

Revista Brasileira de Cartografia (2016), N^o 68/2, Edição Especial Aplicações dos SIG: 421-435
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA PARA GESTÃO DE ROTAS DO TRANSPORTE ESCOLAR RURAL

Geographic Information System To Routes Management Of Rural School Transport

**Alisson Neves Harmyans Moreira¹, Simone de Almeida Jácomo²
& Nori Paulo Griebeler³**

Universidade Federal de Goiás – UFG

ACSA-Núcleo de Pesquisa em Análise e Conservação de Sistemas Agroambientais/Campus Samambaia

Rodovia Goiânia / Nova Veneza, km 0 - Caixa Postal 131, CEP 74690-900, Goiânia, GO, Brasil

¹alissonharmyans@gmail.com, ²simonejacom@gmail.com, ³griebeler@yahoo.com.br

Recebido em 12 de Junho, 2015/ Aceito em 21 de Novembro, 2015

Received on June 12, 2015/ Accepted on November 21, 2015

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi aplicar um SIG na otimização de rotas do Transporte Escolar Rural (TER), permitindo a análise espacial e temporal, comparando critérios de desempenho operacional e menor distância. Inicialmente, foram coletados dados de campo como o cadastro técnico de estradas, dos pontos de embarque e desembarque e informações com os motoristas envolvidos. Em seguida, realizou-se a vetorização e a classificação das estradas do município de Terezópolis de Goiás com o auxílio do *software* de SIG. Após a atribuição do banco de dados alfanuméricos, executou-se a sistematização de cenários dos critérios analisados. Os resultados indicaram que não houve diferença significativa das observações pelo teste t ($t < 0,05$). Por outro lado, ao analisar os dados individualmente, inferiu-se que nem sempre a menor distância é a melhor opção na determinação de rotas escolares e sugeriram-se algumas recomendações de cunho socioeconômicas.

Palavras chaves: SIG, Qualidade da Estrada, Gestão Pública.

ABSTRACT

The objective of this study was to apply GIS in route optimization Rural School Transportation (TER), allowing the spatial and temporal analysis, comparing criteria of operational performance and shorter distance. Was first collected field data as the technical registry roads, loading and unloading points and information with the drivers involved. Then there was the vectorization and the classification of Terezópolis of county roads of Goiás with the help of GIS software. After the award of the alphanumeric database, ran up the systematization of scenarios analyzed criteria. The results showed no significant difference of the comments by the test t ($t < 0.05$). On the other hand, when analyzing the data individually, it was inferred that not always the shortest distance is the best option in determining school routes, and suggested to some socioeconomic nature of recommendations.

Keywords: GIS, Quality Road, Public Management.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil o transporte escolar rural é de responsabilidade dos governos estaduais e municipais. Geralmente esse tipo de transporte é caracterizado por práticas ineficientes de operação que estão associadas ao tempo de viagem, as longas distâncias percorridas, à precariedade dos veículos e a má conservação das estradas. (DA CRUZ, 2010). Além disso, a falta de políticas adequadas para a zona rural minimiza o acesso da população a alguns benefícios de infraestrutura básica e acesso a seus direitos como cidadãos, como por exemplo, as más condições do transporte escolar e das estradas rurais que prejudicam o acesso e permanência dos alunos nas escolas (CARVALHO, 2010).

Para melhorar a qualidade dos serviços é necessário o aumento da capacidade gerencial que se dá principalmente com acesso à informação. Entretanto, é evidente a carência de informações consistentes dentro das administrações públicas e a crescente demanda por integração de dados.

É nesse sentido que o levantamento e o mapeamento de informações relativas aos municípios maximizam sobremaneira o poder de tomada de decisão dos gestores e o desenvolvimento da região. Apesar das tecnologias envolvidas nessas tarefas estarem bastante difundidas e como ferramentas de gestão e suporte em algumas regiões, há entraves financeiros, técnicos e culturais para sua implantação.

Ainda em se tratando de desenvolvimento de regiões, sabe-se que um dos pressupostos de crescimento socioeconômico é a disponibilidade de infraestrutura adequada ao desempenho das atividades. Nesse contexto, o estado de Goiás ocupa lugar de destaque no *ranking* nacional em nível de produção agropecuária e outros bens de consumo e serviços, e esta abordagem impõe uma importância fundamental nas redes de transportes para o processo de produção, circulação e distribuição de produtos. Sendo assim, as condições adequadas de tráfego são primordiais, sobretudo em face da necessidade de deslocamento cada vez maior e em menor tempo. Bowersox e Closs (1997), ressaltam que o transporte é uma área decisiva dentro do composto logístico, absorvendo em média,

a porcentagem mais elevada de custos do que qualquer outra atividade logística, à exceção do valor de bens adquiridos. Embora as decisões de transporte se expressem em uma variedade de formas, as principais são a roteirização, a programação de veículos e a consolidação do embarque.

No que tange as estradas não pavimentadas, as particularidades de construção, manutenção e uso se multiplicam. Considera-se, nesse trabalho, estrada não pavimentada, de leito natural ou de terra, aquela que geralmente tem sua origem na primeira implantação ou nos próprios caminhos que se desenvolveram pelo uso durante anos. Na maioria das vezes, são construídas sem projeto geométrico ou sistema de drenagem. São estradas que permitem acesso entre comunidades, ligação de rodovias, integração entre distritos e cidades, entre outros. São ainda, estradas que possuem como pista de rolamento o próprio solo natural, podendo eventualmente, ter recebido revestimento primário ou cascalhamento (OLIVEIRA *et al.*, 2011). No Brasil, essas estradas correspondem a aproximadamente 90% da malha rodoviária e, em Goiás, a aproximadamente 50%, sendo assim, essenciais ao desenvolvimento econômico, social ou cultural (AGETOP, 2012).

Nesse aspecto, Moreira (2003) revela que a malha rodoviária brasileira é composta por expressivo número de estradas não pavimentadas, utilizadas para o transporte de produtos, principalmente agropecuários, para as plantas industriais e centros de distribuição no meio rural. Griebeler (2002) destaca a predominância das estradas não pavimentadas em relação às pavimentadas nos países em desenvolvimento, considerando que grande parte de sua economia é baseada na produção e comercialização de produtos primários, sendo estes transportados principalmente neste tipo de via. Para Jacoby (1998), é importante mencionar outros benefícios das estradas rurais: além de transportar os produtos agrícolas, oportuniza o acesso à educação das comunidades rurais. 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.

Conhecer a malha de estradas e mapeá-la

de modo a planejar corretamente o transporte é de grande interesse ao gestor público, pois permite melhorar os serviços de atendimento à comunidade e controlar despesas, como o modelo de gerenciamento de estradas não pavimentadas elaborado por Da Silva *et al.* (2009), utilizando Sistema de Informações Geográficas (SIG). Nesse sentido, o uso de técnicas de geoprocessamento, sobretudo o uso desse sistema, possibilita uma visão ampla da área de interesse e a possibilidade de modelagem de diferentes bases de dados. Desse modo, o presente trabalho teve como objetivo aplicar o SIG na roteirização do TER, dando apoio à gestão pública por meio da análise espacial, temporal e econômica dos critérios de menor distância e desempenho operacional.

