

AVALIAÇÃO DO MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO TOPODATA A PARTIR DE DADOS LIDAR EM UMA ÁREA DA AMAZÔNIA CENTRAL

Vinícius Peripato Borges Pereira¹, Aline Pontes Lopes¹, Adriana Maria da Silva²

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil, {vinicius.borges, aline.lopes}@inpe.br;

²Associação Multissetorial de Usuários de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas (ABHA), Rua Jaime Gomes, 741 - 38440-244 - Araguari - MG, Brasil, {adriana.silva@agenciaabha.com.br}

RESUMO

Atualmente sensores orbitais têm sido amplamente utilizados para derivar representações do relevo em macroescala, auxiliando o ordenamento humano, manejo dos recursos naturais e estudos ecossistêmicos. Porém, existe uma grande quantidade de levantamentos mais acurados e precisos, dispersos pela Amazônia brasileira. Portanto, neste estudo, buscamos analisar a relação entre dados altimétricos registrados por um levantamento *in loco*, e Modelos Digitais de Elevação (MDE) derivados do projeto Topodata e de dados *Light Detection and Ranging* (LiDAR). Os dados de campo apresentaram alta correção com MDE-LiDAR ($r = 0,967$) e uma menor correlação com o MDE-Topodata ($r = 0,763$). Além disso, ao subtrair os modelos, nós verificamos que há uma regionalização das diferenças no MDE-Topodata. Assim, nós sugerimos que os dados LiDAR disponíveis para a Amazônia brasileira sejam utilizados para projetar fatores de correção regionalizados a serem aplicados em um possível refinamento do MDE-Topodata.

Palavras-chave — Sensoriamento Remoto, altimetria, RTK, LiDAR, SRTM.

ABSTRACT

Currently, orbital sensors have been widely used to establish topographic representations in macroscale, assisting in human planning, natural resource management and ecosystem studies. However, there is also a great number of more accurate and precise surveys dispersed throughout the Brazilian Amazon. Therefore, in this study, we sought to analyze the relationship between altimetric data recorded by an on-site survey, and Digital Elevation Models (DEM) derived from the Topodata project and *Light Detection and Ranging* (LiDAR) data. The field data presented high correction with the DEM-LiDAR ($r = 0.967$) and a lower correlation with the DEM-Topodata ($r = 0.763$). In addition, by subtracting both DEMs, we found that there is a regionalization of the differences in the DEM-Topodata. Thus, we suggest that the many LiDAR data available for the Brazilian Amazon should be used to design regionalized correction factors to be applied in a possible MDE-Topodata refinement.

Key words — Remote Sensing, altimetry, RTK, LiDAR, SRTM.

1. INTRODUÇÃO

A caracterização do terreno é fundamental para o planejamento e manejo de recursos naturais. O uso da topografia permite, por exemplo, o estudo de fatores como a distribuição e diversidade de espécies, hidrologia superficial, entre outros [1–3]. Atualmente, produtos desenvolvidos com dados de sensores orbitais se apresentam como uma importante ferramenta para tais estudos, por permitirem o desenvolvimento de representações topográficas com aceitáveis graus de concordância em escala regional [4]. Entre estes produtos estão os Modelos Digitais de Elevação (MDE), que são basicamente representações cartográficas digitais em grades regulares (X , Y) que contemplam dados da elevação da superfície do solo (Z) [5]. Exemplo disso é o Topodata [6, 7], um produto altimétrico produzido pelo INPE para todo o território brasileiro através do refinamento do MDE produzido globalmente pela *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) e disponibilizado pelo Serviço Geológico Norte-Americano (USGS). O refinamento implementado no MDE-Topodata consiste na remoção das falhas, redução de artefatos e distribuição de aleatoriedade, permitindo a interpretação de redes de drenagem e relevos coerentes em uma menor escala [8].

