

Análises sobre Rede Viária construída em Superfície Real e Superfície Planimétrica

Darlan Miranda Nunes^{1,3}
Manoel do Couto Fernandes²
Rafael Silva de Barros²
Daniely Camargos Lucarelli¹
Juliane Christine Silveira³

¹ Universidade Federal de Viçosa - UFV
Av. Peter Henry Rolfs, s/n - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
CEP: 36570-000 - Campus Universitário - Viçosa - MG, Brasil
{darlan.nunes, daniely.lucarelli}@ufv.br

² Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ
Av. Athos da Silveira Ramos, 274 - Departamento de Geografia
CEP: 21941-916 - Cidade Universitária - Rio de Janeiro - RJ, Brasil
{manoel.fernandes, rafael.barros}@ufrj.br

³ Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE
Av. Brasil, 15671 - DGC / Coordenação de Cartografia
CEP: 21241-051 - Parada de Lucas - Rio de Janeiro - RJ, Brasil
{darlan.nunes, juliane.silveira}@ibge.gov.br

Abstract. Some analyses performed in geoprocessing require consideration concerning the dimensionality of data and information. As example, three-dimensional (3D) data require to be worked in Modeled or Real Surface, with the necessary assessments of relief and not just using Planimetric Surface, such as observations using a topography map, etc. In this sense, this work aims to study the implications of a road network analysis, more specifically in determining the optimal routes and service areas, considering these different types of surface (Real and Planimetric) adopted as reference. Using a road network modeled for the urban area of the city of Viçosa, Minas Gerais State, were simulated hypothetical situations in order to find the optimal route (between two points) and service areas (from a specific location), taking the distances obtained from Real and Planimetric Surface as weight associated to the edges of the road network. Through the results obtained, we found significant differences in the analysis carried out according to the type of surface considered. For optimal route, was obtained a discrepancy about 10% (0.5 km) to the total length of the route using Real Surface in relation to Planimetric Surface. For service areas, it has been found that the greater abrangency, from the specified location, were for Planimetric Surface, since these distance restrictions adopted are smaller than the Real one. With this work, it was possible to demonstrate the relevance of Real Surface in analyses that requires relief considerations.

Palavras-chave: geoprocessing, GIS, data, dimensionality, geoprocessamento, SIG, dados, dimensionalidade.

1. Introdução

Os avanços tecnológicos, desde metade do século XX, com destaque para a área de informática, propiciaram que as diversas informações geográficas pudessem ser armazenadas, modeladas, representadas, e analisadas computacionalmente. Com isso, possibilitou-se o surgimento do geoprocessamento. Aninhado a esta área do conhecimento, destaca-se o potencial dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), capazes de efetuarem análises diversas ao associar dados de várias fontes e ao preparar banco de dados georreferenciados (CÂMARA et al., 2001).

Intrínseco a utilização do geoprocessamento, tem-se o processo de elaboração de modelos conceituais para representam os elementos do mundo real. Cita-se como exemplo, as vias de transporte, que podem ser modeladas segundo o conceito de rede, onde cada objeto geográfico

(ex.: vias) possui localização geográfica específica e está sempre associado a atributos descritivos presente em um banco de dados (ex.: sentido dos fluxos).

Conforme destacado por Fernandes e Meneses (2005), um dos questionamentos no processo de elaboração de modelos conceituais da realidade, refere-se a não consideração da dimensionalidade dos dados e informações a serem trabalhados. Neste caso, citam-se os dados 3D, que quando não avaliados como observações em superfície dotada de relevo (referidas como Superfície Real (SR) ou ainda Superfície Modelada), são passíveis problemas nos resultados obtidos.

Segundo Fernandes (2004), os elementos e análises que requerem considerações da irregularidade do espaço, quando trabalhados em SIG sobre Superfície Planimétrica (SP), ou seja, a superfície projetada mediante determinada projeção cartográfica, e não em superfície real, podem mascarar os resultados, principalmente em áreas de relevo acidentado, ocasionando mensurações de áreas e distâncias subestimadas.

