

AVALIAÇÃO DE MODELO DIGITAL DE TERRENO (MDT) E DECLIVIDADE UTILIZANDO DIFERENTES INTERPOLADORES A PARTIR DE DADOS LiDAR

E. G. Santos¹, J. Gerente¹, P. Negrão¹, B. Hass¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil

Comissão IV - Sensoriamento Remoto, Fotogrametria e Interpretação de Imagens

RESUMO

O sistema *Light Detection and Ranging* (LiDAR) é uma das tecnologias mais recentes para obtenção de dados altimétricos com alta precisão e resolução espacial. Para geração de Modelo Digital de Terreno (MDT) a partir de dados LiDAR são necessários alguns procedimentos, sendo um deles a interpolação dos dados. Nesse contexto, tendo em vista a existência de diversos algoritmos de interpolação para a geração de MDT's por meio de dados LiDAR, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os MDT's gerados a partir de dados LiDAR quando utilizados três interpoladores (KNNIDW, Triangulação de Delaunay e Krigagem), comparando-os com o levantamento aerofotogramétrico do Estado de Santa Catarina, e avaliando também, a declividade do terreno. A área de estudo concentra-se no estado de Santa Catarina entre os municípios de Dourado Pedrinho e Rio Negrinho. O MDT adquirido do aerolevanteamento do estado de Santa Catarina apresentou uma textura mais suavizada, enquanto que os modelos gerados a partir dos três métodos abordados neste estudo, não apresentaram tal suavização. A diferença entre os MDT's foi muito pequena, ficando em torno de -5 e 0 m, sendo neste caso, o método de Delaunay a mais indicada, pois há uma menor exigência computacional para o processamento.

Palavras-chave: Interpoladores, LiDAR, Estereoscopia, Modelo Digital de Terreno.

ABSTRACT

The *Light Detection and Ranging* (LiDAR) system is one of the latest technologies for obtaining altimetric data with high precision and spatial resolution. For the generation of the Digital Terrain Model (DTM) from LiDAR data, some procedures are required, and one of them is the data interpolation. In this context, considering the existence of several interpolation algorithms for a generation of DTM, the present work aimed to assess the DTM differences generated by LiDAR data when applied three interpolators (KNNIDW, Delaunay Triangulate and Kriging) comparing them with the optical stereoscopy of Santa Catarina State, also evaluating the slope of the terrain. The study area is concentrated in Santa Catarina state between the municipalities of Dourado Pedrinho and Rio Negrinho. The DTM acquired from the state of Santa Catarina presented a smoother texture, while the models generated from the three methods discussed in this study did not present such smoothing. The difference between the DTM's was very small, ranging between -5 and 0 m, in this case the Delaunay method is the most indicated, because it indicates less computational requirement for the processing.

Keywords: Interpolators, LiDAR, Stereoscopy, Digital Terrain Model.

1- INTRODUÇÃO

O uso de Modelos Digitais de Elevação (MDEs) em aplicações ambiental e florestais tem aumentado significativamente (Chagas, 2010). Principalmente no que se refere a modelagem e quantificação de parâmetros que são utilizados para caracterizar um ambiente, como por exemplo declividade, volume, biomassa e carbono florestal. A quantificação destes parâmetros, a partir de dados de sensores remotos utilizam, em suas maiorias, informações a respeito da altura, bem como Modelos Digitais de Terreno (MDT) e Modelos Digitais de Superfície (MDS) (Muane, 2007).

A geração de Modelos Digitais de Terreno pode ser realizada por meio de diferentes técnicas, sejam elas analógicas ou digitais. Esta geração também depende do tipo de dado que se utiliza, sendo o *laser scanner* amplamente utilizado nestas aplicações. (Santos, 2004). O sistema *Light Detection and Ranging* (LiDAR) é uma das tecnologias mais recentes para obtenção de dados altimétricos com alta precisão e resolução espacial. Para a obtenção de Modelos Digitais de Terreno (MDT's) a partir de dados LiDAR são necessários alguns procedimentos, sendo que um deles é a interpolação dos dados, de modo a criar uma grade contínua.