Entretanto, nos últimos anos tem se intensificado o uso de dados *Light Detection and Ranging* (LiDAR), sobretudo, para aplicações florestais e topográficas. Estes são sistemas aerotransportados de varredura a *laser* (um feixe de radiação eletromagnética geralmente concentrada em estreitas faixas do espectro infravermelho). O princípio de funcionamento LiDAR permite a mensuração da distância entre o sensor e o alvo a partir do tempo decorrido entre a emissão e a recepção dos pulsos laser [9–11]. Assim, estes dados consistem basicamente em uma nuvem de pontos com as coordenadas cartesianas (X , Y e Z) das diversas feições localizadas sobre uma superfície, permitindo a elaboração dos Modelos Digitais de Superfície (MDS), que são representações da superfície incluindo todos os elementos presentes sobre o terreno (vegetação, edificações etc.), e dos Modelos Digitais de Terreno (MDT) pela remoção digital desses elementos para representar a topografia em microescala [12]. Um MDT geralmente é composto por pontos irregularmente espaçados em um ambiente tridimensional, podendo incluir linhas de quebras topográficas, não sendo considerado um modelo de superfície [5]. Entretanto, um MDE pode ser gerado a partir de MDT pela sua conversão em uma grade regular (*raster*) [5].

Nesse sentido, o presente estudo buscou analisar a relação entre dados altimétricos coletados em campo, um MDE gerado a partir de um LiDAR aerotransportado e o MDE do projeto Topodata. Assim, nós buscamos verificar a possibilidade de uso de dados de microescala para refinamento de informações em macroescala, a partir da identificação de áreas de ganho ou perda de valores altimétricos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A área de estudo está localizada na porção nordeste (NE) do município de Autazes, no estado do Amazonas (Brasil), na Amazônia Central (Figura 1). A região é uma paleovárzea jovem e possui sutis gradientes topográficos, onde predominam extensas superfícies, de média a fraca intensidade de aprofundamento da drenagem [13].

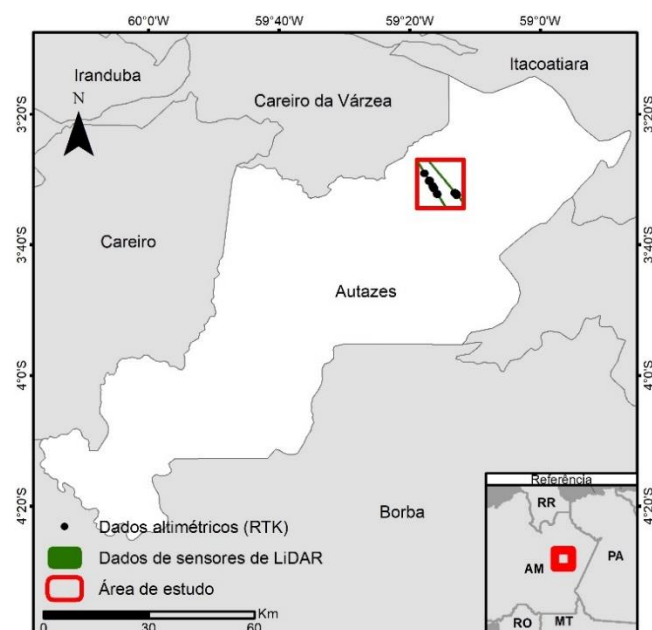


Figura 1. Área de estudo localizada na porção nordeste do município de Autazes no Estado do Amazonas.

2.2. Conjunto de dados

Este trabalho contou com três diferentes tipos de dados e/ou modelos altimétricos: (1) 64 pontos de altimetria, registrados com receptores GNSS (Global Navigation Satellite System) do tipo RTK (Real Time Kinematic), considerados como verdades locais; (2) dois transectos de dados LiDAR aerotransportados; e (3) o MDE do projeto Topodata.

O levantamento de campo foi realizado em novembro de 2017. Uma estação-base (modelo Zephyr Geodetic 2 RoHS, Trimble[®]) foi instalada em campo aberto, enquanto dois rovers (modelo SP60, Spectra Precision[®]) foram levados ao interior da floresta, permanecendo por 26 minutos, em média, em cada um dos pontos. Este trabalho visou o georreferenciamento de

parcelas de inventário florestal e, por isso, todos os pontos foram alocados em áreas florestais.

