

AVALIAÇÃO DE ACURÁCIA ENTRE DADOS ALTIMÉTRICOS OBTIDOS POR IMAGEM DE RADAR E INFORMAÇÕES REGISTRADAS COM GNSS GEODÉSICO NO PERÍMETRO URBANO DE JATAÍ - GO

Carlos Eduardo Damasceno ¹
Alécio Perini Martins ²

RESUMO

Os Modelos Digitais de Elevação (MDE) permitem estudar o relevo da superfície terrestre. Este estudo teve como objetivo foi avaliar a acurácia dos MDEs PALSAR, SRTM e um MDE gerado pela prefeitura do município na área urbana do município de Jataí - GO, utilizando como verdade terrestre os pontos coletados pelo GNSS de alta precisão. Para isso foi realizado análises estatísticas, utilizando: coeficiente de correlação linear de Pearson - R, o coeficiente de determinação - R², a raiz do erro médio quadrático - EMQ e o índice de Willmott. Os MDEs apresentaram resultados positivos para o coeficiente de correlação linear de Pearson - R, o coeficiente de determinação - R² e o índice de Willmott, todos com valores superiores a 0,99. Para o Erro Médio Quadrático foi observado que o Alos Palsar foi o que apresentou menor erro (15,56), o SRTM o maior erro (53,70) e o MDE da prefeitura apresentou resultado superiores ao do Alos Palsar (21,71). Portanto, o estudo é importante para demonstrar que em trabalhos que necessitem de maior acurácia deve-se usar equipamentos que irão proporcionar maior precisão dos dados.

Palavras-chave: MDE, Altimetria, Acurácia Vertical.

ABSTRACT

Digital Elevation Models (DEM) allow you to study the relief of the Earth's surface. This study aimed to evaluate the accuracy of the PALSAR, SRTM DEMs and a DEM generated by the city hall in the urban area of the city of Jataí - GO, using the points collected by the high-precision GNSS as ground truth. For this, statistical analyzes were carried out, using: Pearson's linear correlation coefficient - R, the coefficient of determination - R², the root mean square error - EMQ and the Willmott index. The DEMs showed positive results for Pearson's linear correlation coefficient - R, the coefficient of determination - R² and the Willmott index, all with values greater than 0.99. For the Mean Square Error, it was observed that Alos Palsar had the lowest error (15.56), SRTM had the highest error (53.70) and the city hall's DEM presented higher results than Alos Palsar (21.71). Therefore, the study is important to demonstrate that in work that requires greater accuracy, equipment that will provide greater data precision should be used.

Keywords: DEM, Altimetry, Vertical accuracy.

INTRODUÇÃO

Atualmente, cada vez mais informações topográficas estão disponíveis para a comunidade, dentre eles os obtidos a partir de interferometria por radar. Por meio desses dados são gerados os Modelos Digitais de Elevação (MDE), que são “[...] arquivos que contêm

¹ Mestrando do Curso de Geografia da Universidade Federal de Jataí - UFJ, autorprincipal@email.com;

² Professor orientador: Doutor do curso de Geografia - UFJ, alecioperini@ufj.edu.br.



registros altimétricos estruturados em linhas e colunas georreferenciadas, como uma imagem com um valor de elevação em cada pixel [...]” (VALERIANO, p.21, 2008).

Esses modelos permitem estudar o relevo da superfície, derivando através do uso de Sistemas de Informação Geográfica, informações sobre a declividade, exposição de vertentes e mapeamento de rede de drenagem de áreas extensas. Possibilitam a identificação de áreas favoráveis para agricultura e para conservação do solo e da diversidade biológica, modelagem hidrológica, ortorretificação de imagens de satélite, avaliação de riscos de desmoronamentos, dentre outros. (MELGAÇO et al., 2003; HOFF et al., 2009; ALBA et al., 2010; HUGGEL et al. 2010; MICELI et al., 2010; RAVELO, 2010).