Com a possibilidade de representação digital das variações contínuas do relevo no espaço mediante os Modelos Digitais de Elevação (MDE) (BURROUGH, 1986), tornou-se possível trabalhar com observações em superfície real. Assim, permitindo considerar as nuances do relevo nas diversas análises conduzidas em ambiente SIG, especialmente em regiões topograficamente mais acidentadas, onde as influências sobre as observações são mais significativas. Destacam-se, dentre outras aplicações dos MDE, o cálculo de áreas e distâncias em superfície real, foco deste trabalho.

Na modelagem de redes viárias em SIG, as distâncias associadas aos trechos (segmentos lineares) da rede, frequentemente são determinadas em uma superfície projetada. Contudo, com o auxílio dos MDE, estas distâncias também podem ser apuradas em superfície real, neste caso, as distâncias são aproximadas ao que se encontra no mundo real, uma vez que a topografia do terreno (modelada mediante as técnicas de interpolação) é considerada no cálculo das mesmas. Conseqüentemente, as variáveis velocidade e tempo, bem como as análises conduzidas sobre a rede viária, serão influenciadas pela maneira com que as distâncias associadas aos arcos da rede foram obtidas (em superfície planimétrica ou real).

Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo verificar as implicações resultantes nas análises de rota ótima e áreas de serviço realizadas sobre uma rede viária construída em superfície planimétrica/projetada e superfície real/modelada.

2. Materiais e Métodos

Este trabalho foi desenvolvido no município de Viçosa/MG, mais especificamente na área urbanizada do município devido à concentração e disponibilidade de dados referentes ao sistema viário (eixos de logradouros).

Para o desenvolvimento das diferentes etapas do trabalho foram utilizados os seguintes materiais:

- Dados cartográficos (escala 1:50.000) do município de Viçosa/MG referentes a curvas de nível com equidistância vertical de 20 metros, pontos cotados e hidrografia obtidas do mapeamento sistemático brasileiro obtidos no sítio do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); e
- Dados cartográficos provenientes do Projeto Viçosa Digital, parceria público privada entre o Sistema Autônomo de Água e Esgoto do município (SAAE) e a empresa Iplanus Engenharia, relativos aos eixos de logradouros do município de Viçosa na escala 1:50.000. Os dados foram obtidos junto ao Departamento de Engenharia Civil da UFV.
- A preparação da base de dados e às análises foram geradas no *software* ArcGIS 10.2, em especial utilizando os módulos *3D Analyst*, *Network Analyst* e *Spatial Analyst*.

Os principais procedimentos realizados no trabalho são resumidos no fluxograma da Figura 1.

