelecido pelo usuário, mas foram aplicados dentro que um limite que justificasse a redução do custo.

Por fim, houve ainda a categoria “outros”, em caso de sugestões que não se encaixavam em nenhuma das categorias anteriores, a qual totalizou 89 respostas. Entretanto, dessas respostas, 52 são exclusivas das viagens TR que já haviam sido avaliadas anteriormente em outro sentido, utilizando este campo apenas para registrá-las e não duplicar as respostas anteriores. As demais respostas incluem sugestões como dividir a rota em duas, utilizar veículos menores, verificar a lotação dos veículos.

Os resultados obtidos permitiram constatar que, do ponto de vista do aluno, as rotas geradas

pela plataforma Transcolar necessitam de alterações e revisões. Quando as rotas são avaliadas apenas pelo desempenho dos modelos matemáticos aplicados, o resultado mostra-se satisfatório e a plataforma cumpre o seu objetivo principal. Para se obter resultados efetivos os servidores que armazenam os dados para a geração de rotas devem estar sempre atualizados com a informação dos alunos e escolas e a plataforma Transcolar deve estar em constante aprimoramento. Para que as rotas sejam mais amigáveis para os alunos que atendem, mesmo que a um custo um pouco mais elevado, a definição dos parâmetros e critérios de geração de viagens deve ser discutida entre os agentes envolvidos no projeto, tanto cliente quanto profissionais da área de transportes. Desse modo, é possível gerar e otimizar viagens buscando aliar os benefícios do baixo custo de operação com a melhora da qualidade dos serviços prestados pelo TER, proporcionando economia, conforto e segurança, para ambas as partes.

6. CONCLUSÃO

O presente estudo teve como principal objetivo avaliar de forma qualitativa as rotas de viagens do TER geradas pela plataforma desenvolvida pelo projeto Transcolar Rural do ponto de vista da qualidade observada pelo aluno. O trabalho teve como foco a cidade de Ibatiba, localizada no interior do Espírito Santo, que recorrentemente sofre com problemas relacionados aos serviços do transporte escolar no município. Porém, Ibatiba é apenas uma das diversas cidades do interior brasileiro que enfrentam desafios relacionados à falta de investimento, à pouca importância dada ao setor e aos complexos padrões de distribuição espacial da população ao longo de todo o território.

Dada a importância de proporcionar serviços de qualidade para os alunos residentes na área rural aliado à redução de custos do TER, tornando-o mais atrativo, criou-se uma metodologia que avalia as rotas otimizadas. As avaliações foram feitas analisando as rotas visualmente e reunindo algumas informações básicas referente às viagens. A percepção dos avaliadores acerca das rotas geradas foi registrada por meio do preenchimento de um formulário online.

Os resultados obtidos com as avaliações evidenciam que as rotas geradas muitas vezes não se mostraram satisfatórias do ponto de vista do aluno, sendo sugeridas modificações na rota para proporcionar conforto nos deslocamentos dos estudantes. Das 271 viagens analisadas, 78% necessitavam de modificações, sendo a maior parte delas referente à localização dos pontos de paradas dos ônibus, já que muitas vezes os alunos precisariam de caminhar por mais de 1,5 km, respeitando as restrições impostas pelo usuário. Isso se deve ao fato de que os parâmetros adotados para a geração das rotas, na maior parte das vezes, levam mais em consideração questões financeiras, sendo as necessidades dos alunos negligenciadas, uma vez que são determinados apenas pelo usuário.

Propõe-se, então, que tais parâmetros sejam previamente discutidos por mais agentes envolvidos com o TER, bem como os administradores públicos, os profissionais da área de transportes, os operadores do sistema e, principalmente, os alunos. Além da maior participação de todos os atores do TER, também é recomendado que manutenções constantes sejam feitas nos servidores do Transcolar e que sua plataforma esteja em contínuo processo de aprimoramento para implementar novas visões sobre o processo do TER.