Neste trabalho foram utilizados um equipamento GNSS de alta precisão e dois MDEs, sendo um deles o *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Este modelo foi criado pela *National Aeronautics and Space* (NASA), em parceria com a *National Geospatial Intelligence Agency* (NGA), foram acoplados dois radares a bordo do ônibus espacial *Endeavour*. A missão coletou com sucesso dados sobre 80% da superfície terrestre entre 60° norte e 56° sul de latitude, gerando uma resolução espacial de 30 metros (USGS, 2018).

O outro MDE, *Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar* (PALSAR), foi lançado em 2006 a bordo do *Advanced Land Observing Satellite-1* (ALOS) e gerou informações detalhadas da superfície terrestre. ALOS foi uma missão da *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA), e teve como objetivo contribuir para o mapeamento terrestre, observação regional precisa da cobertura do solo, monitoramento de desastres e levantamento de recursos terrestres (ASF, 2022).

Além dos dois modelos acima, utilizou dados da prefeitura municipal de Jataí – GO, no qual entregam curvas de nível com equidistância de 1 (um) metro no formato DWG. Sendo assim, possível transformar esses dados em um terceiro MDE, que foi utilizado para delimitar a área de estudo e comparar as cotas de altitude e a declividade com as outras informações adquiridas.

Alguns trabalhos já analisaram a acurácia de MDEs. Como o de Rodriguez et. al. (2006), que analisou diversos pontos espalhados pelo mundo e fez uma análise de acurácia do MDE SRTM. No qual, 90% apresentaram um erro altimétrico inferior a 9 metros.

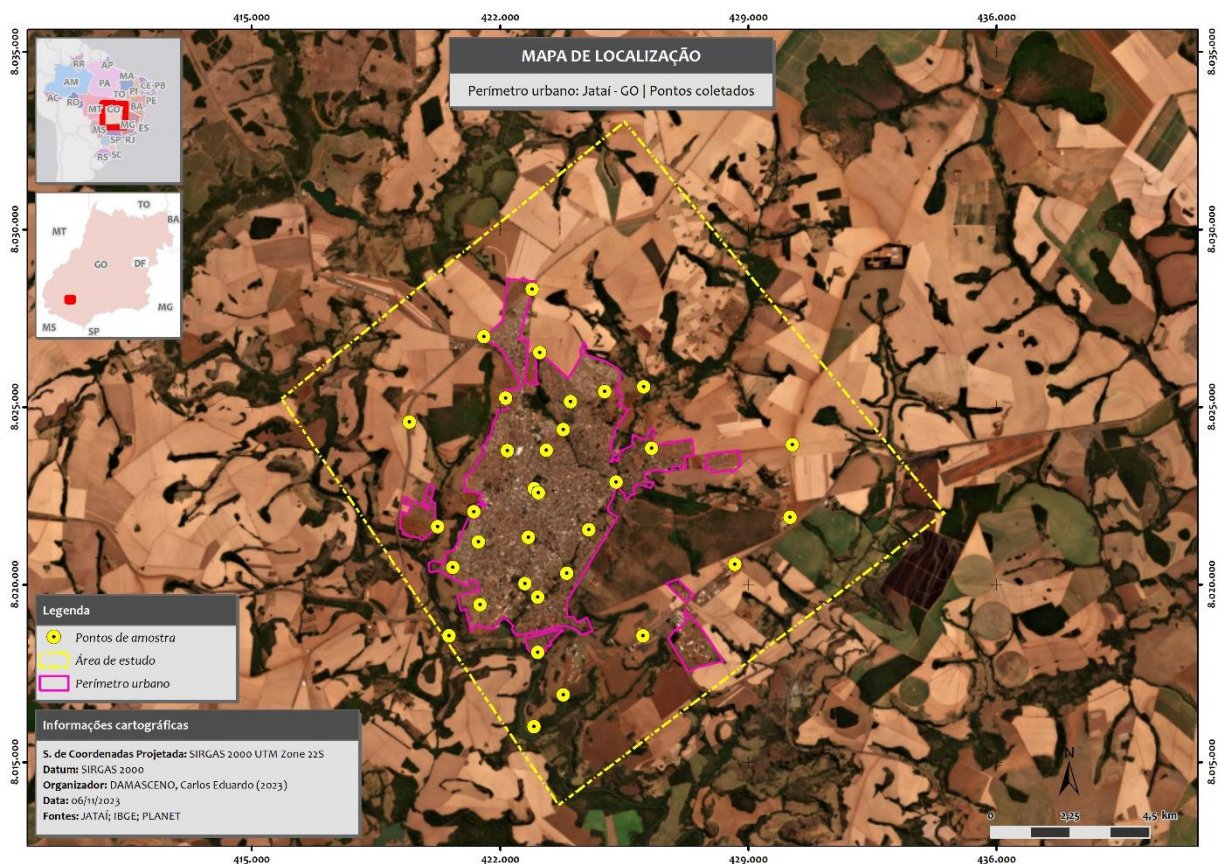
Por sua vez Viel et al. (2020), procurou avaliar a acurácia dos MDEs SRTM, ALOS World 3D e ASTER GDEM, utilizando como modelo de comparação estatística um MDE fotogramétrico com resolução espacial de 5 metros. Dentre os modelos analisados pelo autor, o MDE que apresentou maior proximidade com a superfície terrestre foi o SRTM, levando em