Existem muitas técnicas para representação da superfície terrestre, as quais são geralmente baseadas em algoritmos de interpolação (Lancaster e Salkauskas, 1990). Cada interpolador possui suas características e algoritmos específicos, em geral, são divididos quanto a organização dos dados em malhas regulares ou irregulares. No caso dos interpoladores regulares (*inverse distance weighting* - IDW e Krigagem) os valores são formados pela malha regular estabelecida, que podem conter um ponto amostrado. Já os interpoladores de malha irregular, conectam-se os pontos formando triângulos, onde as arestas são interpoladas linearmente (Triangulação de Delaunay) (Santos et al 2008).

O interpolador KNNIDW, acrônimo para *K-nearest neighbor* (KNN) *inverse distance weighting* (IDW), determina o valor das novas células de elevação por meio do cálculo do inverso da distância ponderada pela média dos valores dos pontos de *k* vizinhos mais próximos. A Krigagem (*Kriging*) é um interpolador que calcula a elevação de um ponto de interesse a partir da média ponderada das amostras de sua vizinhança, distribuindo os pesos de acordo com a variabilidade espacial (determinada por análises geoestatísticas) dessas amostras. Por último, o Delaunay é um tipo de interpolador linear baseado na triangulação de Delaunay, a qual é muito utilizada em sistemas computacionais pelo fato de otimizar a criação dos triângulos de modo que eles não possuam ângulos internos muito pequenos.

Nesse contexto, tendo em vista a existência de diversos algoritmos de interpolação para a geração de MDT's, estudos que realizam comparações e análises entre estes diferentes métodos podem contribuir para o entendimento do potencial e das limitações de cada interpolador, principalmente quando aplicados a dados LiDAR. Desta forma, o objetivo deste trabalho consistiu em avaliar os Modelos Digitais de Terreno gerado a partir de dados LiDAR quando aplicados três métodos (KNNIDW, Triangulação de Delaunay e Krigagem) comparando-os com o levantamento aerofotogramétrico do Estado de Santa Catarina, além de avaliar a declividade do terreno.

2- MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo está inserida na bacia do Rio Itajaí, entre os municípios de Rio Negrinho e Doutor Pedrinho localizados no estado de Santa Catarina, na mesorregião denominada de Vale do Itajaí (Figura 1). Neste local houve a coleta de dados LiDAR no ano de 2013, as características do voo e configurações do equipamento para a aquisição dos dados estão resumidas na Tabela 1. Estes dados foram adquiridos no âmbito do Projeto Paisagens Sustentáveis¹

¹ <https://www.paisagenslidar.cnptia.embrapa.br/webgis>

Um projeto idealizado e coordenado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), juntamente com Serviço Florestal dos Estados Unidos (*United States Forest Service* - USFS).

Além dos dados LiDAR para a área apresentada na Figura 1, o estado de Santa Catarina possui o Modelo Digital de Terreno (MDT) produzido por estereoscopia óptica entre as imagens adquiridas no levantamento aerofotogramétrico do Estado realizado em 2012, com escala 1:10.000, possuindo resolução espacial de 1 metro com precisão altimétrica também de 1 metro.

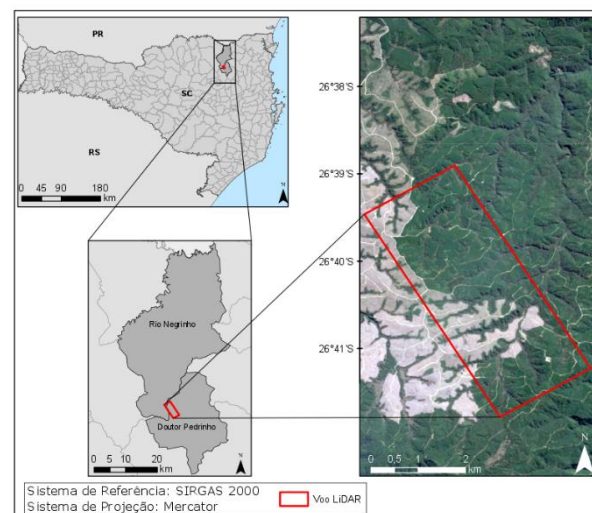


Fig. 1 – Mapa de localização da área de estudo sobre a imagem do Sentinel 2/MSI na composição cor verdadeira R(4) G(3) B(2) em relação aos municípios de Rio Negrinho e Doutor Pedrinho.

Tabela 1 – Características da aquisição dos dados LiDAR.

