

GERAÇÃO DE UM MDT A PARTIR DE UM SISTEMA DE MAPEAMENTO MÓVEL TERRESTRE PARA FINS DE PLANEJAMENTO URBANO

Generation of a DTM from a Terrestrial Mobile Mapping System for Urban Planning Purposes

Leônidas Rodrigues Mendonça

Universidade Federal de Uberlândia – Campus Monte Carmelo

Instituto de Geografia

Rodovia LMG 746 km 1 s/n – Monte Carmelo/MG CEP: 38500-000

leonidasrm@ufu.br

Gabriel do Nascimento Guimarães

Universidade Federal de Uberlândia – Campus Monte Carmelo

Instituto de Geografia

Rodovia LMG 746 km 1 s/n – Monte Carmelo/MG CEP: 38500-000

gabriel@ufu.br

Rodrigo Bezerra de Araújo Gallis

Universidade Federal de Uberlândia – Campus Monte Carmelo

Instituto de Geografia

Rodovia LMG 746 km 1 s/n – Monte Carmelo/MG CEP: 38500-000

rodrigogallis@ufu.br

Ricardo Luis Barbosa

Universidade Federal de Uberlândia – Campus Monte Carmelo

Instituto de Geografia

Rodovia LMG 746 km 1 s/n – Monte Carmelo/MG CEP: 38500-000

rluisbarbosa@ufu.br

Resumo:

A altitude é uma componente essencial quando se trata de projetos aos quais são necessários o conhecimento da superfície terrestre, bem como o seu comportamento ao longo da área de interesse. Com o início da era espacial, tornou-se possível o estudo dessa componente por meio dos satélites, em especial o sistema *Global Navigation Satellite System* – GNSS. O objetivo deste trabalho foi gerar um Modelo Digital do Terreno – MDT a partir de um sistema de mapeamento móvel para fins de aplicações de planejamento urbano. Para tanto, foi realizado um levantamento das vias da cidade por meio do posicionamento relativo cinemático com um receptor de simples frequência. O interpolador *Inverse Distance Weighting* – IDW foi aplicado para preencher os vazios e melhorar a distribuição da amostra para, posteriormente, gerar as curvas de nível e o MDT.

Palavras-chave: Altitude; posicionamento GNSS; modelo digital de terreno.

Abstract

Height is an essential component when it comes to projects that require knowledge of the earth's surface, as well as its behavior along the area of interest. With the beginning of the space age, it became possible to study this component through satellites, especially the Global Navigation Satellite System (GNSS) system. The aim of this work is to generate a Digital Terrain Model (MDT) from a mobile mapping system for the purposes of urban planning applications. Therefore, a survey of the city's roads was performed by kinematic relative positioning with a simple frequency GNSS receiver. The Inverse Distance Weighting (IDW) interpolator was applied to fill the voids and improve the distribution of the sample to later generate the contours and the DTM.

Keywords: Height; GNSS positioning; digital terrain model.

1. INTRODUÇÃO

Desde o início da civilização, a espécie humana tem a necessidade de se posicionar na superfície terrestre, para o desenvolvimento de suas atividades. Devido a essa questão, ao longo dos tempos o homem foi desenvolvendo técnicas e instrumentos para suprir essa carência, fato que culminou com o desdobramento de sistemas de posicionamento.

O lançamento do satélite *Sputnik* iniciou a era espacial. A partir dessa época, a comunidade científica vislumbrou a grande contribuição que os satélites artificiais poderiam oferecer aos problemas vinculados à Geodésia. (MONICO, 2008). De início utilizou-se a técnica de posicionamento que se valia do efeito *Doppler-fizeau*, resultando numa tecnologia de posicionamento denominada de Transit, passando por sistemas que vêm utilizando laser, tais como, o *Satellite Laser Range* (SLR) e o *Lunar Laser Range* (LLR) e, posteriormente, no emprego dos sistemas que compõem o GNSS (*Global Navigation Satellite System*). Como o norte americano GPS (*Global Positioning System*), o russo GLONASS (*Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*) e futuramente o europeu Galileo e o chinês Beidou/Compass, (MONICO, 2008).