consideração as elevações do modelo fotogramétrico. Diferente do que acontece neste artigo, como veremos mais à frente.

Girão et al. (2019) chegou a mesma conclusão do autor anterior, concluindo que o SRTM apresentou melhores resultados com base no PEC e no PEC-PCD, e ainda evidenciou que os MDEs apresentam uma tendência de piora da acurácia vertical com o aumento da declividade. Alguns outros autores como Viel et al. (2020), Souza (2015) e Araújo et al. (2019) também verificaram a acurácia dos MDEs SRTM, Alos World 3D e ASTER GDEM.

Figura 1 - Mapa de localização do perímetro urbano de Jataí - GO e dos pontos de amostras coletados com GNSS de alta precisão



Fontes: Jataí, IBGE, Planet
Organização: próprio autor

Sendo assim, o objetivo principal deste trabalho foi avaliar a acurácia dos MDEs PALSAR e SRTM na área urbana do município de Jataí - GO (figura 1), utilizando como verdade terrestre os pontos coletados pelo GNSS de alta precisão. Ainda, pretende-se realizar uma análise crítica do MDE gerado a partir das curvas de nível disponibilizadas pela Prefeitura Municipal de Jataí, elaboradas por empresa de consultoria externa. Este material serve como

base para a construção de instrumentos ligados ao Plano Diretor, além do planejamento de obras públicas na cidade de Jataí.

METODOLOGIA

A metodologia foi dividida em 5 etapas, sendo elas: 1) Revisão bibliográfica e download das imagens; 2) Seleção dos pontos para registro de coordenadas com uso de GNSS de alta precisão; 3) Coleta dos pontos em campo; 4) Geração de MDE utilizando as imagens e comparação dos valores obtidos em campo; e 5) Análise estatística e ajustes.

Na primeira etapa foram realizados levantamentos bibliográficos, como já citados na introdução, e download das imagens disponibilizadas gratuitamente. A imagem SRTM é disponibilizada pelo *United State Geological Survey* (USGS - <https://earthexplorer.usgs.gov>). Já a imagem ALOS PALSAR é fornecido pela *Alaska Satellite Facility* (ASF - <https://search.asf.alaska.edu/#/>).