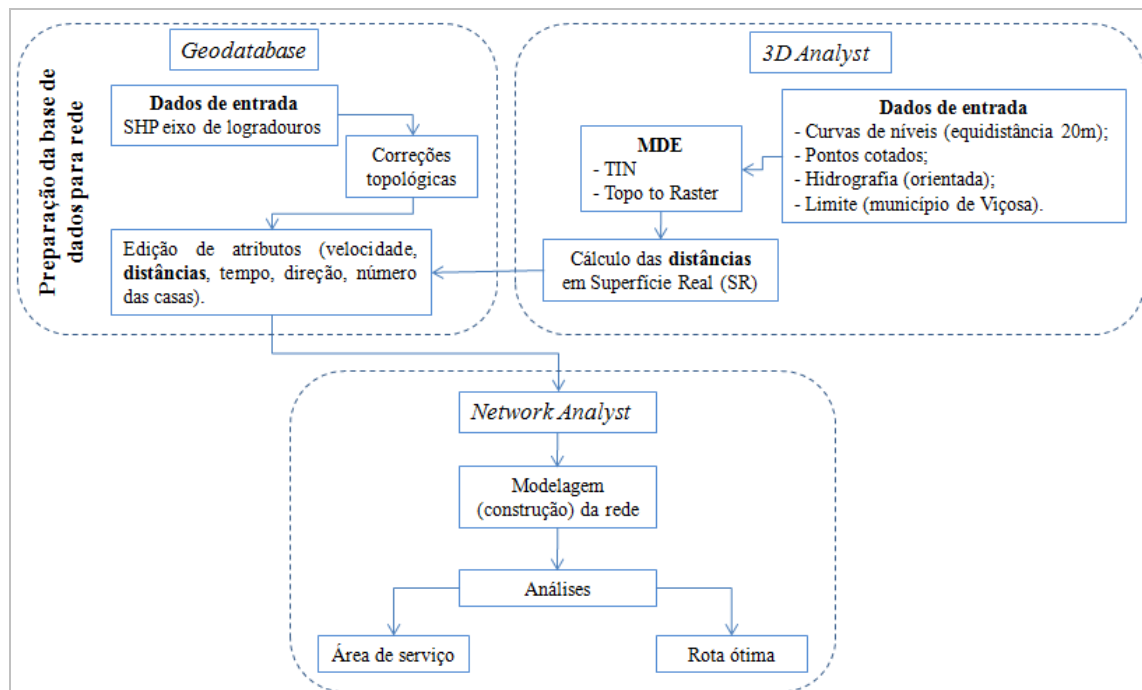


Figura 1. Fluxograma dos principais procedimentos desenvolvidos no trabalho.

Conforme ilustrado no fluxograma anterior, as várias etapas realizadas no desenvolvimento deste trabalho foram agrupadas em três categorias, quais sejam: preparação da base de dados para geração da estrutura da rede viária, determinação (cálculo) das distâncias em superfície real a serem associadas aos segmentos dos eixos de logradouros da base de dados que irão compor a rede, modelagem (construção) da rede em si e realização das análises almeçadas sobre a rede viária.

Em um primeiro momento foi necessário preparar a base de dados para geração da estrutura da rede. Visto que as análises a serem conduzidas estarão atreladas as distâncias, toda a base de dados foi manipulada em um sistema de projeção equidistante, o qual tem por característica preservar as distâncias. Para este trabalho utilizou-se a Projeção Cônica Equidistante para a América do Sul, porém com parâmetros modificados a fim de adequar-se a área de trabalho, isto é, foram modificados os Paralelos Padrões 1 e 2 (PP1 e PP2) e Meridiano Central (MC) ao município de Viçosa. Ressalta-se também, que a base de dados foi compatibilizada ao sistema de referência oficial brasileiro, datum SIRGAS 2000.

A fim de garantir a consistência da rede e viabilizar este trabalho, sobre os dados referentes aos eixos de logradouros procederam-se correções topológicas. Assim inconsistências encontradas nos segmentos lineares que representam os eixos das vias foram eliminados mediante a implementação / aplicação de regras topológicas com restrições do tipo, um mesmo segmento de via não pode auto sobrepor-se, sobrepor em sua totalidade outra via da mesma classe, todos os segmentos de linha se tocam em apenas seus nós e não deve ocorrer mutilinhas (ou seja, os segmentos de linha devem ser partes simples).

Garantida a consistência dos segmentos (arcos) referentes aos eixos de logradouros, fez-se a configuração dos atributos velocidade permitida na via, tempo de viagem, distância do trecho da via, sentido de fluxo da via e número das residências, os quais permitiram modelar a rede. Para tanto, estes atributos foram povoados com algumas aproximações a fim de facilitar a construção da rede, sendo as velocidades associadas aos logradouros do centro da cidade de

40 km/h e para os de periferia 30 km/h, o sentido das vias como sendo de mão dupla e numeração das residências continua à direita e à esquerda da via. O tempo de viagem foi obtido da razão distância/velocidade e as distâncias foram calculadas em superfície planimétrica (uma vez que os eixos de logradouros estão projetados mediante projeção cônica equidistante) e também determinadas em superfície real com o auxílio de MDE, conforme descrito será descrito abaixo.

Ressalta-se que a construção de uma rede viária, deve ser detalhada e os atributos devem ser preenchidos para cada trecho, pois cada logradouro tem suas particularidades. Um mesmo logradouro pode ter velocidades de tráfego diferentes. A velocidade pode mudar dependendo do momento ou do horário. Condições das vias, como pavimentação, largura, declividade, número de curvas, etc. podem interferir completamente na configuração da rede. Porém por ser um processo moroso e complexo, para atingir os objetivos almejados neste trabalho foi suficiente modelar uma rede com simplificações.