2. ÁREA DE ESTUDO

O trabalho foi realizado no município de Terezópolis de Goiás (Figura 1), localizado geograficamente na latitude 16°29'00"S, e longitude 49°06'00"W. Este é o único município integralmente inserido na Área de Proteção Ambiental (APA) da Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite. Atualmente, a área abriga os principais núcleos urbanos e grande parte

da população do Mato Grosso Goiano, sendo cortada pela Ferrovia Norte-Sul e pela BR 153. (SANEAGO, 2012).

De acordo com o relatório apresentado pelo Bioma Brasil (2012) em parceria com a Agência Nacional das Águas (ANA), o desenvolvimento socioeconômico do entorno

da Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite resultou, nas últimas décadas, na criação de novos e dinâmicos municípios.

Nesse contexto, a escolha desse município ocorreu em função de sua relevância ambiental, socioeconômica e pela facilidade de acesso à capital, que se faz pela BR - 060, a 27 km de Goiânia. Ainda, sobre esses fatores, o município abriga a maior parte das represas e nascentes que abastecem esse ribeirão, apresentando uma extensa malha viária, caracterizada por estradas primárias, secundárias e terciárias que são de suma importância para o escoamento dos bens produzidos (hortifrúti e laticínios) e favorece a mobilidade local.

Em relação à abrangência territorial, o município de Terezópolis de Goiás possui área de 106,913 km², com população de 6.561 habitantes (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2010), boa parte residente em áreas rurais.

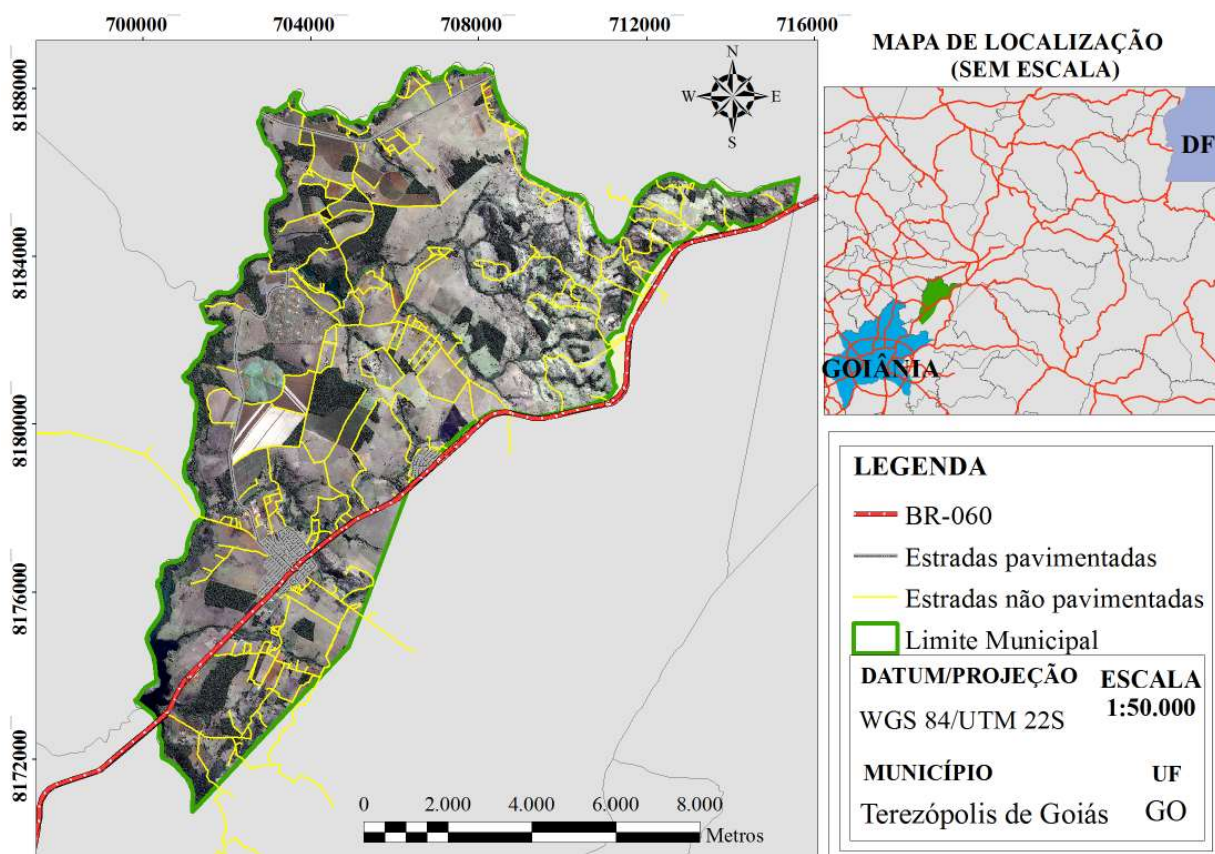


Fig.1 – Mapa de localização do município de Terezópolis de Goiás.

3. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa de campo foi fundamental para o desenvolvimento desse trabalho, pois as informações relacionadas à variável estradas alimentaram o banco de dados do SIG, possibilitando as roteirizações. Nesse sentido, o trabalho dividiu-se em três etapas fundamentais: coleta de dados, estruturações do SIG e sistematizações de cenários.

3.1 Coletas de dados

No campo, foram cadastrados os elementos geométricos que caracterizam a malha viária, como o tipo de pista de rolamento, largura e atributos do alinhamento horizontal. Outro aspecto relevante foi a inclinação ou declividade da rampa, alinhamento vertical obtido posterior a etapa de campo.

No que concerne a pista de rolamento, observou-se a camada superficial, se era de origem asfáltica, se continha revestimento primário ou era caracterizada apenas pelo leito natural. Em relação à largura, consideraram-se pistas simples àquelas que possuem pista de rolamento com faixa única e largura inferior a 5 metros e pistas duplas, as vias que possuem duas faixas e largura superior a 7 metros (LOPES; MACHADO; SOUZA, 2002).

Na determinação do índice de Geometria Horizontal (GH), levou-se em consideração o raio médio das curvas horizontais e o número de curvas por quilômetro (MACHADO, 2013). Desta forma, esse fator pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$GH = R \div NC \quad (1)$$

onde, “R” é o raio médio da(s) curva(s) de um trecho ou segmento variável da estrada (m); e “NC” representa o número de curvas por quilômetro.

No que se refere à categorização das estradas quanto ao índice de GH, foi utilizada a classificação subjetiva de Sessions e Sessions (1992), transformada para o sistema métrico (Tabela 1).

Nesse contexto, a qualidade das estradas é uma variável que deve ser considerada na gestão de rotas, pois estradas boas permitem melhores conduções e velocidades maiores

Tabela 1: Classes de Geometria

Horizontal	
Classificação Subjetiva	Valor
Excelente	≥ 48
Boa	25 – 47
Média	10 – 24
Ruim	< 10

Fonte: Sessions e Sessions (1992).

(desempenho operacional). O próximo passo foi obter a velocidade média do veículo escolar 2 C modelo Marcopolo Midi com potência de 190 cv em diferentes trechos.

O registro da velocidade foi realizado por meio de observações do velocímetro e consultas com os motoristas envolvidos. Nesse acompanhamento, cadastraram-se os pontos de embarque e desembarque (PED) utilizando um receptor GNSS (*Global Navigation Satellite System*) de navegação e, por fim, tomaram-se notas do tempo médio nas paradas (cerca de 3 minutos) e o custo do serviço terceirizado, valor fixo de R\$ 2,80 por quilômetro.