As duas próximas etapas foram a seleção e coleta dos pontos utilizando GNSS de alta precisão, do modelo Trimble R4s. Foram selecionados 33 pontos espalhados de forma aleatória no município de Jataí – GO. Foram realizados 4 dias de campo para coleta dos pontos, os quais passaram por correção utilizando como base a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC), nesta ocasião foi utilizada a estação GOJA, que fica alocada na Universidade Federal de Jataí (UFJ). Foi utilizado o software Trimble Business Center, licenciado para o laboratório de geoinformação, para realizar a correção diferencial das coordenadas dos pontos coletados.

Através do Sistema de Informação Geográfico (SIG), ArcGIS® 10.8 licenciado para o autor da pesquisa, foram gerados os MDEs das imagens, além das curvas nível e declividade. A prefeitura de Jataí – GO, fornece de maneira pública em sua homepage uma base cartográfica em formato DWG com curvas de nível com equidistância de 1 metro, a qual passou por processo de interpolação utilizando o mesmo SIG, resultando em um MDE.

Para extrair os valores de altitude e declividade dos MDEs, utilizou a ferramenta *zonal statistics as table* localizada na ferramenta *arctoolbox* do ArcGIS 10.8, que gera a partir dos pontos coletados em campo uma tabela com os valores de altitude e posteriormente de declividade. Vale ressaltar que os MDEs não passaram por nenhum processo de correção.

Os dados de declividade foram gerados através da ferramenta *slope* do ArcGIS e foram classificadas de acordo com a Embrapa, sendo a declividade separadas da seguinte forma: (a)

plano: 0 a 3%, (b) suave ondulado: 3 a 8%, (c) ondulado: 8 a 20%, (d) forte – ondulado: 20 a 45%, (e) montanhoso: 45 a 75% e (f) escarpado: maior que 75%.

A quinta e última etapa consistiu em realizar análises estatísticas, dentre elas: o coeficiente de correlação linear de Pearson - R, o coeficiente de determinação - R², a raiz do erro médio quadrático - EMQ e o índice de Willmott et. al. - D (1985). Essas análises utilizaram os pontos coletados em campo pós correção como verdade, para comparar as cotas de altitude de cada MDE. Além disso, também foi realizado uma comparação entre as declividades geradas pelos MDE das imagens e dos dados disponibilizados pela prefeitura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos 33 pontos coletados em campo com o GNSS e pela extração dos dados dos MDEs, observou que as altitudes mais baixas foram: : 602,9 m, 607,9 m, 608,0 m e 615,0 m, para os dados coletados com o GNSS, o MDE da prefeitura de Jataí, o MDE do Alos Palsar e o MDE do SRTM, respectivamente. Seguindo esta mesma ordem, porém, para as cotas médias: 717,2 m, 721,0 m, 719,9 m e 726,6 m, e para as cotas máximas: 853,4 m, 857,9 m, 858,0 m e 863,0 m (tabela I). Desta forma, observa-se que entre os 04 conjuntos de dados analisados, o SRTM é o produto que mais superestima os dados altimétricos de superfície.

Tabela I – Pontos coletados em campo com GNSS e cotas dos MDEs

Ponto	Longitude	Latitude	GNSS	Prefeitura	Alos Palsar	SRTM
1	423984,72	8025145,30	776,2	780,6	778,0	783,0
2	423785,46	8024359,86	706,1	710,0	708,0	715,0
3	425271,78	8022874,13	649,9	653,9	654,0	660,0
4	423118,47	8026529,33	812,7	817,6	818,0	824,0
5	422707,56	8020015,95	640,4	645,1	645,0	653,0
6	421386,95	8021193,05	726,9	731,2	724,0	731,0
7	420666,05	8020477,55	687,9	690,4	688,0	696,0
8	428620,15	8020562,62	785,1	789,9	788,0	795,0
9	421434,84	8019420,89	688,6	693,1	690,0	696,0
10	423779,57	8016885,72	640,3	645,0	644,0	650,0
11	422797,72	8021317,10	683,5	687,9	689,0	695,0