Para determinar as distâncias em superfície real utilizou-se do módulo *3D Analyst* do software ArcGIS. Em primeira instância, foram construídos MDE utilizando os interpoladores *TIN* e *Topo to Raster*, ambos com grades de 10 m, baseados nos seguintes dados de entrada: curvas de nível com equidistância de 20 m, pontos cotados e hidrografia (as linhas de hidrografia foram orientadas no sentido de fluxo das águas, ou seja, de nascente para foz). Ainda utilizando este módulo, foi possível calcular as distâncias em superfície real a partir de cada MDE elaborado, em outras palavras, foram calculadas as distâncias dos trechos das vias a partir dos MDE resultante de cada um dos interpoladores. Assim, obteve-se o atributo distância para cada trecho de via referente aos logradouros de Viçosa.

Uma vez realizadas as correções topológicas e o preenchimento de atributos para o eixo de logradouros, foi possível construir a rede viária em si, para tanto utilizando o módulo *Network Analyst*.

Sobre a rede recém construída foram realizadas análises de rota ótima (p. ex.: determinar o melhor caminho do ponto A ao ponto B, considerando como peso as distâncias associadas aos arcos da rede) e área de serviço (p. ex.: a partir de um ponto A e raio X, determinar a área de serviço a ser atendida, tomando as distâncias como pesos). Para o caso da análise de rota ótima, foram inseridas barreiras de modo a condicionar a rota pelas mesmas vias e assim possibilitar realizar as comparações considerando as diferentes superfícies. Dessa forma, foi possível averiguar as implicações ao se considerar distâncias determinadas em superfície planimétrica e real sobre a rede viária.

3. Resultados e Discussão

A fim de verificar as implicações do tipo de superfície sobre análises de rota, foi construída uma primeira situação hipotética para determinar o melhor trajeto (rota ótima) de um ponto de partida qualquer, denominado 1, com destino em outro ponto qualquer da cidade, denominado 2. Estes pontos de origem e destino foram posicionados de modo que o trajeto a ser determinado pudesse contemplar as áreas de relevo mais acidentadas da cidade, assim permitindo enfatizar diferenças entre as rotas para cada tipo de superfície considerada.

Os resultados obtidos nas análises para determinação de rota ótima, considerando as distâncias calculadas em SP, SR (*TIN*) e SR (*Topo to Raster*) como os pesos associados aos arcos da rede, são apresentados nas Figuras 2 e Tabelas 1 e 2.

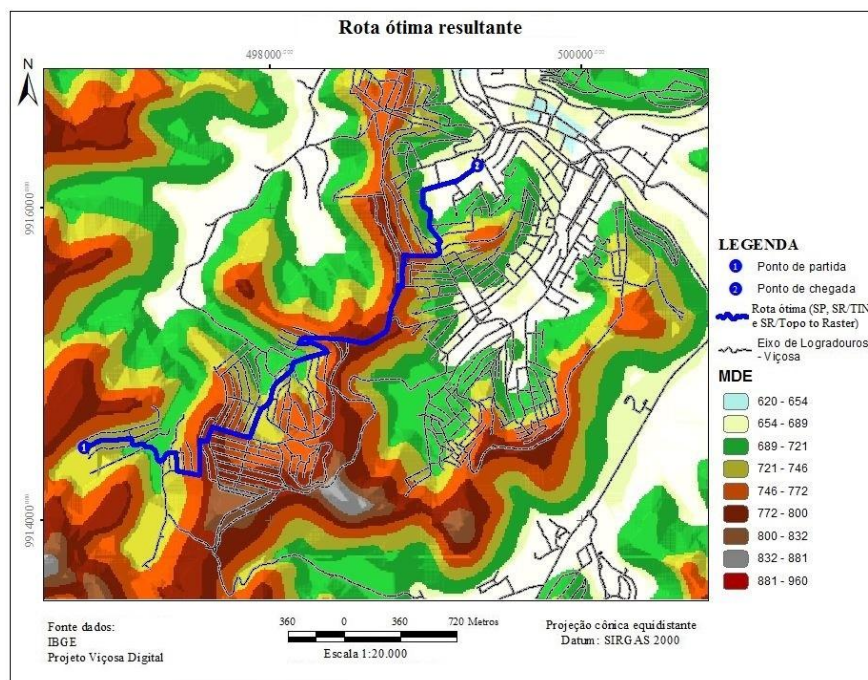


Figura 2. Mapa da rota ótima resultante considerando as distâncias como peso e calculadas nas diferentes superfícies (SP e SR/TIN e SR/Topo to Raster).