A componente altimétrica sempre foi uma das preocupações da Geodésia. O advento da era espacial tornou possível obter as coordenadas cartesianas (X, Y, Z) que podem ser transformadas em coordenadas geodésicas (φ, λ, h) de maneira simples. A distância que separa duas superfícies equipotenciais ou não segundo uma determinada direção pode ser definida como altitude. (FREITAS; BLITZKOW, 1999). A altitude pode ser considerada um insumo para a representação do comportamento da superfície de uma determinada região. Exemplo disso, são os mais variados Modelos Digitais de Terreno que podem ser gerados.

O município de Monte Carmelo, localizado na região do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, carece de uma base cartográfica. Desde 2011, com a chegada da Universidade Federal de Uberlândia, a cidade passa por transformações no que diz respeito ao crescimento populacional, aumento da frota de veículos, surgimento de novos bairros. A partir de 2017, o município está construindo o Plano de Mobilidade Urbana. Este equipamento será de grande utilidade para organizar e melhorar a acessibilidade e locomoção das pessoas e cargas dentro da cidade. O mapeamento das vias do município, bem como a geração de um MDT será de grande importância e servirá como base para trabalho relacionados à infraestrutura viária do município, tais como: serviços de transporte público, gerenciamento de pavimentos, projeto geométrico das vias, circulação viária e cadastro técnico. Este trabalho tem como objetivo gerar um Modelo Digital do Terreno para a zona urbana de Monte Carmelo a partir de um sistema de mapeamento móvel terrestre.

2. MODELO DO TERRENO

Informações a respeito do relevo são de grande importância para o planejamento e para a execução de obras de engenharia. No planejamento urbano, o conhecimento de um modelo da superfície (Figura 1) que representa a topografia do local em estudo se torna uma ferramenta primordial, pois, a partir desta é possível elaborar pré-projetos que farão parte da estrutura básica de uma cidade como, por exemplo, estudos relacionados ao dimensionamento de redes de água e esgoto.

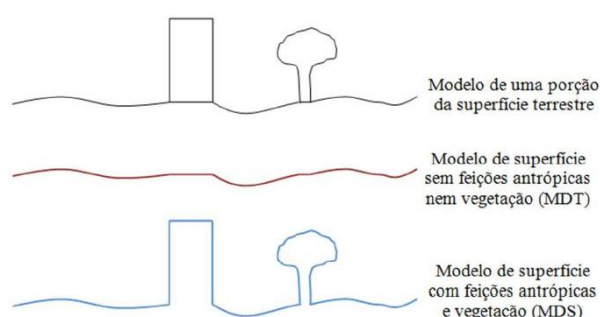


Figura 1 – Modelos do Terreno

Fonte: Oliveira (2013).

2.1. Modelo Digital do Terreno – MDT

Um Modelo Digital de Terreno (MDT) (Figura 2) representa o comportamento do relevo em uma região da superfície terrestre. A representação mais comum de um MDT está associada à altimetria, embora possa representar outras grandezas que variam continuamente no espaço como, por exemplo, unidades geológicas ou teor de minerais (BURROUGH, 1986). O MDT é de suma importância para projetos de cálculo de volumes num projeto de rodovias, apoio aos projetos de drenagem, bem como para Sistemas de Informações Geográficas (SIG's), como, por exemplo, estimativas de distâncias na alocação de pontos de ônibus, onde a inclinação do terreno tem grande importância, (ASSUNÇÃO et al., 2007).

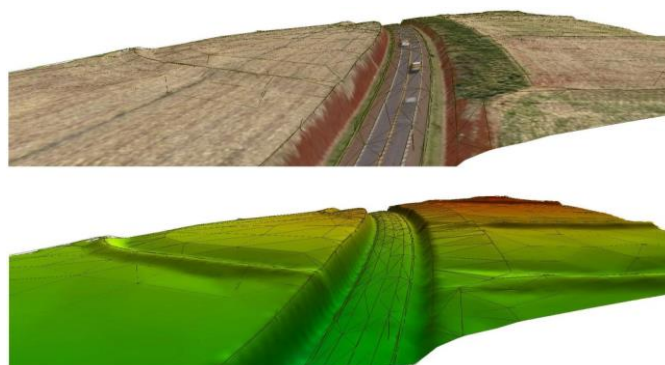


Figura 2 – Modelo Digital do Terreno – MDT

Fonte: www.newgeomapdigital.com.br (2017).