3.2 Estruturações do SIG

Para obtenção da malha viária, utilizou-se a vetorização da imagem do sensor Tailandês THEOS (*Thailand Earth Observation Satellite*), georreferenciada no *datum* WGS 84 e projeção UTM 22 S. A partir desta imagem, com resolução espacial de 2 metros, foi possível construir um mapa viário detalhado no programa ArcGIS v.10[©].

3.2.1 Criação do modelo Arco-Nó

O modelo Arco-Nó é caracterizado pelo conjunto de segmentos e pontos a partir de uma base de dados vetoriais. Para execução dessa tarefa, utilizou-se o recurso intersecção de linhas do aplicativo, que teve a função de quebrar os vetores em todas as intersecções, criando-se pontos nas intersecções (nós) e segmentos (arcos) que interligam os pontos.

As junções são compreendidas como marcos de referências na determinação das rotas, como escolas e PEDs. Aos arcos são atribuídos valores e grandezas relacionadas a custos, distância e tempo de viagem (MOURA et al., 2002). Nesse sentido, foram atribuídas

informações alfanuméricas a partir dos dados coletados (condições dos elementos geométricos; parâmetros de qualidade e velocidade média do veículo nas vias) e gerados na pesquisa (categorização das estradas, comprimento e tempo médio gasto nos trechos).

3.2.2 Conectividade

Após a criação do modelo, iniciou-se o processo de conectividade, possibilitando a interação entre a topologia e os bancos de dados. Desse modo, implantou-se as restrições que permeiam a rede como as conversões proibidas, impedâncias, unidades de medidas relativas ao comprimento do arco e o tempo necessário para percorrê-lo. Assim, foram criadas restrições por meio de avaliadores que impedem o fluxo nas linhas da rede como conversões em locais inadequados.

Para isso, criou-se um arquivo vetorial do tipo linha chamado Conversão Proibida e, conseqüentemente, editaram-se linhas sobrepostas aos vetores da rede, indicando o sentido proibido de conversão em trechos críticos como rotatórias e retornos da malha viária (Figura 2).

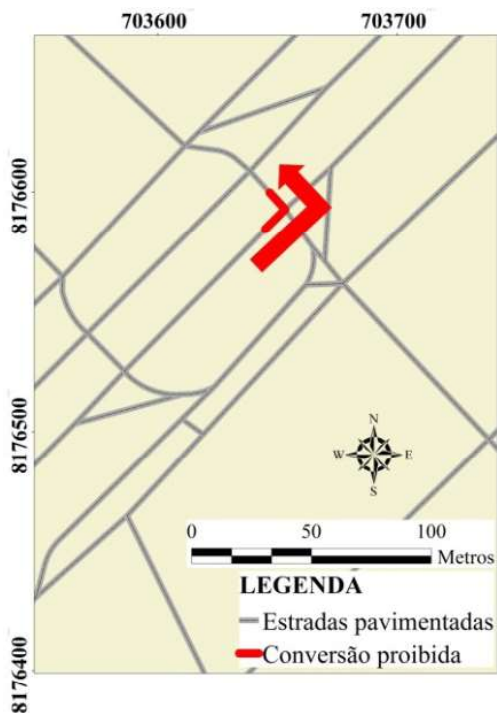


Fig. 2 – Exemplo de conversões proibidas.

No que concerne à impedância sentido da via, utilizou-se algumas avaliações de banco de

dados em relação ao sentido de fluxo, próprio do programa de SIG. Os *scripts* aplicados na ferramenta foram:

```
FT (From To);
restricted = False
Select Case UCase([Oneway])
Case "N", "TF", "T": restricted = True
End Select
```

```
TF (To From).
restricted = False
Select Case UCase([Oneway])
Case "N", "FT", "F": restricted = True
End Select.
```

Assim, determinou-se que os valores atribuídos como "FT" e "TF" indicam que o arco possui mão única. Nesse sentido, a escolha desses caracteres ocorreu de acordo com o sentido do arco (Figura 3), onde "FT" indica que é permitido percorrer no mesmo sentido do arco e "TF" caracteriza mão única de sentido contrário a do arco. Os arcos que são permitidos o fluxo nos dois sentidos foram representados por nenhuma letra, mas podem ser representados pela letra "N" conforme o *script*. O sentido desses arcos é proveniente da orientação em que os segmentos foram vetorizados.

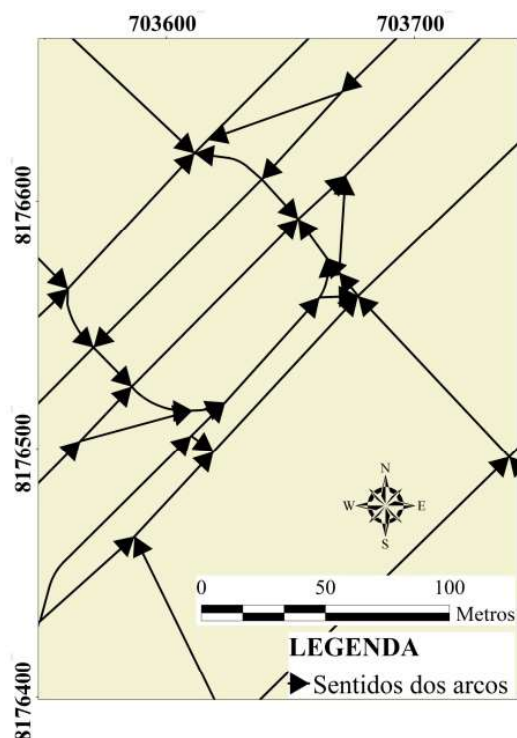


Fig. 3 – Sentido dos arcos nos segmentos.

3.2.3 Classificação da rede quanto à declividade

Para determinar a declividade média dos segmentos foram extraídos dados altimétricos da imagem do Projeto Topodata disponibilizada pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). A folha usada para classificação foi 15s495 (15°00'00" S e 49°30'00" W), compatíveis com a articulação 1:250.000. No entanto, é importante salientar que a utilização dessa imagem de resolução métrica (30 metros) não é a mais adequada para atribuição da declividade, mas devido a carência destes dados para o local utilizou-se essa fonte para subsidiar e consolidar o atributo da declividade.

Após a escolha da imagem em formato GeoTIFF, realizou-se a interpolação da rede e com os dados extraídos da imagem, o passo seguinte foi inserir as informações altimétricas na tabela de atributos. Com intuito de obter a declividade das estradas não pavimentadas, calcularam-se as distâncias horizontais referentes a cada trecho utilizando a calculadora de geometrias. De posse de atributos contendo elevações mínimas e máximas e o comprimento, determinou-se a declividade por meio da mesma calculadora aplicando a seguinte equação:

$$i \% = (\Delta h \div \Delta l) \times 100 \quad (2)$$

onde, “ Δh ” é a diferença de nível ou variação da altura entre os pontos; e “ Δl ” representa a distância horizontal ou comprimento entre esses pontos.

No que tange a classificação da malha viária quanto a declividade, utilizou-se a seguinte categorização (LOPES; MACHADO; SOUZA, 2002):

- Estrada com rampa inferior a 5% (relevo plano);
- Estrada com rampa entre 6 e 8% (relevo ondulado);
- Estrada com rampa entre 9 e 15% (relevo montanhoso).