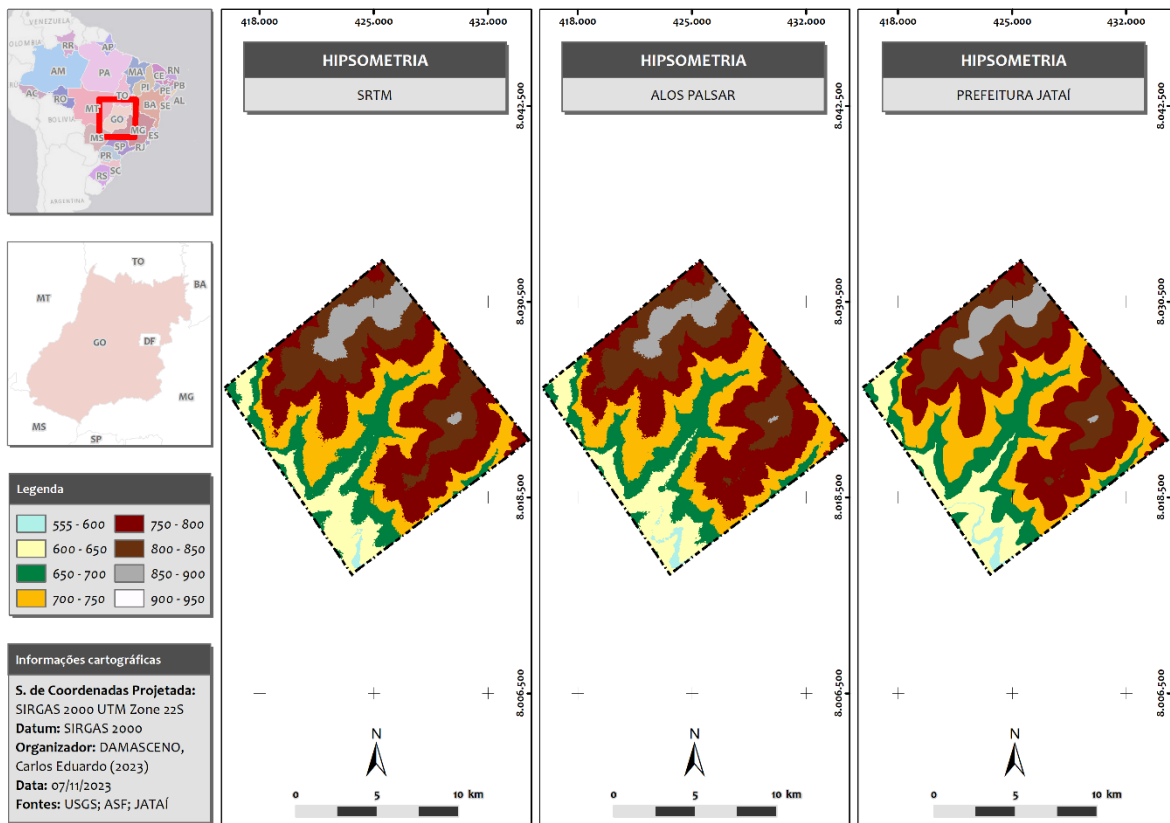
12	423878,36	8020304,85	629,7	633,7	633,0	640,0
13	430179,33	8021889,95	797,9	802,6	803,0	808,0
14	423080,11	8022578,27	755,3	752,0	752,0	755,0
15	422204,45	8023761,70	771,3	776,0	777,0	784,0
16	426277,20	8023829,67	716,6	721,1	719,0	725,0
17	430240,49	8023934,00	830,1	834,4	833,0	841,0
18	426051,92	8025561,97	670,9	676,7	676,0	682,0
19	424504,55	8021533,29	640,8	645,1	644,0	653,0
20	423065,48	8019642,71	622,5	627,2	627,0	634,0
21	422155,02	8025246,06	774,7	777,0	772,0	778,0
22	423305,07	8023775,18	756,5	761,3	758,0	764,0
23	421541,39	8026970,18	827,8	832,7	831,0	838,0
24	422903,58	8028308,79	853,4	857,9	858,0	863,0
25	426034,84	8018544,84	750,9	755,5	753,0	762,0
26	419441,29	8024575,04	772,4	777,0	777,0	784,0
27	420242,61	8021626,90	647,3	652,3	653,0	660,0
28	422966,29	8022692,97	760,5	758,8	757,0	765,0
29	420564,22	8018551,55	625,8	623,5	632,0	638,0
30	423058,74	8018083,31	602,9	607,9	609,0	616,0
31	422959,64	8015985,77	603,5	608,2	608,0	615,0
32	421267,32	8022045,40	712,1	715,2	709,0	714,0
33	424950,28	8025430,26	748,1	752,5	751,0	760,0