Se determinado logradouro da rede tem peso (distância) menor, logo este é o caminho preferencial ao traçar a melhor rota (caminho mais curto). A não verificação de três rotas ótimas distintas, ou seja, uma rota diferente para cada tipo de distância utilizada como peso (distâncias calculadas em SP, SR/TIN e SR/Topo to Raster), é devido ao fato de se ter gerado uma rota ótima considerando a SP e posteriormente condicionado as demais (inserindo barreiras) a um único trajeto, a fim de possibilitar as comparações.

Nas Tabelas 1 e 2, são apresentados as distâncias obtidas por tipo de superfície para a rota ótima determinada e as diferenças, respectivamente. Salienta-se que as distâncias apresentadas são para todo o trajeto do ponto de origem ao destino.

Tabela 1. Distâncias e tempos por tipo de superfície para a rota ótima determinada.

Tipo de superfície	Variável	
	dist. (km)	~ t (min.)
Planimétrica (SP)	4,944	10
Real (SR/TIN)	5,520	14
Real (SR/Topo to Raster)	5,475	13

Tabela 2. Diferenças absolutas e relativas das distâncias para a rota ótima obtida por tipo de superfície.

Tipo de superfície	Diferenças distâncias	
	Absoluta (km)	Relativa (%)
SR (TIN) – SP	0,576	10,43
SR (Topo to Raster) – SP	0,531	9,69
SR (TIN – Topo to Raster)	0,045	0,82

Verifica-se pela análise das tabelas anteriores, que as distâncias para a rota ótima quando determinadas sobre superfície real foi em média 10% (0,5 km) superiores as distâncias calculada em superfície planimétrica. Nota-se, que a diferença entre as distâncias da rota ótima em superfície real para os interpoladores *TIN* e *Topo to Raster* não atingiu 1%. No entanto, observa-se que quando utilizado o MDE resultante da interpolação por *TIN* os valores calculados para as distâncias são superiores as mesmas obtidos através do MDE por *Topo to Raster*.

Do mesmo modo que na análise de rota ótima, para averiguar as implicações das considerações do tipo de superfície em análises de áreas de serviço sobre a rede viária, foi simulada uma segunda situação hipotética. Neste caso, foi imposto um ponto sobre determinado local da rede, este ponto pode ser representativo de algum comércio que realiza entregas em domicílio (p. ex.: farmácia), e a partir deste ponto, em um raio de busca de 1 km (1000 m) almeja-se verificar a região atendida. O resultado obtido para a análise de área de serviço é apresentado na Figura 3.