O MDE do projeto Topodata foi adquirido através do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (<<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>). Este produto tem 30 m de resolução espacial.

Os dados LiDAR aerotransportado foram fornecidos pelo Projeto EBA (Estimativa de Biomassa na Amazônia) [14], do Programa de Monitoramento Ambiental por Satélite no Bioma Amazônia (MAS) (<<https://www.funcate.org.br/msa/>>). Estes dados foram registrados na forma de longos transectos de 12,5 x 0,5 km, sem sobreposição entre as faixas de voo. O equipamento utilizado foi um LiDAR modelo RIEGL Q680i (Trimble[®]) com frequência de escaneamento de 5 a 200 Hz, ângulo de aquisição de até 45°, pegada (*footprint*) de 30cm e operado em altura média de 600 m, com ângulo de divergência de 0,5 mrad. A Unidade de Medição Inercial (IMU) modelo POS AV 510 (Applanix[®]) acoplada ao sensor LiDAR operou em frequência de coleta de dados GNSS e inerciais de 1 e 200 Hz, respectivamente. Os dados, do tipo discretos, possuem uma densidade média de aproximadamente 6 pontos.m².

2.3. Processamento dos dados LiDAR

Todo o processamento dos dados LiDAR foi realizado no software LAStools (versão 180605). A partir da combinação de diferentes recursos disponíveis (*lasnoise*, *lasground*, *lasheight*, *lasthin*) foram definidas rotinas para classificar os pontos de solo, preservando as variações suaves do relevo (Figura 2).

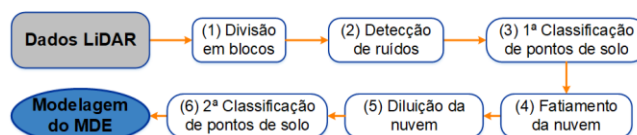


Figura 2. Fluxograma do processamento dos dados LiDAR.

O processamento dos dados LiDAR foram realizados nas seguintes etapas sequenciais: (1) os arquivos LiDAR (.laz) foram divididos em blocos para habilitar o processamento *multithread* nas etapas posteriores com a ferramenta *lastile*, ajustando os parâmetros de *tile_size* e *buffer* para 400 e 50, respectivamente; (2) a filtragem dos pontos de ruído com a ferramenta *lasnoise* (parâmetros em *default*); (3) a primeira classificação de pontos de solo para adquirir pontos de controle esparsos com a ferramenta *lasground*, ajustando os parâmetros de *step*, *stddev*, *spike* e *offset* para 10, 0,5, 1, e 0,1 respectivamente; (4) o fatiamento da nuvem de pontos para reclassificar os pontos próximos aos pontos de solo (1ª classificação) com a ferramenta *lasheight*, ajustando o parâmetro *classify_between* para -10 e 1; (5) a diluição da nuvem para indicar os pontos reclassificados com menor altimetria em uma determinada área com a ferramenta *lasthin*, esse procedimento foi realizado três vezes, ajustando os parâmetros *step* para 0,25, 0,5 e 1 (a cada passagem) e *percentile* para 50; (6) a segunda classificação de pontos de solo observando apenas os pontos indicados na etapa anterior com a ferramenta *lasground*, ajustando os parâmetros de *step* e *spike* para 0,85 e 0,2

respectivamente; e para finalizar, a interpolação dos pontos de solo (2ª classificação) do MDT sob uma grade regular com a ferramenta *blast2dem*, gerando o MDE final. Este produto foi, então, chamado como MDE-LiDAR.

Os MDEs dos dados LiDAR foram gerados com resolução espacial de 0,5 m e foram reamostrados para 30 m e registrados para comparação com o MDE do Topodata.

2.4. Análise dos resultados

Os três dados altimétricos foram comparados através de uma matriz de correlação. Além disso, foi realizada a subtração matricial entre o MDE-Topodata e o MDE-LiDAR a fim de se observar as áreas de maior discordância.

As operações com dados matriciais foram realizadas no software RStudio e a elaboração dos mapas foram realizados no software ArcGIS (versão 10.5.0.6491).