2.2. Modelo Digital de Superfície – MDS

Um Modelo Digital de Superfície (MDS) (Figura 3) é a representação completa da região observada/estudada, sendo a junção do MDT com um modelo de edificações. Em suma, são todas as características de um MDT em conjunto com representações de edificações, pontes e outros objetos, assim como de vegetação, em um único modelo (AMHAR et al., 1998). Deste modo, pode-se pensar em MDS como o modelo completo de representação da superfície, composto por um conjunto de pontos, referentes tanto ao terreno como à vegetação e feições antrópicas, cujas coordenadas tridimensionais são conhecidas, (OLIVEIRA, 2013).

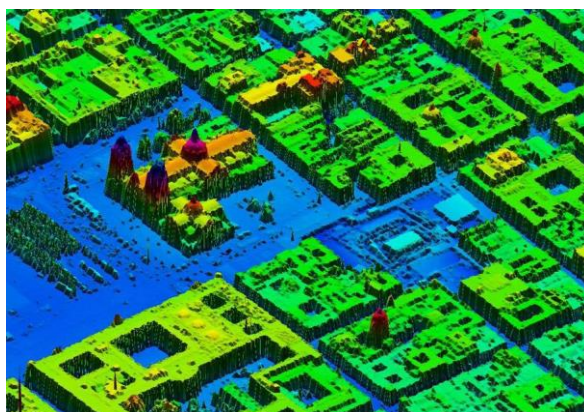


Figura 3 – Modelo Digital de Superfície – MDS

Fonte: <http://www.inegi.org.mx/> (2018).

2.3. Modelo Digital de Elevação – MDE

Um Modelo Digital de Elevação (MDE) (Figura 4) é utilizado para denotar a representação quantitativa de uma grandeza que varia continuamente no espaço. Dados de relevo, informações geológicas, levantamentos de profundidade do mar ou de um rio, informações meteorológicas e dados geofísicos, e geoquímicos são exemplos típicos de fenômenos representados por um MDE. Dessa forma, a geração de um MDE pode ser divididas em duas etapas: aquisição das amostras ou amostragem e a interpolação (SOUSA, 2010).

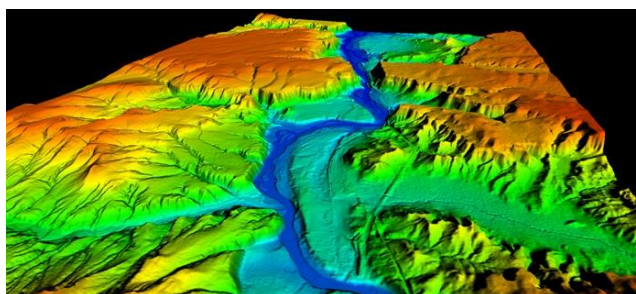


Figura 4 – Modelo Digital de Elevação – MDE

Fonte: <https://blogdaengenharia.com> (2018).

3. SISTEMA GNSS E MÉTODOS DE POSICIONAMENTO

Nos últimos 15 anos, o sistema GNSS (*Global Navigation Satellite System*) vem sendo amplamente utilizado. Esta tecnologia permite localizar e ou determinar um ponto sobre a superfície da terra ou próxima a ela com precisão que pode alcançar o milímetro, dependendo do método de posicionamento utilizado (MONICO, 2008). Face ao exposto, atualmente o sistema possui diversas aplicações como: cartografia, meio ambiente, navegação aérea, marítima e terrestre, geodinâmica, agricultura, monitoramento de estrutura, cadastro, entre outras.

O posicionamento GNSS consiste na determinação da posição de objetos com relação a um referencial. Pode ser classificado em posicionamento absoluto, relativo e DGPS (*Differential GPS*). No posicionamento absoluto ou posicionamento por ponto o usuário necessita de apenas um receptor para determinar as coordenadas tridimensionais de pontos sobre a superfície terrestre, sendo que a posição do ponto pode ser determinada em tempo real ou pós-processada. Esse tipo de posicionamento é muito utilizado em navegação e levantamentos expeditos. No posicionamento relativo o usuário deve dispor de dois receptores no mínimo, ou então utilizar somente um receptor e possuir dados de uma ou mais estações de referência dos Sistemas de Controle Ativos (SCA), como por exemplo, no caso de Brasil, da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC). Esse método baseia-se em determinar as coordenadas tridimensionais de pontos sobre a superfície terrestre com relação a pontos de coordenadas conhecidas. Um receptor é posicionado em um ponto de coordenadas conhecidas, enquanto o outro é estacionado no ponto que se quer determinar as coordenadas.