Atributo	Características
Sensor	Optech Orion
Data da Aquisição	dez/2013
Densidade média de pontos	22,13 pts/m ²
Frequência	67,5 Hz
Sobreposição entre faixas	65%
Altura de voo	853 m
Ângulo de varredura	11°
Área sobrevoada	1000 ha

2.1 Processamento dos dados LiDAR

A nuvem de pontos LiDAR foi processada para gerar o MDT, primeiramente, aplicou-se um filtro sobre a nuvem para a remoção de *outlier*. Nesta etapa são definidos alguns parâmetros que serão considerados para determinar se o ponto é ou não *outlier*, como pontos que estejam muito acima ou

abaixo da nuvem de pontos. A próxima etapa do processamento dos dados LiDAR concentrou-se na classificação dos mesmos, na qual, em geral, os pontos são classificados em 5 classes (*Default*, *ground*, *low vegetation*, *medium vegetation* e *high vegetation*). Como o objetivo é a geração do MDT, o mais importante é a classificação dos pontos na classe *ground*, pois os algoritmos usam somente os pontos desta classe para gerar o Modelo Digital de Terreno. Com isso, a nuvem de pontos foi classificada em duas classes *ground* e *default*.

Com o auxílio do pacote *lidR* disponível e implementado em linguagem R (R Core Team, 2017), os dados LiDAR foram processados de modo a gerar os MDT's a partir de três algoritmos de interpolação: Triangulação de Delaunay, KNNIDW e Krigagem. Os MDT's gerados foram comparados com o MDT adquirido do aerolevanteamento fotogramétrico do estado de Santa Catarina pela subtração entre eles. Também foi gerado a declividade, tanto para os Modelos Digitais obtidos por meio dos interpoladores, como também para o modelo proveniente do aerolevanteamento fotogramétrico.

3- RESULTADOS E DISCUSSÕES

A declividade gerada a partir do MDT obtido do aerolevanteamento fotogramétrico de Santa Catarina apresentou uma textura mais suave, com valores variando entre 0 e 40 % de declividade. Enquanto a elevação extraída do MDT variou entre 916,96 e 1032,62 m (Figura 2).

O MDT adquirido do aerolevanteamento do estado de Santa Catarina apresentou uma textura mais suave, enquanto que os modelos gerados a partir dos

três métodos abordados neste estudo, não apresentaram tal suavização. Entretanto a semelhança entre os MDT's obtidos com os dados LiDAR foi evidente.

A suavização observada no MDT gerado a partir da estereoscopia implicou diretamente na geração da declividade, pois como o MDT estava mais suave, a declividade apresentou-se mais suave também.

Ao aplicar os três interpoladores para gerar o MDT com os dados LiDAR, o resultado entre eles apresentou grande semelhança e um aspecto menos suavizado, e consequentemente, a declividade apresentou-se, visualmente, diferente da obtida com o MDT proveniente da estereoscopia (Figura 3).

Com a diferença realizada entre cada MDT gerado com os interpoladores e o MDT adquirido do aerolevanteamento de Santa Catarina, observou-se que há uma diferença entre os modelos digitais, sendo que esta diferença ficou em torno de -20 e 25 m. Entretanto, para grande parte da área analisada, a diferença entre os modelos ficou em torno de -5 e 0 m. Observa-se que onde houve a maior diferença são áreas mais baixas, áreas que possuem vegetação em sua superfície, e com isso a correlação das imagens para gerar o modelo digital possa ter sido prejudicado.

O aspecto mais suave no MDT proveniente da estereoscopia pode ter favorecido nas maiores diferenças entre os MDT's, pois como não foi aplicado nenhum filtro nos Modelos Digitais de Terrenos obtidos com os interpoladores, houve uma maior diferença nas áreas de maior declividade. Como a diferença entre os MDT's foi muito pequena, a aplicação de um filtro de suavização nos MDT's obtidos com os interpoladores, tornaria a diferença entre eles ainda menor.