3. RESULTADOS

O processo de classificação de pontos do solo nos dois transectos LiDAR resultou em uma densidade média de aproximadamente 3 e 2 pontos.m², respectivamente.

Tabela 1. Matriz de correlação entre os dados analisados.

	LiDAR (0,5 m)	LiDAR (30 m)	Topodata (30 m)
RTK	0,968	0,967	0,763
LiDAR (0,5 m)	–	0,997	0,816
LiDAR (30 m)	–	–	0,813

A Tabela 1 apresenta a matriz de correlação dos dados altimétricos registrados pelo sistema RTK em solo, pelo MDE-LiDAR (0,5 e 30 m) e pelo MDE-Topodata (30 m). Observa-se uma forte correlação entre o RTK e o MDE-LiDAR (30 m) ($r = 0,967$) e uma menor correlação entre o MDE-Topodata e RTK ($r = 0,763$).

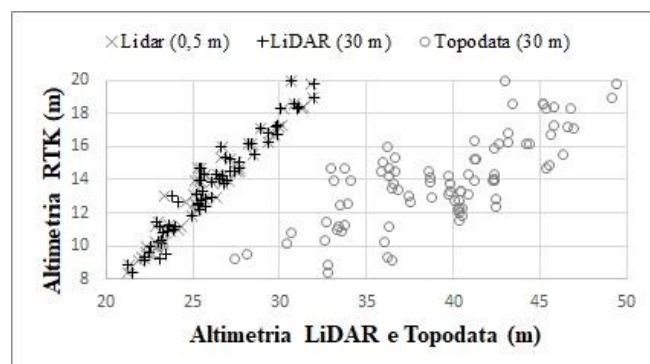


Figura 3. Dispersão dos valores de altimetria.

A dispersão dos valores nos 64 pontos do levantamento altimétrico com o RTK está representada na Figura 3. Nestes pontos, os valores adquiridos pelo MDE-Topodata têm $Z_{\text{médio}} = 39 \text{ m}$ ($\pm 29 \text{ m}$), o MDE-LiDAR tem $Z_{\text{médio}} = 26 \text{ m}$ ($\pm 8 \text{ m}$), e o RTK têm $Z_{\text{médio}} = 14 \text{ m}$ ($\pm 7 \text{ m}$). A diferença entre o $Z_{\text{médio}}$ do

MDE-Topodata e o RTK foi 25,0 m ($\pm 3,7$), enquanto entre o $Z_{\text{médio}}$ MDE-LiDAR e o RTK foi 12,4 m ($\pm 0,7$).

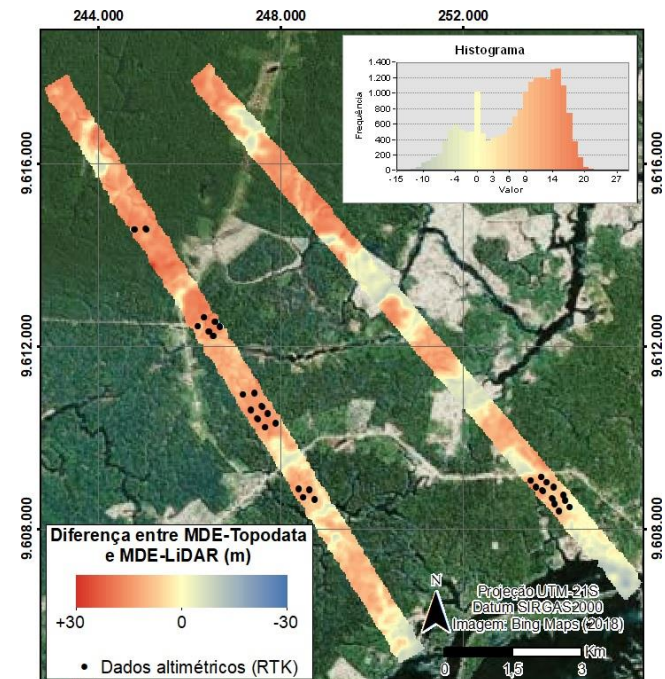


Figura 4. Diferença dos valores de altimetria entre o MDE-Topodata e o MDE-LiDAR.