Ainda no método relativo, este pode ser dividido em: relativo estático, estático rápido, semi cinemático e cinemático. No posicionamento cinemático, utilizado neste trabalho, o receptor coleta as informações dos satélites enquanto se desloca sobre as feições de interesse. Nesses casos, a perda de sinal enquanto a antena está em movimento não pode ser aceitável, uma vez que afetaria na solução da ambiguidade ou perda dos ciclos. Entretanto, há técnicas que são independentes as técnicas de inicialização estática, na qual possuem a capacidade de recobrir a perda de ciclos e/ou resolver a solução da ambiguidade durante a locomoção da antena. Essas técnicas são referidas como solução da ambiguidade *on the way* ou solução da ambiguidade *on the fly* (SEEBER, 2003).

O campo de aplicação para o método de posicionamento cinemático é bom. Inclui levantamentos terrestres, aéreos, aquáticos, controle de máquinas e tráfegos, levantamentos de engenharias e SIG (Sistema de Informações Geográficas). Esse método de posicionamento tem como observável fundamental à fase da onda da portadora. No posicionamento relativo cinemático os dados podem ser processados após a coleta (pós-processado), ou durante a própria coleta (tempo real).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área Experimental e Dados Utilizados

Monte Carmelo é um município do interior do Estado de Minas Gerais, que segundo o último censo do IBGE possui uma população de 45.772 habitantes, e densidade demográfica é de 34,08 habitantes por km² no território do município. Com uma altitude média de 890 m e coordenadas -18° 44' 5" (Latitude) e -47° 29' 47" (Longitude). A Figura 5, apresenta um mapa de

localização do município de Monte Carmelo, bem como a localização dos marcos da rede planimétrica, que serão utilizados em projetos futuros para a validação do MDT.

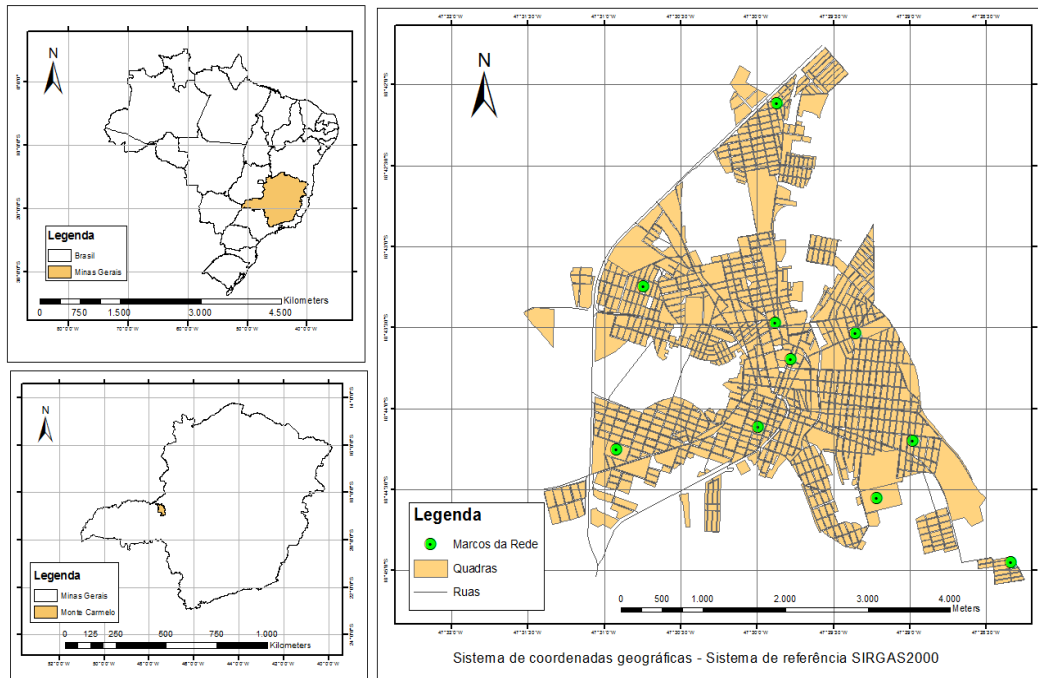


Figura 5 – Localização da área de estudo
Fonte: Rosa (2017).