Nesse sentido, criou-se o campo para atribuição dessa classificação denominado “CLASS_DEC” e utilizando a calculadora de campo, empregou-se o *script* seguinte:

```
If [Slope] < 6 Then [CLASS_DEC] = "Plano"
If [Slope] >= 6 and [Slope] < 9 Then [CLASS_DEC] = "Ondulado"
If [Slope] >= 9 Then [CLASS_DEC] = "Montanhoso"
```

Para fins de comparação com a declividade, foram geradas curvas de nível possibilitando análises na interface 2D. As curvas de nível foram interpoladas de 10 em 10 metros, a partir dos segmentos com dados altimétricos, pelo método de interpolação TIN (*Triangular Irregular Network*).

Referente à simbologia, adotou-se a representação do tipo semafórica. Sendo assim, para as declividades consideradas planas aplicou-se a cor verde, nas rampas de declive ondulado optou-se pela coloração amarela e as feições avermelhadas caracterizaram as inclinações montanhosas.

3.2.4 Classificação da rede quanto ao desempenho operacional

As observações *in loco* e o mapeamento digital permitiram o registro das feições que caracterizam os elementos geométricos, interrelacionando-os com o desempenho operacional nos trechos. Nesse sentido, foram estabelecidas as velocidades médias em função das condições das vias, possibilitando que a classificação das estradas fossem estratificadas em três categorias. Os dados de velocidades e distâncias dos segmentos foram de suma importância na determinação do atributo de tempo. Nesse campo, calculou-se o tempo em segundos usando-se a fórmula da velocidade no MRU (Movimento Retilíneo Uniforme):

$$t = d \div v \quad (3)$$

onde, “ d ” é a distância ou comprimento dos segmentos; e “ v ” representa a velocidade média desenvolvida nos segmentos.

.Na Tabela 2, são apresentadas as características da malha viária juntamente com a velocidade média desenvolvida, foram analisadas individualmente e classificadas semelhante ao modelo de classes de estradas

Tabela 2 - Categorias, classes e parâmetros de qualidade encontrados no estudo.

Categoria Estrada	Elementos Geométricos	Parâmetros de qualidade		Velocidade (km/h)
		Largura /	Superfície Pista Rolamento	
Primária	Bom	Pista dupla pavimentação asfáltica		70
	Médio	Pista simples pavimentação asfáltica		50
	Ruim	Pista simples pavimentação asfáltica		30
Secundária	Bom	Pista simples revestimento primário		40
Terciária	Médio	Pista simples sem revestimento primário		30
	Ruim	Pista simples sem revestimento primário		20

Fonte: Adaptado de Lopes, Machado e Souza (2012).

Após a alimentação do banco de dados, a rede foi categorizada de acordo com a Tabela 2. Para isso, criou-se o campo relacionado ao desempenho operacional chamado de “CLASS_DES” e desenvolveu-se o seguinte *script*:

```
If [Speed] = 50 Then [CLASS_DES] = "Primária"
If [Speed] = 40 Then [CLASS_DES] = "Secundária"
If [Speed] = 30 and [Speed] = 35 Then [CLASS_DES] = "Terciária"
```

Nos trechos como acessos e trevos, a velocidade considerada foi de 20 km/h. Para representação da classificação, escolheram-se a cor preta para a estrada primária, vermelha para a secundária e azul para vias terciárias.

3.3 Sistematizações dos cenários

As sistematizações dos cenários foram simulados em 6 cenários com o total de 12 roteirizações, pois para cada cenário foram determinadas as rotas considerando os critérios de menor distância e melhor desempenho operacional. A determinação da menor rota é obtida de maneira automática após serem selecionados os pontos das escolas e os PEDs florestais (LOPES; MACHADO; SOUZA, 2002).

Desse modo, o sistema apresentará o caminho mais curto entre a escola e os PEDs ou até mesmo entre os próprios PEDs, obtendo assim, o acumulativo dos trajetos entre os trechos desejados. Para a roteirização do desempenho operacional, além da escolha dos pontos de início

e fim, foram escolhidos os pontos intermediários (nós) localizados nos trechos que apresentam melhores infraestruturas como as estradas primárias e secundárias.

Em todas as simulações, determinou-se: a distância do percurso, a velocidade média do veículo, o tempo de viagem no percurso (ida e volta) e o tempo total de viagem (ida e volta e paradas). Considerou-se como “ida e volta”, o ato de buscar os estudantes nos PEDs e trazer para escola e, conseqüentemente, o fim da jornada de aula, quando os passageiros são transportados para os PEDs e o veículo é conduzido novamente sem passageiros para escola. Foram simulados cenários englobando custos e todos os dados foram submetidos ao teste t ($t < 0,05$) com intuito de analisar se esses critérios diferem estatisticamente, considerando as seguintes hipóteses:

$$\begin{cases} H_0 : \mu_1 = \mu_2 \\ H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \end{cases} \quad (4)$$

onde, na hipótese nula (H_0), os resultados obtidos no grupo do desempenho operacional são iguais aos resultados obtidos no grupo da menor distância. Na hipótese alternativa (H_1), essa condição rejeita a H_0 , apresentando diferença significativa entre os grupos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o modelo Arco-Nó, foram criadas as feições, distribuídas em 954 pontos e 1214 segmentos (Figura 4).

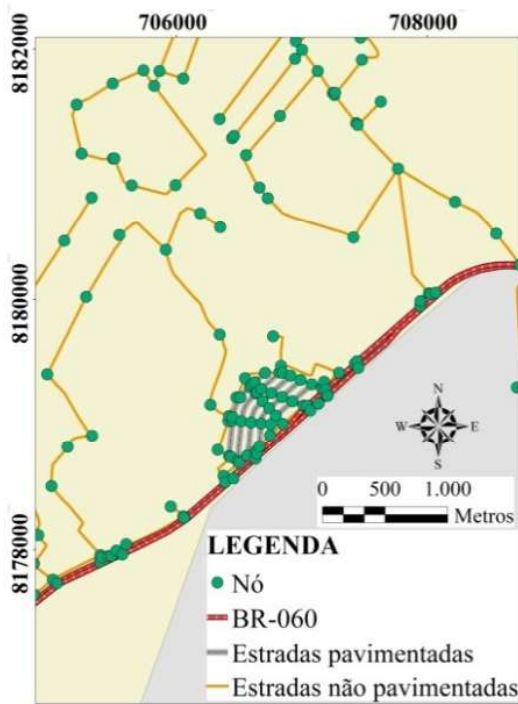


Fig. 4 – Modelo Arco-Nó aplicado na malha viária.

As restrições e as impedâncias inseridas por meio da conectividade possibilitaram que as rotas sejam obtidas respeitando o sentido real das vias (Figura 5).