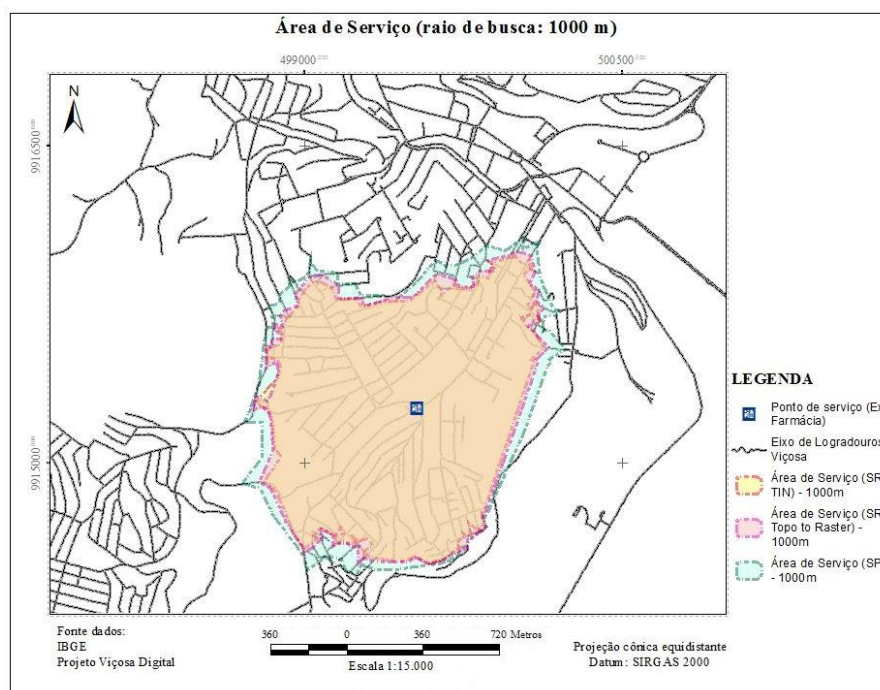


Figura 3. Mapa ilustrando o resultado obtido da análise de área de serviço para um raio de busca de 1 km a partir do ponto de serviço representativo de uma farmácia.

O raio de busca tem um comportamento similar a análise de proximidade através da ferramenta *buffer* de superfície (ou *buffer 3D*), contudo em análise de rede viária o raio de busca percorre a extensão requerida ao logo das vias que compõem a rede, ao invés de gerar um raio simétrico. Neste caso, também foi adotado como peso as distâncias associadas aos arcos da rede, embora pudesse ser outra variável, como por exemplo, o tempo.

Analisando o mapa da Figura 4, fica evidente que o alcance das áreas de serviços obtidas em superfície real, tanto utilizando *TIN* quanto *Topo to Raster*, é inferior ao alcance da área de serviço obtida em superfície planimétrica. Isto se justifica pelo fato das distâncias em superfície real serem maiores do que em superfície plana.

Nota-se também, que as áreas de serviço resultantes tendem a serem mais alongadas na direção dos locais mais planos da cidade (comparar Figuras 2 e 3), pois conseqüentemente as distâncias (peso) dos eixos de logradouros localizados nessas regiões são menores do que nas vias situadas nas regiões de relevo mais acidentado, portanto menor é resistência destes.

Os valores em termos de extensão total das vias presentes em cada área de serviço em função do tipo de superfície que a gerou e as diferenças são apresentados nas Tabelas 3 e 4, respectivamente.

Tabela 3. Extensão total das vias contidas nas áreas de serviços por tipo de superfície.

Tipo de superfície	Extensão total das vias contidas nas áreas de serviço (km)
Planimétrica (SP)	27,124
Real (SR/ <i>TIN</i>)	23,472
Real (SR/ <i>Topo to Raster</i>)	24, 800

Tabela 4. Diferenças absolutas e relativas de extensão total das vias contidas nas áreas de serviços por tipo de superfície.

Tipo de superfície	Diferenças de extensão total das vias contidas nas áreas de serviço	
	Absoluta (km)	Relativa (%)
SP - SR (<i>TIN</i>)	3,652	13,46
SP - SR (<i>Topo to Raster</i>)	2,324	8,57
SR (<i>Topo to Raster</i> – <i>TIN</i>)	1,328	5,36

Os valores apresentados nas tabelas anteriores, referentes à extensão total das vias contidas em cada área de serviço, elucidam as implicações do tipo de superfície neste tipo de análise. É evidenciado um maior número de vias abrangidas (e conseqüentemente maior extensão total das vias) pela área de serviço em superfície planimétrica em relação a superfícies reais, pois nesta obteve-se o área de alcance maior.

De modo geral, por meio das análises realizadas sobre a rede viária construída, foi possível notar, para a análise de rotas ótimas, que as observações (distância e tempo) em superfície real com o auxílio do MDE gerado por interpolação *TIN* são superiores aos obtidos quando utilizado o MDE resultante do *Topo to Raster*, e que ambos são superiores as observações conduzidas sobre a superfície planimétrica. Processo inverso ocorreu na determinação das áreas de serviço, devido ao fato das próprias distâncias serem os pesos associados aos arcos da rede. Tais análises realizadas permitiram demonstrar as implicações das irregularidades do terreno e a importância de considerá-las na modelagem de rede viárias em ambientes SIG.