Através da diferença entre o MDE-Topodata e o MDE-LiDAR (30 m) foi possível observar a espacialização da variação dos valores altimétricos (Figura 4). Os dados mostraram que, nas áreas desmatadas, a diferença entre os valores altimétricos é próxima a zero com tendência negativa, enquanto essa diferença é positiva em áreas de floresta densa.

4. DISCUSSÃO

A alta correlação entre os valores de altimetria do RTK e do MDE-LiDAR era previsível, uma vez que tanto o RTK quanto o LiDAR utilizam o Sistema de Posicionamento Global (GPS) com a correção diferencial (DGPS) [9, 15]. Nós também observamos que, mesmo em áreas de vegetação densa, a densidade de ~ 6 pontos.m² teve a capacidade de criar MDEs com acurácia satisfatória (12,4 m), como observado por Leitold et. al. (2014) [12]. Entretanto, este valor também indica possíveis problemas no fluxo de processamento adotado para gerar o MDE-LiDAR, como a remoção de ruídos com a ferramenta *lasnoise*, que pode ter descartado muitos pontos de solo. Além disso, o grande ângulo de aquisição dos dados (até 45°) é outra potencial fonte de erros, sobretudo, nas bordas dos transectos [16]. Apesar de a pequena variação nas diferenças entre RTK e o MDE-LiDAR ($\pm 0,7 \text{ m}$) sugerir que estes erros não são de grande magnitude, outras análises e mais pontos de campo são necessários para avaliar como a angulação pode ter afetado a qualidade do MDE.

O MDE-Topodata apresentou menor correlação com os dados coletados in loco, pois o produto SRTM (base do

Topodata) tem limitada resolução espacial, agregando os elementos existentes sobre a superfície do terreno em uma grade regular de 90 m de resolução espacial, que posteriormente é refinada e reamostrada para 30 m no MDE-Topodata [7]. Contudo, o produto do Topodata apresenta alta correlação com os valores registrados por outras bases cartográficas [6], e foi observado na Figura 4 que em áreas desmatadas os valores altimétricos do MDE-Topodata são similares ao do MDE-LiDAR, com diferenças próximas a 0 (zero). Nesse sentido, a ausência de dados RTK em áreas desmatadas influenciou de maneira negativa a correlação com o MDE-Topodata. Assim, nós vemos que uma amostragem de campo maior e mais distribuída poderia ter resultado em uma melhor correlação.

Foi possível observar a alta compatibilidade entre as informações obtidas através do levantamento altimétrico RTK e dos dados LiDAR, assim como a relação existente entre estes e os dados orbitais do Topodata. Estas relações/tendências de ganho ou perda de valores altimétricos têm o potencial de permitir a elaboração de representações mais fidedignas do relevo local, através da aplicação de fatores de correção regionalizados. Transgredir estas informações em microescala para remodelar o relevo em macroescala possui grande potencial para auxiliar no ordenamento territorial, o manejo de bacias e as estimativas de biomassa florestal a partir de sensores remotos.

5. CONCLUSÕES

Os dados altimétricos coletados por sensores aerotransportados já apresentam em uma grande cobertura e amostragem na Amazônia brasileira, a exemplo dos dados LiDAR do projeto EBA e do projeto Paisagens Sustentáveis da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), que juntos cobrem ~ 5.500 km² da Amazônia brasileira. Além disso, existem os dados pontuais da Rede Altimétrica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que representam um imenso volume de dados acurados sobre o relevo brasileiro. Todos estes dados poderiam ser utilizados para refinar o MDE do projeto Topodata a partir da derivação de fatores de correção regionalizados. Entretanto, a aplicação destes fatores em larga escala deverá observar se o padrão das regiões de ganho ou perda de valores altimétricos permanecerá constante.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao INPE e ao *TRopical Ecosystems and Environmental Sciences lab* (TREES) pelo apoio para realização do trabalho; à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado (processo nº 1681023) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela bolsa de doutorado (processo 2016/21043-8), e também ao Projeto FATE-Amazônia (Projeto CNPq nº 458022/2013-6) pelo financiamento dos trabalhos de campo e ao Projeto EBA, do Programa MSA/BNDES, financiado com recursos do Fundo Amazônia (Processo nº 14209291), pela disponibilização dos dados LiDAR.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil

(CAPES) - Código de Financiamento 001.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Aspiazu, C.; Alves, L.M.; Valente, O. F., “Modelos digitais de terrenos conceituação e importância,” *Bol. Pesqui. Florest.*, no. 21, pp. 27–36, 1990.
- [2] Rennó, C. D. *et al.*, “HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia,” *Remote Sens. Environ.*, vol. 112, no. 9, pp. 3469–3481, Sep. 2008.
- [3] Bispo, P. da C.; Valeriano, M. de M.; and Kuplich, T. M., “Variáveis geomorfológicas locais e sua relação com a vegetação da região do interflúvio Madeira-Purus (AM-RO),” *Acta Amazonica*, vol. 39, no. 1, pp. 81–90, 2009.
- [4] Hirt, C.; Filmer, M. S.; and Featherstone, W. E., “Comparison and validation of the recent freely available ASTER-GDEM ver1, SRTM ver4.1 and GEODATA DEM-9S ver3 digital elevation models over Australia,” *Aust. J. Earth Sci.*, vol. 57, no. 3, pp. 337–347, 2010.
- [5] Heidemann, H. K., “Lidar base specification,” *U.S. Geological Survey Techniques and Methods*, book 11, chap. B4, 101 p.
- [6] Valeriano, M. de M.; Rossetti, D. de F.; and Albuquerque, P. C. G. de, “TOPODATA: desenvolvimento da primeira versão do banco de dados geomorfológicos locais em cobertura nacional,” in *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 2009, no. Abril, pp. 5499–5506.
- [7] Valeriano, M. de M. and Rossetti, D. de F., “Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data,” *Appl. Geogr.*, vol. 32, no. 2, pp. 300–309, Mar. 2012.
- [8] Valeriano, M. de M., “Modelo digital de variáveis morfológicas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA,” in *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 2005, pp. 3595–3602.
- [9] Giongo, M.; Koehler, H. S.; Machado, S. do A.; Kirchner, F. F.; and Marchetti, M., “LiDAR: princípios e aplicações florestais,” *Pesqui. Florest. Bras.*, vol. 30, 2010.
- [10] Baltsavias, E. ., “Airborne laser scanning: basic relations and formulas,” *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 54, no. 2–3, pp. 199–214, Jul. 1999.
- [11] Wehr, A. and Lohr, U., “Airborne laser scanning—an introduction and overview,” *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 54, no. 2–3, pp. 68–82, Jul. 1999.
- [12] Leitold, V.; Keller, M.; Morton, D. C.; Cook, B. D.; and Shimabukuro, Y. E., “Airborne lidar-based estimates of tropical forest structure in complex terrain: opportunities and trade-offs for REDD+,” *Carbon Balance Manag.*, vol. 10, no. 1, p. 3, 2015.
- [13] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, *Recursos naturais e meio ambiente: uma visão do Brasil*, 2nd ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1997.
- [14] EBA, “Melhoria dos métodos de estimativa de biomassa e de modelos de estimativa de emissões por mudança de uso da terra,” 2018. [Online]. Available: <http://www.ccst.inpe.br/projetos/eba-estimativa-de-biomassa-na-amazonia/>. [Accessed: 20-Jul-2018].
- [15] Mostafa, M. and Hutton, J., “Direct positioning and orientation systems: How do they work? What is the attainable accuracy,” in *American Society of Photogrammetry and Remote Sensing Annual Meeting*, 2001, p. 11.
- [16] Su, J. and Bork, E., “Influence of vegetation, slope, and LiDAR sampling angle on DEM accuracy,” *Photogramm Eng Remote Sens*, vol. 72, 2006.