Fontes: USGS; ASF; Jataí
Organização: próprio autor

Ao avaliar os dados hipsométricos (figura 2), pode-se notar diferenças na espacialização para cada classe de altitude, principalmente entre os produtos SRTM e Alos Palsar em comparação com o levantamento realizado pela prefeitura de Jataí. Isso se deve, principalmente, a resolução espacial existente em cada produto, sendo que o SRTM trabalha em escala de 1:150.000 e o Alos Palsar 1:62.500.



Figura 2 – Mapa Hipsométrico dos MDEs



Fontes: USGS; ASF; Jataí
Organização: próprio autor

Como critério de validação, utilizou como verdade os dados coletados pelo GNSS, em que resultou em uma alta correlação com os MDEs avaliados, os coeficientes de Pearson, de determinação e o índice de Willmott, todos, obtiveram resultados superiores a 0,99, determinando alta correlação e ótimo desempenho dos MDEs (tabela II).

Porém, para o erro quadrático médio foi observado que os dados gerados pelo ALOS PALSAR em relação ao GNSS apresentaram erro de 15,56 metros. Já os MDEs gerados a partir das curvas de nível da base disponibilizada pela prefeitura e do SRTM resultaram em um erro quadrático médio de 21,71 metros e 53,70 metros, respectivamente. A partir dessa análise, pode-se dizer que os dados gerados pelos MDEs podem ser utilizados para uma análise geral da altimetria, mas que não devem ser utilizados em aplicações que necessitem de maior acurácia como obras de engenharia, por exemplo, principalmente devido à resolução espacial.