Um sistema de mapeamento móvel terrestre composto da integração de câmaras (GoPro Black Hero 3.0) e um sistema GNSS/INS (Xsens MTi-G-700) (Figura 6) foi instalado em um veículo e utilizado no levantamento de campo.

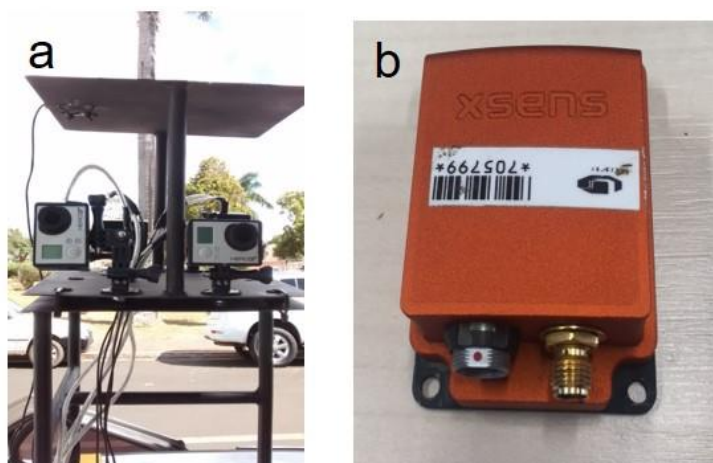


Figura 6 – Sistema de câmaras (a) e GNSS/INS (b)
Fonte: Os Autores (2018).

Salienta-se, que a altura do sistema móvel acrescido da altura do veículo é de, aproximadamente, 2 metros. Esta informação é útil quando se estuda a componente altimétrica, pois o que se pretende validar é a altitude advinda do sistema móvel.

O veículo, percorreu as vias da zona urbana do município de Monte Carmelo. As informações rastreadas com o receptor GNSS de simples frequência e taxa de coleta de 1 segundo serão processadas em relação à estação MGMT da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo). O levantamento gerou aproximadamente 64 mil pontos em coordenadas geodésicas referenciadas ao sistema WGS84 – *World Geodetic System 1984*. A Figura 7 ilustra as vias (em preto) levantadas.



Figura 7 – Levantamento das vias da região urbana
Fonte: Os Autores (2018).

4.2. Desenvolvimento Metodológico

A partir dos dados GNSS, por meio da triangulação de Delaunay, foi gerado uma malha triangular (Figura 8a) e posteriormente as curvas de nível (Figura 8b).