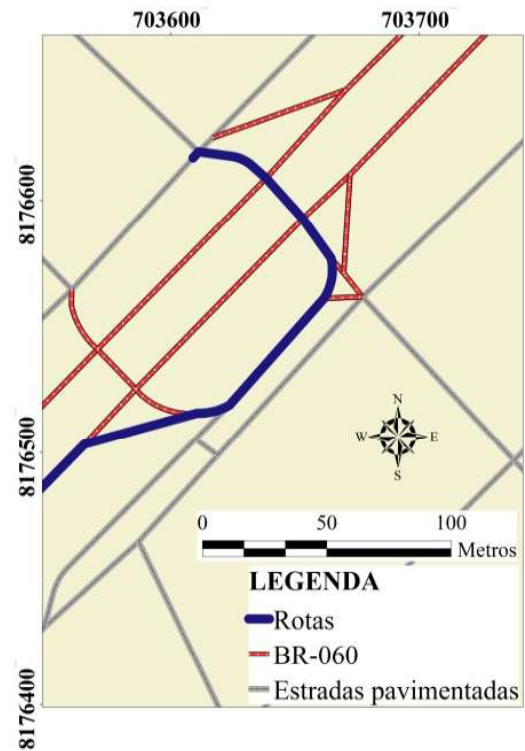


Fig. 5 – Rota respeitando o sentido da via.

As classificações das declividades subsidiaram a categorização das estradas em relação ao desempenho operacional (Figura 6). Observa-se que os segmentos de mesmo sentido das curvas de nível foram classificados como planos.

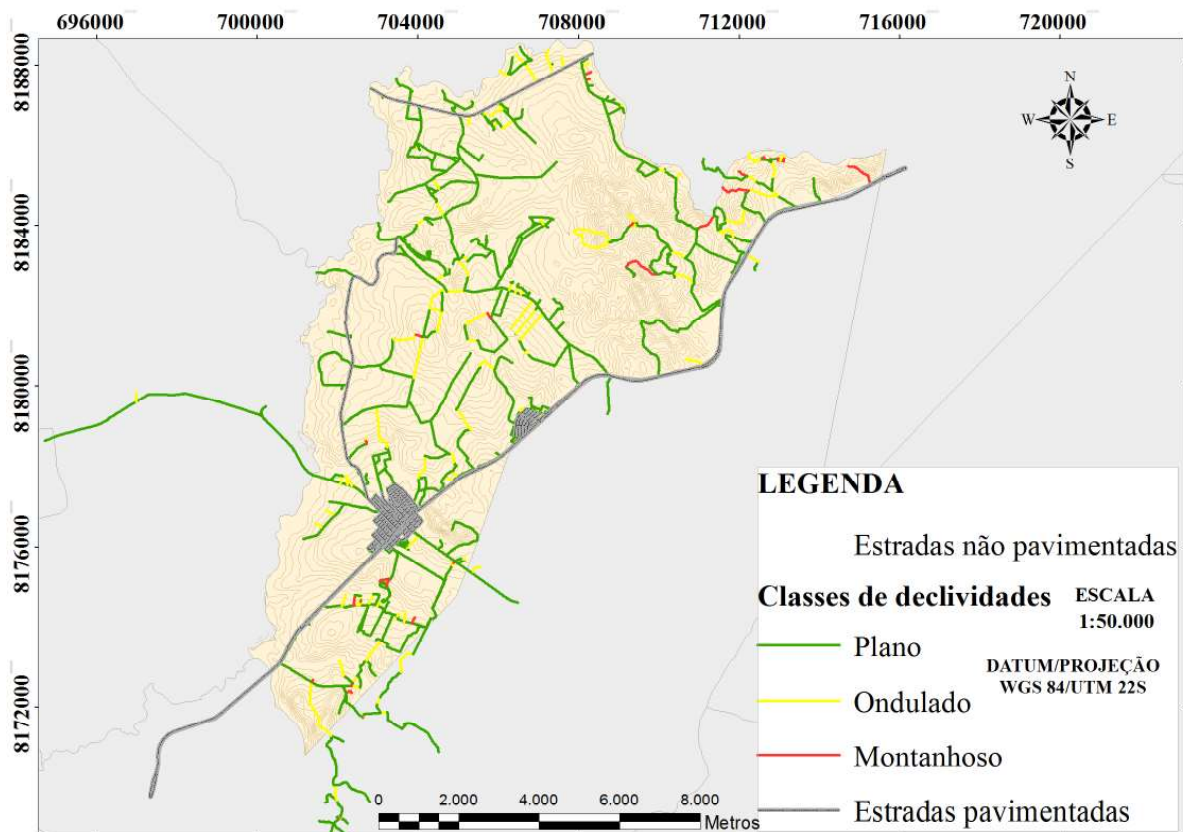


Fig. 6 – Classificação da rede quanto a declividade.

Aqueles que cortaram transversalmente as curvas de nível foram caracterizados com inclinações na faixa de ondulados para montanhosos.

Assim, a classificação semafórica permite que os gestores escolham percursos com inclinações mais suaves, de forma prática e rápida com o auxílio de interfaces 2D. Segundo Macedo (2014), rampas máximas superiores a 6% têm pouca influência em veículos de passeio, mas afetam bastante o movimento de veículos maiores.

Na Figura 7 é apresentada a rede viária categorizada de acordo com os parâmetros de

qualidade. Nota-se que o município apresenta, em sua maioria, estradas sem revestimento primário.

Para Baesso e Gonçalves (2003), as estradas não adequadas comprometem toda mobilidade de tráfego ocasionando problemas de cunho socioeconômico. A partir dessa categorização foi possível realizar as simulações das rotas escolares (figuras 8, 9 e 10). As rotas simuladas no lado direito de cada cenário e com cor roxa referem-se ao ao critério desempenho operacional, e as que constam no lado esquerdo e de cor marrom, caracterizam a opção pela menor distância.