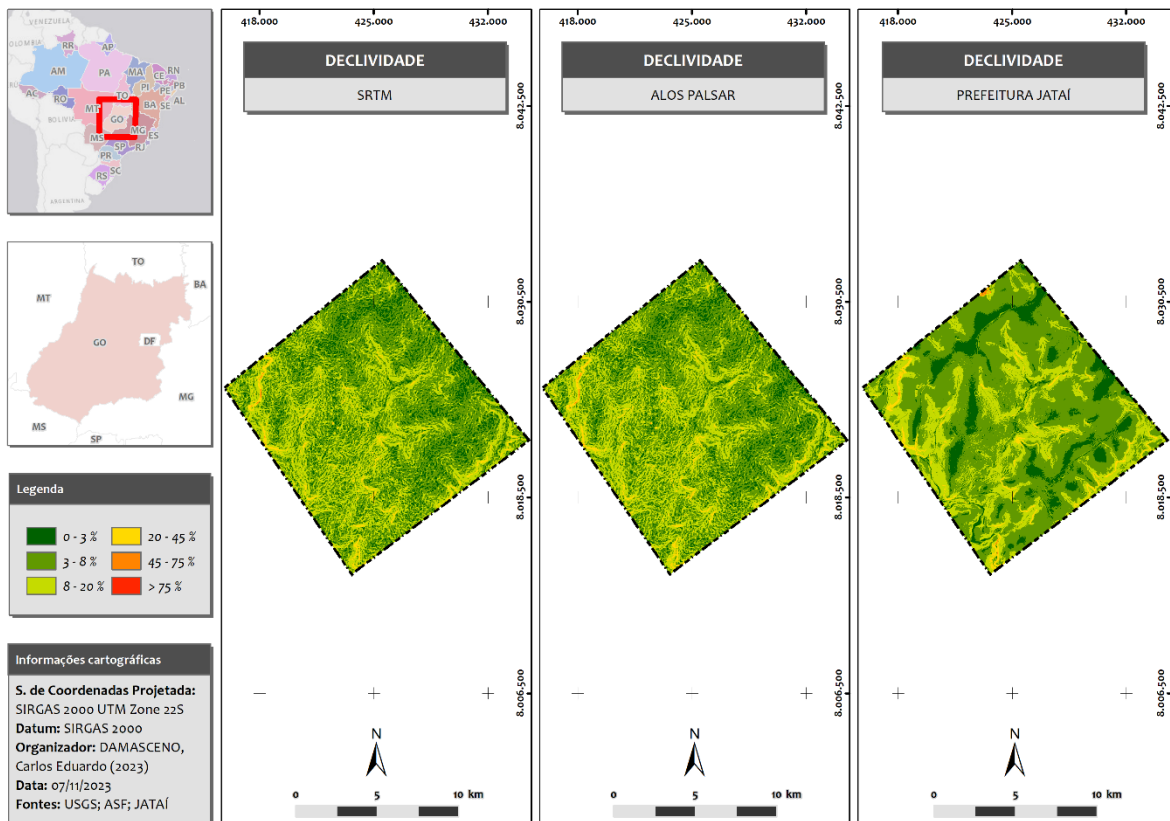
Tabela II – Correlações e Erro Médio Quadrático entre os MDEs

Correlação linear de Pearson	R (GNSS-PREF)	0,99957
	R (GNSS-AP)	0,99923
	R (GNSS-SRTM)	0,99899
Coefficiente de determinação	R ² (GNSS-PREF)	0,99914
	R ² (GNSS-AP)	0,99846
	R ² (GNSS-SRTM)	0,99799
Índice de Willmott	D (GNSS-PREF)	0,99907
	D (GNSS-AP)	0,99952
	D (GNSS-SRTM)	0,99426
Erro Médio Quadrático	EMQ (GNSS-PREF)	21,71
	EMQ (GNSS-AP)	15,56
	EMQ (GNSS-SRTM)	53,70

Fontes: USGS; ASF; Jataí
Organização: próprio autor

Para os dados de declividade não foi possível gerar um modelo de validação a partir dos pontos coletados pelo GNSS, pois são poucos pontos para fazer um MDE com precisão. Diante disto, foram gerados apenas para os MDEs da prefeitura, ALOS PALSAR e SRTM.

De acordo com a figura 3, as classes que apresentaram maiores diferenças foram: suave ondulado, onde os dados da prefeitura registraram 107,30 km² (58,7%) da área total e os dados do ALOS PALSAR e SRTM, registraram 93,54 km² (51,18%) e 94,40 km² (51,64%) respectivamente; e a classe ondulado foi identificada para os dados da prefeitura 46,37 km² (25,36%), já para o ALOS PALSAR e SRTM foram identificados 63,58 km² (34,78%) e 63,49 km² (34,73%). Estes números indicam um alerta importante quanto ao uso descuidado que tem sido feito destes modelos para elaboração de mapas de declividade, sem os devidos processos de calibração e ajustes do modelo e, ainda, sem a devida validação das informações em campo.

**Figura 3 – Mapa de Declividade para os MDEs**

Fontes: USGS; ASF; Jataí
Organização: próprio autor

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das análises realizadas percebe-se que os dados gerados através dos MDEs da missões do ALOS PALSAR e SRTM, e os dados da prefeitura de Jataí podem ser utilizados para uma análise mais superficial, pois esses dados representam bem a variação altimétrica do terreno, de acordo com as correlações realizadas.