É relevante ressaltar que na construção dos MDE foram utilizadas curvas com equidistância de 20 m, as quais propiciaram a realização deste trabalho, embora não sejam as mais adequadas para análises que exigem grandes níveis de detalhes do terreno. Nesse caso, é necessário o emprego de outras fontes de dados altimétricos, que possibilitem maior nível de detalhamento do terreno e a obtenção de resultados mais precisos.

4. Conclusões

O desenvolvimento deste trabalho permitiu demonstrar através de aplicações práticas de análises sobre rede viária, as implicações de se considerar observações em superfície planimétrica e superfície real.

Diante dos resultados obtidos, foi possível constatar que as análises conduzidas sobre superfície real apresentam diferenças significativas em relação às mesmas realizadas em

superfície planimétrica, fato este decorrente das considerações de irregularidade do relevo modelado com o auxílio dos modelos digitais de elevação.

Na determinação de rota ótima (melhor caminho), é notável a diferença em termos de distância percorrida no trajeto, atingindo cerca de 10% a diferença entre superfície real e planimétrica, o que representa aproximadamente 0,5 km. As distâncias associadas aos arcos da rede como peso, apresentam em superfície plana valores inferiores as mesmas calculadas em superfície real. Para este último caso, as distâncias determinadas foram superiores utilizando o MDE obtido através de interpolação por *TIN* em relação aquele elaborado por meio do interpolador *Topo to Raster*.

Quanto às análises de áreas de serviço resultantes para o mesmo raio de busca, fica evidente os efeitos do tipo de superfície adotada. Para o caso da superfície plana, ao gerar a área de serviço o alcance foi maior, ao contrário do ocorrido quando utilizado superfície real, pois conforme já verificado, na primeira (SP) as distâncias são menores, logo a resistência ao raio de busca é menor e consequentemente a área de serviço é mais abrangente. Em termos numéricos, a extensão total das vias abrangidas pela área de serviço utilizando superfície planimétrica é em média 11% maior que os logradouros contidos nas áreas de serviço determinadas em superfície real.

Por meio deste trabalho, foi possível elucidar a relevância de se realizar análises de redes viárias considerando o relevo por meio da superfície real (modelada), se adequando a dimensionalidade dos dados e assim refinando as observações outrora realizadas somente em superfície planimétrica nos ambientes SIG.

Bibliografias

Burrough, P. A. **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment**. Monographs on Soil and Resources Survey, nº 12, New York: Oxford University Press, 1986, 193 p.

Câmara, G.; Davis, C.; Monteiro, A. M. V. (org). **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos, SP, INPE, 2001. Disponível em: < <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/index.html> >. Acesso em: 12.nov. 2015.

Fernandes, M. C.; Menezes, P. M. L. Avaliação de métodos de geração de MDE para a obtenção de observações em superfície real: um estudo de caso no maciço da Tijuca - RJ. **Revista Brasileira de Cartografia**. Rio de Janeiro, 57(02): 154 - 161, 2005.

Fernandes, M. C.; Menezes, P. M. L.; Avelar, A. S.; Coelho Netto, A. L. Avaliação do uso de observações em superfície real para análise geomorfológica de índice de eficiência de drenagem: um estudo de caso no maciço da Tijuca - RJ. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14., 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 3745 - 3752. 1 DVD.

Fernandes, M. C. **Desenvolvimento de Rotina de Obtenção de Observações em Superfície Real: Uma Aplicação em Análises Geoecológicas**. 2004. 263 p. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro - RJ263 p. 2004.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/home/> >. Acesso em: 25.out.2015.

Vieira, C. S.; Silva, R. R.; Fernandes, M. C.; Menezes, P. M. L. Análise da Relação entre Superfície Real e Superfície Planimétrica de Variáveis em Favelas no Maciço da Tijuca/RJ. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 3., 2010, Recife, PE. **Anais...**Recife: UFPE, 2010. p. 001 - 006.

Duarte, G. S.; Lucas, G. M. F.; Coura, P. H. F.; Fernandes, M. C.; Silva, R. R.. Análise da diferença entre superfície real e superfície planimétrica nos fragmentos florestais no Estado do Rio de Janeiro. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 16., 2013, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. p. 6588 - 6595. 1 DVD.