É importante destacar que o sistema Transcolar Rural permite o estudo com diferentes cenários e que esse estudo foi realizado com os parâmetros atualmente adotados pelo usuário.

O projeto Transcolar Rural já transformou o cenário de muitas cidades do interior do Espírito Santo e passa por constantes aprimoramentos. Com as análises feitas nesse estudo é possível torná-lo mais eficiente a cada dia, gerando viagens escolares cada vez com menos falhas, mais econômicas e mais amigáveis para os alunos. Dessa forma, o caminho a ser percorrido para se alcançar condições ideais de prestação de serviços do TER em todo território nacional torna-se menos tortuoso, sendo ferramenta crucial para promover o exercício pleno da cidadania.

Agradecimentos

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

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brasil (1988) *Constituição da República Federativa do Brasil*. Brasília, DF: Senado. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm>. Acesso em 14 jun. 2018.
- Carvalho, W. L.; Leite, P. S.; Nascimento, H. P. (2016) O Processo Evolutivo do Transporte Escolar Rural Brasileiro no Modo Rodoviário. *Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, v. 13, n. 1, p. 118 - 127.
- Coutinho, D. (2017) MPC aponta irregularidades em transporte escolar de Ibatiba e prejuízo de R\$ 3,7 milhões. *ES Hoje*. Vitória, Espírito Santo. Disponível em: <<http://eshoje.com.br/mpc-aponta-irregularidades-em-transporte-escolar-de-ibatiba-e-prejuizo-de-r-37-milhoes/>>. Acesso em 26 jun. 2018.
- FGV – Fundação Getúlio Vargas (2009) *Motivos da Evasão Escolar*. Rio de Janeiro: FGV/IBRE/CPS. Disponível em: <<http://www.fgv.br/cps/tpemotivos/>>. Acesso em 17 jun. 2018.
- GEIPOT – Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes(1995) Avaliação preliminar do transporte rural: destaque para o segmento escolar – 1995. *Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes*, Ministério dos Transportes, Brasília, DF.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2015) *Cidades*. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em 17 jun. 2018.
- MEC/INEP (2014). *Censo Escolar: Sinopse Estatística da Educação Básica – 2013*. Ministério da Educação – MEC e Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep), 2014.
- Nascimento, M. V. L. A.; Dourado, A. B. F.; Andrade, M. O. (2016) Avaliação do Transporte Escolar Rural pelos Usuários em Pequena Cidade do Agreste de Pernambuco. *Anais do XXX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Rio de Janeiro.
- Pegoretti, M. S. (2005) Definição de um indicador para avaliar a acessibilidade dos alunos da zona rural às escolas da zona urbana. *Dissertação de Mestrado*. Programa de pós-graduação em Engenharia Urbana, UFSCAR, São Carlos, SP.
- PNAD – Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio (2006). Disponível em: <<https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2006/default.shtm>>. Acesso em 18 jun. 2016.
- Rigueira, I. Jr. (2017) Sistema otimiza rotas e reduz custos do transporte escolar rural. *UFMG comunicação*. Belo Horizonte, Minas Gerais. Disponível em: < <https://ufmg.br/comunicacao/noticias/sistema-desenvolvido-na-ufmg-otimiza-rotas-e-reduz-custos-de-transporte-escolar-rural>>. Acesso em 17 jun. 2018
- Vasconcellos, E.A. (1997) Transporte rural: o resgate de um tema esquecido. *Revista dos Transportes Públicos*, n. 75, p. 31 - 48, 1997.

Marcelo Franco Porto (marcelo@etg.ufmg.br)

Leandro Cardoso (leandro@etg.ufmg.br)

Renata Moura Pereira (renata.rmparq@gmail.com)

Laura de Assis Pereira Almeida (almeida.laura@outlook.com.br)

Nilson Tadeu Ramos Nunes (nilson@etg.ufmg.br)

Lucas Vinícius Ribeiro Alves (lucas.coau@gmail.com)

Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais

Av. Antônio Carlos, 6627 - Belo Horizonte, MG, Brasil