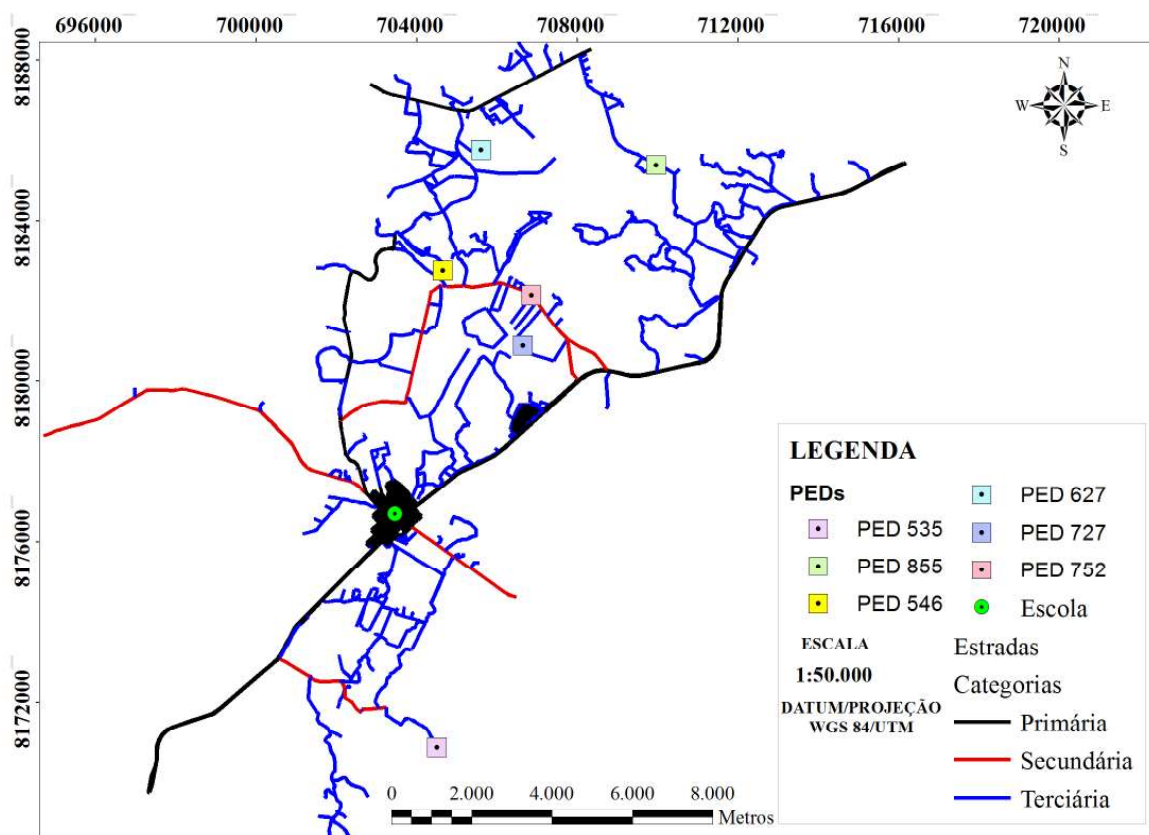


Fig. 7 – Classificação da rede quanto ao desempenho operacional.

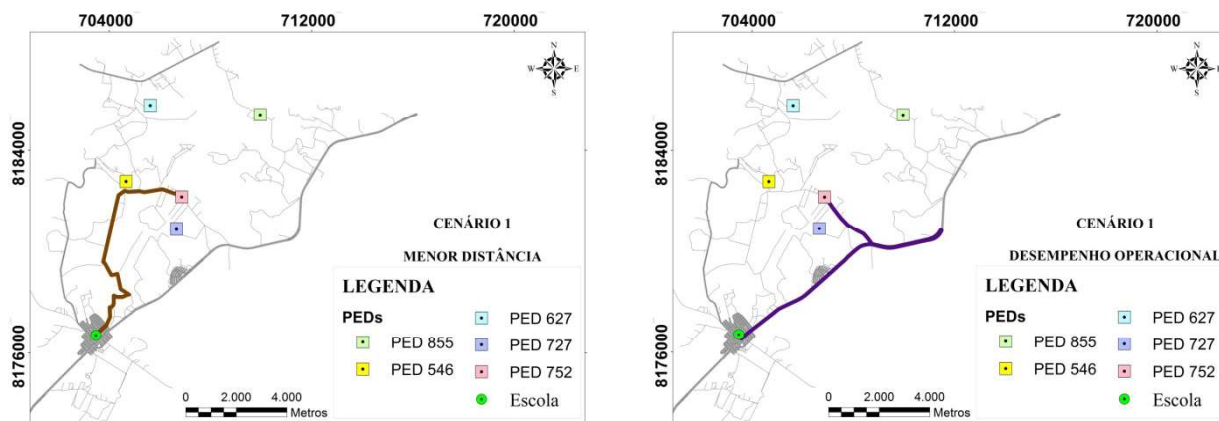


Fig. 8 – Sistematização do cenário 1.

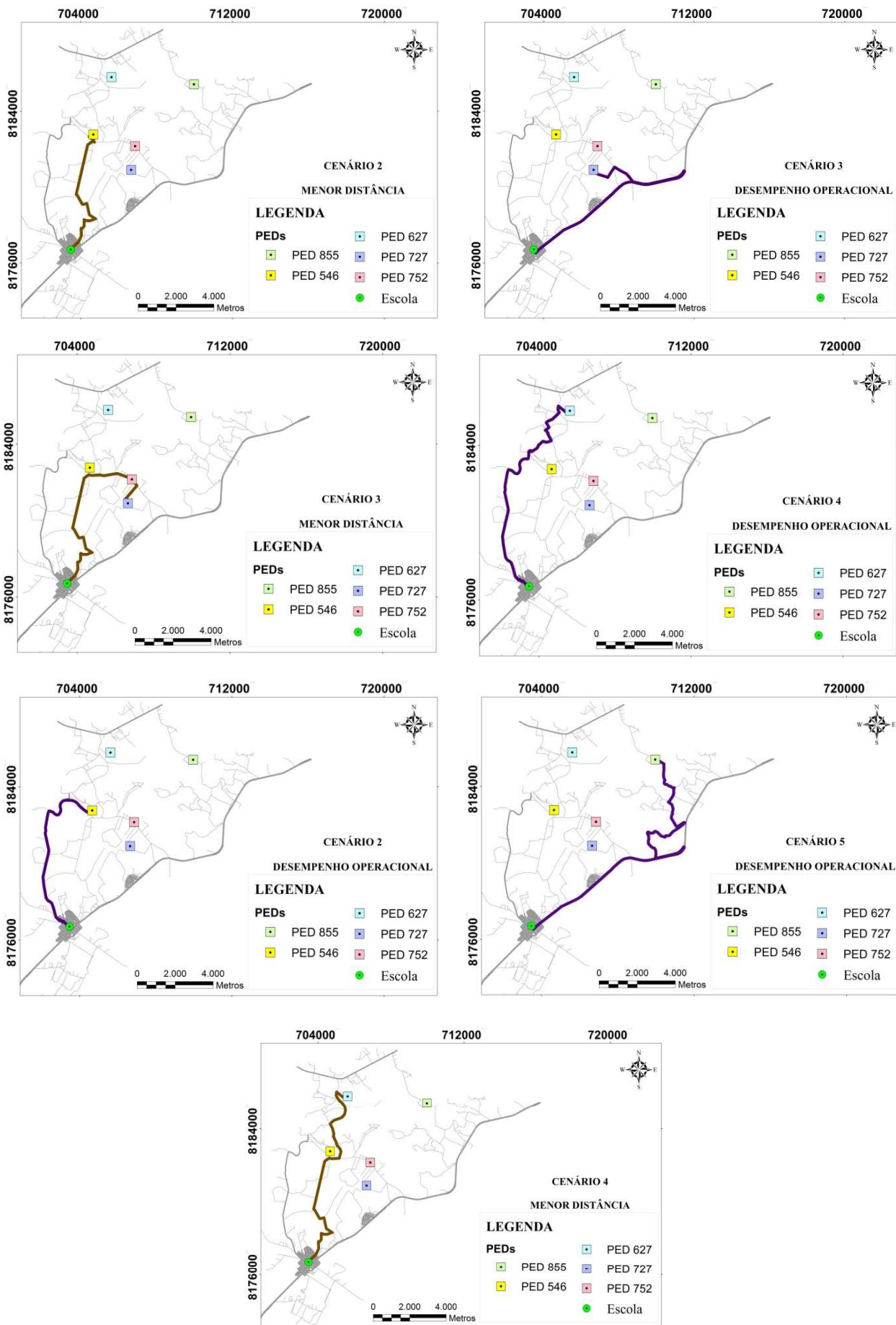


Fig. 9 – Sistematizações dos cenários 2, 3, 4 e 5.