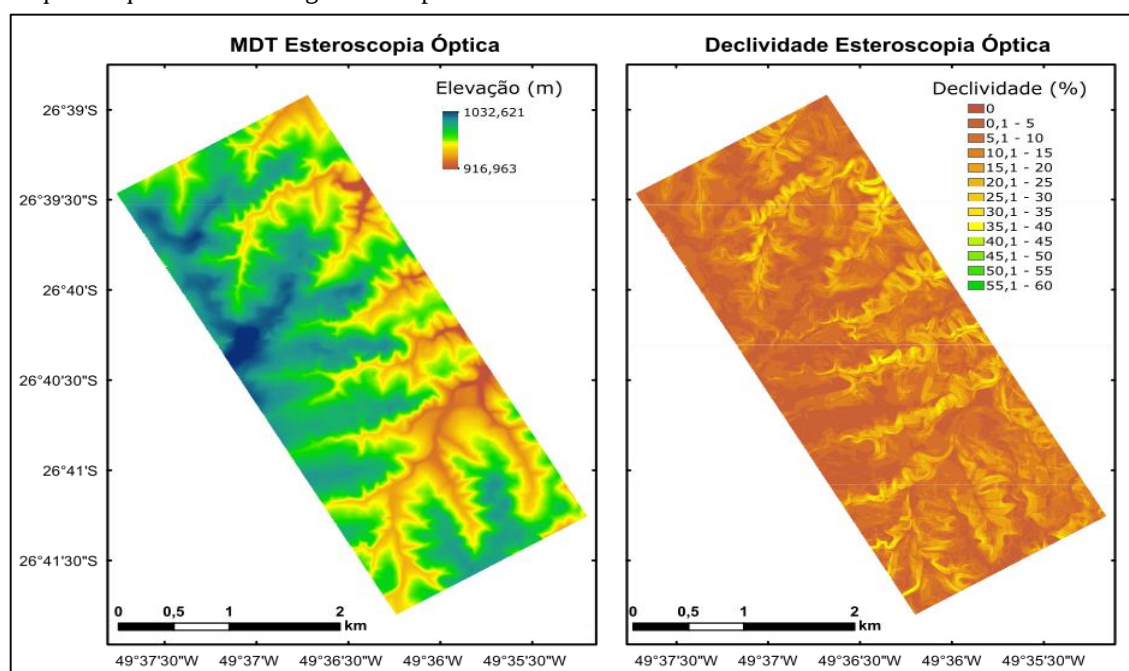


Fig. 2 – Modelo Digital de Terreno e declividades gerados a partir da estereoscopia óptica do estado de Santa Catarina