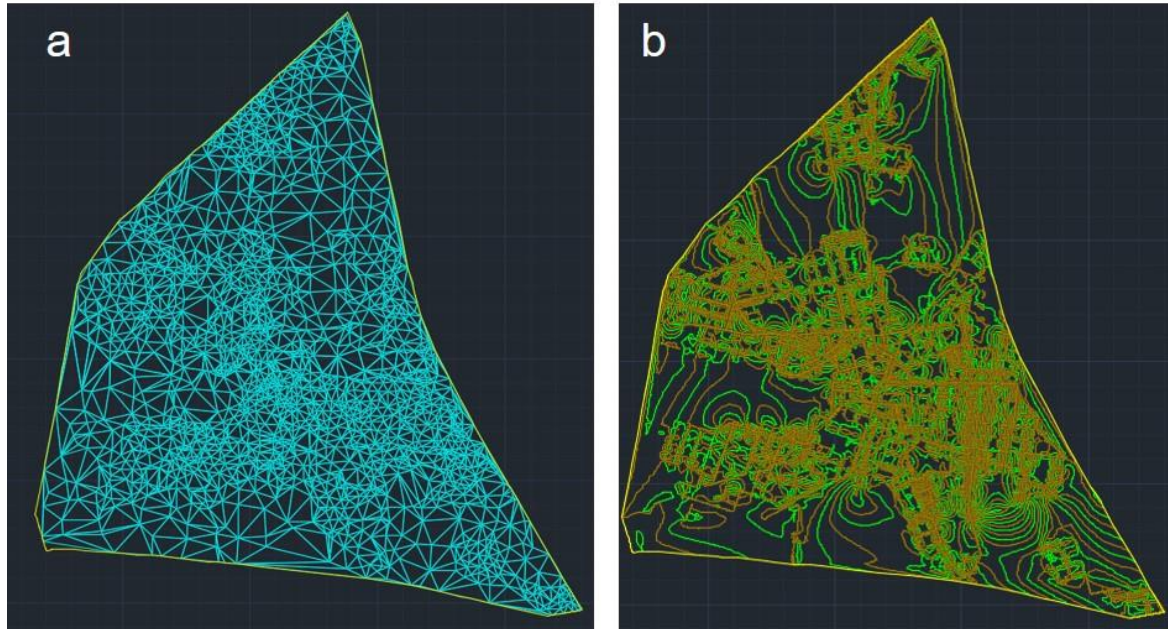


Figura 8 – Malha triangular da amostra (a) e Curvas de nível geradas a partir da malha triangular (b)

Fonte: Os Autores (2018).

Uma análise dos dados foi realizada afim de verificar a espacialização e homogeneidade da amostra. Constatou que algumas regiões da área de estudo careciam de informações (Figura 9a). Face ao exposto, o interpolador IDW – *Inverse Distance Weighting* foi aplicado com o objetivo de adensar os pontos (Figura 9b) de modo à homogeneizar as regiões carentes de informação. Para tanto, foi utilizado o *software* AutoCAD Civil 3D.

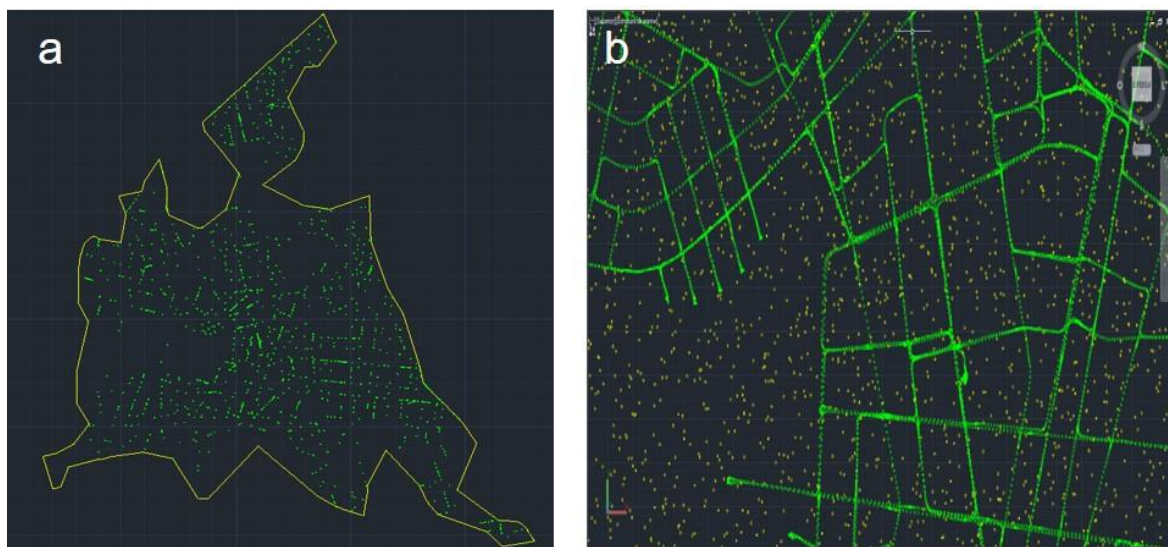


Figura 8 – Pontos originais (a) e pontos adensados (em amarelo) (b)

Fonte: Os Autores (2018).

A partir da interpolação e adensamento dos pontos, as curvas de nível foram geradas (Figura 9a). Para esta etapa foi escolhido o *software* TopoGRAPH uma vez que este representa com maior fidelidade e suavização as curvas (Figura 9b).