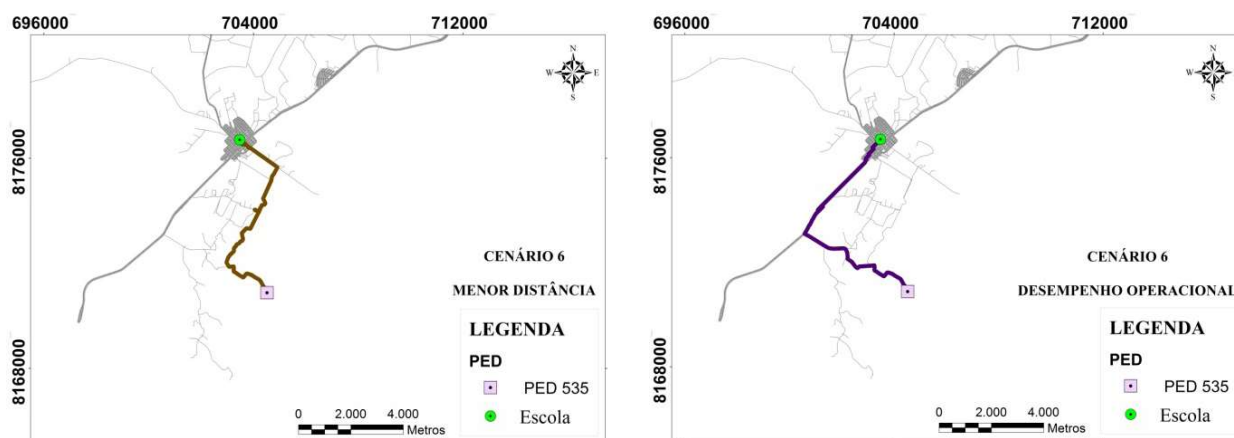


Fig. 10 – Sistematização do cenário 6.

Na Tabela 3, são apresentados os dados obtidos nas sistematizações referentes à distância do percurso, à velocidade média do veículo, ao tempo de viagem no percurso e ao tempo total de viagem.

Apesar dos trechos com melhores parâmetros de qualidade apresentar maiores distâncias, o tempo de viagem no percurso e o tempo total foram equivalentes às rotas de menor

caminho. Assim, essa compensação temporal foi assegurada pela maior velocidade nos percursos.

Tal fato pode ser explicado pela fórmula do MRU, em que quanto maior a velocidade, menor será o tempo no percurso, pois estas variáveis são inversamente proporcionais. Ainda comparando os critérios, os dados não diferiram significativamente pelo teste t ($t < 0,05$). Do

Tabela 3: Resultados de seis (6) cenários entre os PEDs e a escola

Simulação			Desempenho Operacional			
Rota	Pontos		Distância	Velocidade	Tempo médio	Tempo Total
	PED	Escola	(km)	média (km/h)	Viagem (min)	Viagem (min)
1	752	5	30,6	48,4	38,33	41,33
2	546	5	20,6	38,6	32,02	35,02
3	727	5	30,8	49,1	38,04	41,04
4	627	5	27,2	44,3	37,24	40,24
5	855	5	40,6	49,2	49,51	52,51
6	535	5	21,2	44,4	29,05	32,05
	Média		28,5	45,7	37,4	40,4
	Desvio Padrão		7,40	4,13	7,02	7,02
Simulação			Menor Distância			
Rota	Pontos		Distância	Velocidade	Tempo médio	Tempo Total
	PED	Escola	(km)	média (km/h)	Viagem (min)	Viagem (min)
1	752	5	19,4	35,2	33,07	36,07
2	546	5	16,4	37,2	26,45	29,45
3	727	5	22,6	47,7	28,43	31,43
4	627	5	26,4	41,6	38,08	41,08
5	855	5	40,2	47,2	51,10	54,10
6	535	5	18	41,6	26,36	29,36
	Média		23,83	41,75	34,31	37,31
	Desvio Padrão		8,77	5,07	9,55	9,55

Fonte: Elaborada pelos autores.

ponto de vista administrativo, o tempo é um elemento relevante, pois os gestores devem prezar pelo conforto dos passageiros, optando por rotas que demanda menor tempo. Nesse sentido, a gestão pública deve compreender que

nem sempre o maior caminho pode perdurar mais tempo. Em relação às observações de custo, são apresentados, na Tabela 4, os valores do frete em cada trajeto e o custo mensal, com desconto dos finais de semana (22 dias).

Tabela 4: Resultados de custos do TER nos seis (6) cenários

Simulação			Desempenho Operacional			
Rota	Pontos		Distância	Custo	Custo	Custo
	PED	Escola	(km)	(R\$/km)	(R\$/Viagem)	(R\$/Mês)
1	752	5	30,6	2,8	85,68	1884,96
2	546	5	20,6	2,8	57,68	1268,96
3	727	5	30,8	2,8	86,24	1897,28
4	627	5	27,2	2,8	76,16	1675,52
5	855	5	40,6	2,8	113,68	2500,96
6	535	5	21,2	2,8	59,36	1305,92
Média			28,5	-	79,80	1755,60
Desvio Padrão			7,4	-	20,71	455,59
Simulação			Menor Distância			
Rota	Pontos		Distância	Custo	Custo	Custo
	PED	Escola	(km)	(R\$/km)	(R\$/Viagem)	(R\$/Mês)
1	752	5	19,40	2,8	54,32	1195,04
2	546	5	16,40	2,8	45,92	1010,24
3	727	5	22,60	2,8	63,28	1392,16
4	627	5	26,40	2,8	73,92	1626,24
5	855	5	40,20	2,8	112,56	2476,32
6	535	5	18,00	2,8	50,40	1108,80
Média			23,83	-	66,73	1468,13
Desvio Padrão			8,77	-	24,57	540,48

Fonte: Elaborada pelos autores.

Os valores de custos observados na Tabela 4 não diferenciaram estatisticamente pelo teste t ($t < 0,05$). No entanto, analisando os dados individualmente, percebe-se no primeiro e no terceiro cenário que a diferença entre os custos foram respectivamente de R\$ 689,92 e R\$ 505,12, enquanto nos outros outros cenários a discrepância entre os valores foram mínimas, com média de R\$ 132,44.

Em se tratando de tomada de decisão, situações em que os critérios apresentaram resultados semelhantes, foram interessantes para que a gestão pública optasse em colocar sua frota nas rotas de melhor desempenho operacional, pois os custos variáveis podem ser reduzidos em até 20% pelo simples fato de trafegar em estradas melhores (SETCESP,

2014). Nesse sentido, segundo Silveira *et al.* (2004), o motor de um veículo de transporte ao trafegar em estradas de melhor qualidade, operando com rotações constantes, terá mais força disponível.

A respeito disso, alguns estudos da Volvo indicam que o consumo de combustível tem redução significativa pela simples condução do veículo de forma mais suave. Enfim, ao gerir esboços, como o primeiro caso, optou-se pelo pagamento do serviço terceirizado no trajeto de menor caminho devido à sua viabilidade considerável em relação ao outro critério. Na comparação entre os dados da Tabela 3 e a Tabela 5, observa-se diferenças métricas na distâncias percorridas, com variações entre 300 a 400 metros a mais nos valores validados.