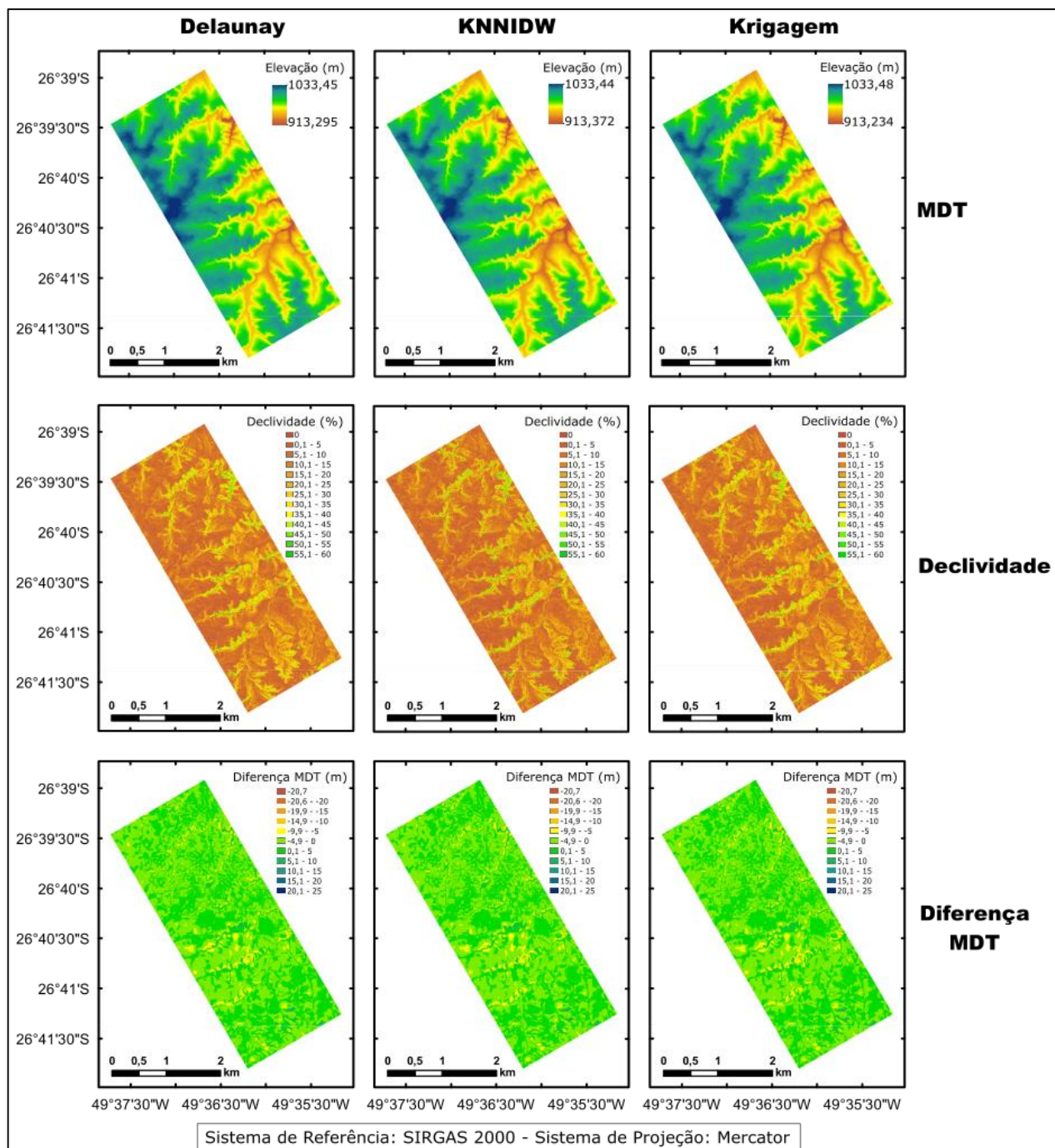


Fig. 3 – Modelo Digital de Terreno, gerado a partir dos dados LiDAR com os interpoladores Delaunay, KNNIDW e Krigagem. Declividade para cada MDT e diferença entre o MDT gerado pelo interpolador e o MDT obtido por estereoscopia óptica.

4- CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os MDT's gerados com os interpoladores apresentaram-se muito semelhantes, sendo o obtido pela interpolação de Delaunay, o mais viável devido a menor exigência computacional para o processamento.

A suavização observada a partir da estereoscopia óptica influenciou na comparação, uma vez que não foi aplicado nenhum filtro para suavizar os MDT's obtidos com as interpolações. Isto resultou em

uma maior diferença nas áreas de maior declividade. Sendo que no restante da área a diferença ficou entre -5 e 0 m, ressaltando a semelhança entre as técnicas utilizadas para obter o Modelo Digital de Terreno.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Projeto Paisagens Sustentáveis por disponibilizar os dados LiDAR e à

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro.

Um agradecimento também ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) por toda a estrutura necessária para o desenvolvimento do trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Santos, C. J. B.; J. F. C Silva.; e M. P. Mello, 2003. Controle da qualidade da altimetria de modelos digitais do terreno com a utilização de equipamentos GPS ocupando referências de nível, In XXI Congresso Brasileiro de Cartografia, Belo Horizonte-MG., v. 1, p. 1-10..

Mauane, D. F., 2007. Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM Users Manual, Second Edition. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.

Chagas, C. S.; I. F. Elpídio Filho; ; M. F. Rocha, , W. D. C. Júnior; e N. C. S Neto, 2010. Avaliação de modelos digitais de elevação para aplicação em um mapeamento digital de solos, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi, v. 14, n. 2.

Santos, M. S. T.; E. B. S Silva,. A. M. Souza.; W. L. E. Teixeira;; A. C. P. Sousa Schmidt.; A. V. M. FRANCELINO;; J. A. B. SABADIA, e F. P. L. Filho,, 2008. Geração e análise estatística de modelo digital de elevação (MDE) com dados de GPS em tempo real (GPS/RTK), Revista Estudos Geológicos, v. 18, p. 94-110.

Lancaster, P.; K. Salkauskas, Curve and surface fitting: an introduction. London, Academic Press, 1990. 280p.

R Core Team (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>