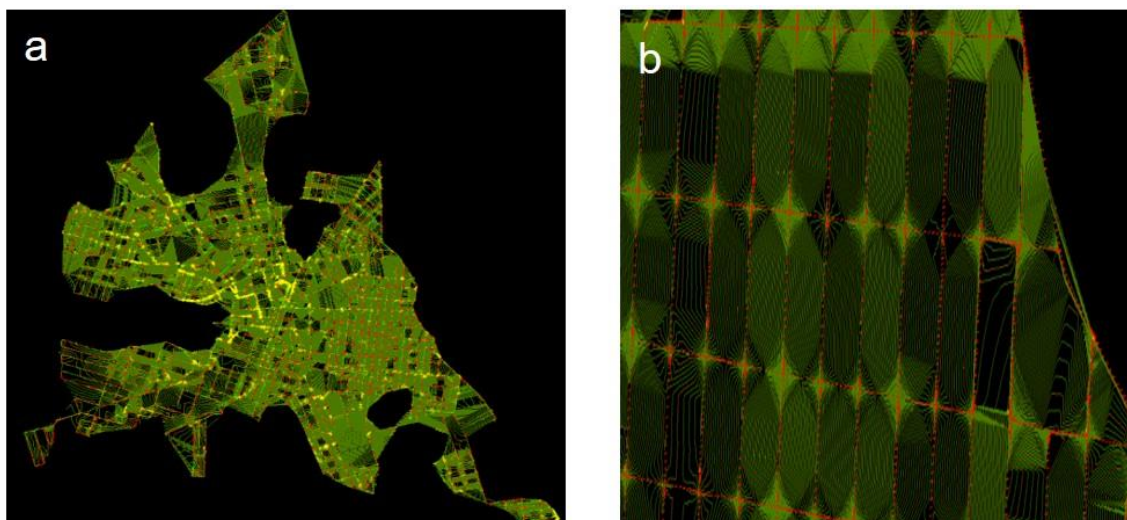


Figura 9 – Curvas de nível (a) e zoom das curvas de nível (b)

Fonte: Os Autores (2018).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A geração das curvas de nível permitiu criar dois modelos, a partir dos dados originais (Figura 10a) e a partir do adensamento de pontos (Figura 10b). Verifica-se nas figuras, por meio dos círculos em vermelhos, que há uma suavização do modelo quando se aumenta a quantidade de dados da amostra.

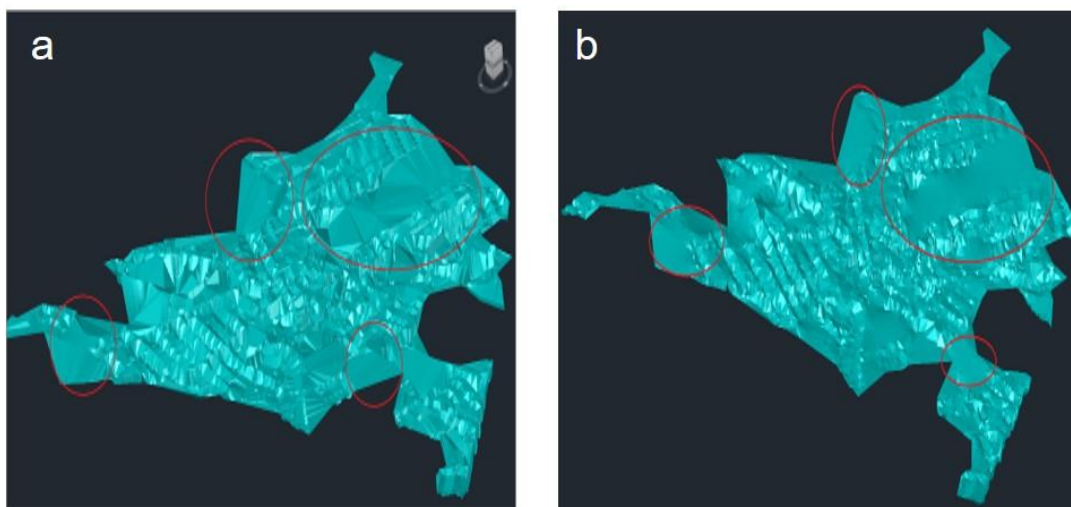


Figura 10 – MDT dos dados originais (a) e MDT dos dados densificados (b)

Fonte: Os Autores (2018).

Como trabalhos futuros, será conduzida a validação do modelo. Para tanto, será utilizado dados advindos de dois levantamentos GNSS. O primeiro contendo 10 estações distribuídas de forma homogênea na cidade (Figura 7); o segundo a partir de 34 estações (Figura 11) levantadas ao longo de uma via cuja altitude varia de 877,77 m a 848,90 m.



Figura 11 – Localização das estações para futura validação do MDT.
Fonte: Roza (2017).

6. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo gerar um Modelo Digital do Terreno para a zona urbana do município de Monte Carmelo – MG a partir de um sistema de mapeamento móvel terrestre, utilizando receptor GNSS de simples frequência.

Constatou-se no modelo gerado a partir do adensamento de pontos uma maior suavização do terreno, especialmente nos locais de bordas e onde o veículo não trafegou. Como próxima etapa, será realizada a validação do modelo a partir de dois levantamentos GNSS. Espera-se que o modelo gerado possa ser uma ferramenta utilizada pelos gestores locais nas tomadas de decisões relativas ao planejamento urbano.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPEMIG pela bolsa IC e ao CNPq (Universal 483413/2012-7) pelo financiamento recebido e a Integral Soluções (www.integralsol.com.br).

Referências Bibliográficas

ALVARENGA, L.H.V.; PINTO, A.L.R.; SILVA, S.T.; ALTOÉ, T.F.; MORAIS, V.A.; MELLO, J.M. Comparação de procedimentos de amostragem na precisão de Inventário Florestal em fragmento de Florestas Estacional Semidecidual. In: CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UFLA, 19., Lavras, 2010. **Anais...** Lavras: SBPC, 2010. 6p. Disponível em: <<http://www.sbpnet.ogr.br/livro/lavras/resumos/1168.pdf>>. Acesso em 26 mai. 2018.

BARBOSA, R. L. et al. Implementação e prova de conceito de um sistema de mapeamento móvel. In: I SIMPÓSIO REGIONAL DE AGRIMENSURA E CARTOGRAFIA, Monte Carmelo, 2016. **Anais...** Monte Carmelo: SRAC, 2016. 174-180p. Disponível em: <http://www.eventos.ufu.br/sites/eventos.ufu.br/files/documentos/anais_sirac.pdf>. Acesso em 21 jun. 2018.

DE ASSUNÇÃO, M. G. T. et al. Filtragem e classificação de pontos LIDAR para a geração de modelo digital do terreno. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Florianópolis, 2007. **Anais...** Florianópolis: SBSR, 2007. 3681-3688p. Disponível em: <[Http://mart.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.14.21.45/doc/3681-3688.pdf](http://mart.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.14.21.45/doc/3681-3688.pdf)>. Acesso em 18 jun. 2018.

FELGUEIRAS, C. A. **Análises sobre modelos digitais de terreno em ambiente de sistemas de informações geográficas.** Sao Paulo: Inpe, [200-].

FERREIRA, G. F. et al. **Análise comparativa de modelos digitais de elevação.** Curitiba Pr: Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, 2011.

FREITAS, S. R. C.; BLITZKOW, D. Altitudes e Geopotencial. **IGeS Bulletin N.9** – International Geoid Service. Junho 1999, Milão, p. 47-62, 1999.

MATOS, A. C. O. C. **Implementação de modelos digitais de terreno para aplicações na área de geodesia e geofísica na américa do sul.** São Paulo, 2005.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações.** Presidente Prudente: Unesp, 2008.

ROSA, R. S. **Implantação de uma rede geodésica horizontal no município de Monte Carmelo - MG.** 2017. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica) – Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/19721>> Acesso: 22 jun. 2018.

ROZA, F. M. **Avaliação do desempenho do nivelamento gnss na zona urbana de monte carmelomg.** 2017 63 p. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica, Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, Mg, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/20961/3/AvaliacaoDesempenhoNivelamento.pdf>>. Acesso: 22 jun. 2018.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: foundations, methods and applications**. Berlin: Walter de Gruyter, 2003. 531p.

SOUZA, A. R.; ARALDI, D.; AGUIAR, C. R. **Geração de modelo digital de terreno do câmpus Pato Branco da UTFPR**. Syn. Scy. UTFPR, Pato Branco, v. 10, n. 2, p. 15–21, abr./jun. 2015. ISSN 2316-4689 (Eletrônico). Artigos convidados da IV Semana de Agrimensura & I Workshop sobre Cadastro Territorial Multifinalitário, Pato BrancoPR. Disponível em:

< <http://revistas.utfpr.edu.br/pb/index.php/SysScy/article/view/2058/1469>> . Acesso em: 28 jun. 2018.

TAVARES, V. R. **Densificação da rede altimétrica no município de monte carmelomg**. 2016. 62 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica, Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, Mg, 2017.