Tabela 5: Validação nos seis (6) cenários em ambos os critérios

Simulação			Desempenho Operacional			
Rota	Pontos	Distância	Velocidade	Tempo médio	Tempo Total	
	PED	Escola	(km)	média (km/h)	Viagem (min)	Viagem (min)
1	752	5	31,1	48,4	38,55	41,55
2	546	5	20,9	38,6	32,49	35,49
3	727	5	31,3	49,1	38,25	41,25
4	627	5	27,6	44,3	37,38	40,38
5	855	5	41	49,2	50,00	53,00
6	535	5	21,4	44,4	29,32	32,32
Média			28,9	45,7	37,7	40,7
Desvio Padrão			7,47	4,13	7,07	7,07

Simulação			Menor Distância			
Rota	Pontos	Distância	Velocidade	Tempo médio	Tempo Total	
	PED	Escola	(km)	média (km/h)	Viagem (min)	Viagem (min)
1	752	5	19,7	35,2	33,58	36,58
2	546	5	16,8	37,2	27,10	30,10
3	727	5	22,9	47,7	29,21	32,21
4	627	5	26,8	41,6	39,05	42,05
5	855	5	40,6	47,2	52,01	55,01
6	535	5	18,3	41,6	26,39	29,39
Média			24,18	41,75	34,56	37,56
Desvio Padrão			8,80	5,07	9,76	9,76

Fonte: Elaborada pelos autores.

Essa discrepância é decorrente da resolução espacial métrica da imagem do sensor THEOS. Por outro lado, as velocidades médias mantiveram-se, pois as referências utilizadas foram as mesmas observadas no veículo.

Contudo, o tempo entre o valor simulado e o validado no critério da menor distância, oscilaram de 3 segundos (cenário 6) a 1 minuto e 31 segundos (cenário 5). Essas discrepâncias pode ser justificado devido a disparidade das distâncias, ao passo que as velocidades médias e o tempo médio de parada em cada cenário foram mantidos em ambos critérios. Nos cenários relacionados ao desempenho operacional, foram apresentados diferenças de tempos inferiores a 1 minuto, sendo a maior variação no cenário 2 com 47 segundos e a menor variação no cenário 5 com 9 segundos. Por fim, em ambos os critérios, os dados comparados não

apresentaram diferenças significativas pelo teste t ($t < 0,05$).

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, pode-se inferir que o SIG na gestão de rotas apoia a tomada de decisões práticas e eficientes, em períodos bem menores, se comparado ao método empírico executado pela gestão pública local.

Como os dados observados não diferiram significativamente pelo teste t ($t < 0,05$), conclui-se que os valores referentes às rotas de desempenho operacional são iguais às observações das rotas que apresentam a menor distância, ou seja, não rejeitou-se a hipótese nula. Portanto, nem sempre a menor distância é a melhor opção na determinação das rotas escolares rurais no município de Terezópolis de Goiás.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro oferecido aos projetos de pesquisa; ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Goiás (PPGA/UFG); à SEMARH - Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado de Goiás, pelo fornecimento dos dados geográficos do município e à Prefeitura Municipal de Terezópolis de Goiás pela parceria e apoio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGETOP. Agência Goiana de Transporte e Obras. **Sistema Rodoviário do Estado de Goiás**. Goiânia, AGETOP, 2012. 82p.

BAESSO, D. P.; GONÇALVES, F. L. R. **Estradas rurais, técnicas adequadas de manutenção**. Florianópolis, DER, 2003. 199p.

BIOMA BRASIL. **Relatório Final do Diagnóstico Socioambiental da Bacia do Ribeirão João Leite**. Goiânia, Bioma Brasil, Goiânia, 2012. 71p.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. Brazilian Logistics: A Time for Transition. São Carlos, **Gestão e Produção**, v. 4, n. 2, p. 130-139, Ago. 1997.

CARVALHO, W. L.; DA CRUZ, R. O.; CÂMARA, M. T.; DE ARAGÃO, J. J. G. Rural school transportation in emerging countries: The Brazilian case. **Research in transportation economics**. New York, 29.1 (2010): 401-409. 410p.

DA CRUZ, R. O. M.; CÂMARA, M. T.; DE ARAGÃO, J. J. G.; YAMASHITA, Y. Outsourcing rural school transportation: A Brazilian handbook for practice at the municipal level. **Research in transportation economics**. New York, 29.1 (2010): 312-318. 410p.

DA SILVA, T. O.; CARVALHO, C. A. B.; CALIURI, M. L. LIMA, D. C. Sistema de Informações Geográficas como suporte à gerência de manutenção de rodovias vicinais não pavimentadas. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 61, n. 3, p.58-65, Out. 2009.

GEIPOT - Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes. **Avaliação Preliminar do**

Transporte Rural: destaque para o Segmento Escolar. Brasília, Ministério dos Transportes. 1995. 185p.

IBGE. **Censo demográfico 2010**. Disponível em: <<http://ibge.gov.br/cidadesat/xtras/terezopolis-de-goias>> Acesso em: setembro 2014.

JACOBY, H. G. Access to Markets and the Benefits of Rural Roads: A Nonparametric Approach. **The World Bank**. Washington DC. 30p. 1998.

LOPES, E. S.; MACHADO, C. C.; SOUZA, A. P. Classificação e custos de estradas em florestas plantadas na região Sudeste do Brasil. **Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 329, Jun. 2002.

OLIVEIRA FILHO, P. C.; LOPES, E. S.; MAGRAF, W.; DISPERATI, A. A. Determinação da rota ótima de transporte com auxílio de um sistema de informação geográfica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 4, p. 403, Nov. 2005.

OLIVEIRA, J. F.; GRIEBELER, N. P.; GARVIL, R. A.; OLIVEIRA, J. M.; RABELO, M. O. Uso do software Estradas para determinação do espaçamento entre desaguadouros em estradas não pavimentadas no interior de Goiás. **Ceres**, Viçosa, v. 58, n.1, p.17-22, Jan/Fev. 2011.

MACEDO, E. L. **Topografia Geral. Projeto em perfil, projeto vertical ou greide de uma estrada de rodagem**. Disponível em: <http://www.topografiageral.com>> Acesso: agosto 2014.

MACHADO, C. C. **Conservação e construção de estradas rurais e florestais**. 1. ed. Viçosa: SIF. 2013. 441p.

MOURA, M. C.; RIBEIRO, C. A. A. S.; TIBIRIÇÁ, A. C. G.; SOARES, V. P. Criação de rede e base de dados do sistema viário de Viçosa – MG, utilizando SIG. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 54, n. 1, p.58-65, Dez. 2002.

MOREIRA, F. E. B. (2003). **Um modelo de Avaliação da Evolução Geométrica das Patologias em vias não pavimentadas**: aplicação ao caso do município de Aquirraz-Ce. 2003, 176 f. Dissertação (Mestrado) Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes,

Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2003.

SANEAGO, 2012. **As obras do Sistema que vai abastecer moradores da Grande Goiânia até o ano de 2040 serão visitadas pelo governador Marconi Perillo nesta sexta-feira.** Disponível em: <<http://www.saneago.com.br/>>. Acesso em: 3 junho 2014.

SESSIONS, J.; SESSIONS, J. B. **Scheduling and networkanalysis program: user's guide.** Seattle: University of Washington, 1992. 610 p.

SETCESP, 2014. **Estradas ruins multiplicam gastos com transporte rodoviário.** Disponível em: <<http://www.setcesp.org.br>> Acesso em: setembro 2014.

SILVEIRA, G. L.; MACHADO, C. C.; SOUZA, A. P.; LEITE, H. G.; SANTOS, H. N.; FERNANDES, D. C. M. Avaliação de consumo de combustível do Tritrem no transporte de madeira. *Árvore*, Viçosa-MG, v. 28, n. 1, p. 99-106, Jan/Fev. 2004.