Porém para estudos onde seja necessário maior acurácia, nota-se a partir dos dados levantados pelo GNSS que os MDEs não representam com precisão as cotas e consequentemente a declividade, devido principalmente a resolução espacial dos dados. Sendo assim, o estudo é importante para demonstrar que em trabalhos que necessitem de maior acurácia deve-se usar equipamentos que irão proporcionar maior precisão dos dados, assim como o GNSS de alta precisão. Outro equipamento que pode ser utilizado com maior acurácia

posicional e altimétrica são os drones, sendo assim, é importante que hajam novas pesquisas utilizando estas tecnologias.

REFERÊNCIAS

ALBA, P. J.; AMADO, T. J. C., NICOLOSO, R. S.; SCHOSSLER, D. S.; TRINDADE, B. S. Comparação de Modelos de Altitudes com Diferentes Fontes de Dados. Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão (Anais), Ribeirão Preto/SP, 2010.

ARAÚJO, P. V. do N., AMARO, V. E., ALCOFORADO, A.V. C., SANTOS A. L. S. dos., 2019. Acurácia Vertical e Calibração de Modelos Digitais de Elevação (MDEs) para a Bacia Hidrográfica Piranhas-Açú, Rio Grande do Norte, Brasil. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, 351 – 364.

ASF. PALSAR RTC DEM Information. Disponível em: <<https://asf.alaska.edu/information/palsar-rtc-dem-information/>>. Acesso em: 06 abr. 2023.

Girão, R. S., Vicens, R. S., Fernandes, P. J. F., Barbalho, L. V., 2019. Avaliação da Acurácia Vertical de Modelos Digitais de Elevação (MDEs) para o Estado do Rio de Janeiro Através de Algoritmos de Automatização. Revista Caminhos de Geografia, 72 – 92.

MELGAÇO, L. M.; SOUZA, Filho, C. R.; STEINMAYER, M. Comparação entre modelos digitais de elevação gerados por sensores ópticos e por radar. In: Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 1215-1220.

MICELI, B. S.; DIAS, F. de M.; SEABRA, F. M.; SANTOS, P. R. A. dos; FERNANDES, M. do C. Comparação da Avaliação Vertical de Modelos Digitais de Elevação para Médias e Pequenas Escalas em Diferentes Configurações Topográficas. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife - PE, 2010. p. 001 – 007.

HOFF, R.; J. R. DUCATI; M. BERGMANN. Comparação de dados de modelo digital de elevação - MDE: ASTER e SRTM por processamento digital de imagem para identificação de terroir vitivinícola na Folha Encruzilhada do Sul, RS, Brasil. In Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 215-222.

HUGGEL, C.; D. SCHNEIDER, D.; MIRANDA, P. J.; GRANADOS, H. D.; KÄÄB, A. Evaluation of ASTER and SRTM DEM data for lahar modeling: A case study on lahars from Popocatepetl Volcano, Mexico. Journal of Volcanology and Geothermal Research 170 (2008) 99–110. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: 07 abr. 2023.

RAVELLO, M. M. Análise da Utilização do MDE SRTM e do MDE ASTER para Determinação do Traçado da Rede de Drenagem, da Delimitação de Bacias Hidrográficas e das Curvas Cota x Área e Cota x Volume de Reservatórios. 8p. 2009.



RODRIGUEZ, E; MORRIS, C. S.; BELZ, E. A Global Assessment of the SRTM Performance. Photogrammetric engineering & remote sensing. 2006. Disponível em: < <https://www.ingentaconnect.com/content/asprs/pers/2006/00000072/00000003/art00002>>. Acesso em: 03 nov. 2023.

USGS - United State Geological Survey. USGS EROS Archive - Radar - ALOS PALSAR Radar Processing System. Disponível em: < <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-radar-alos-palsar-radar-processing-system>>. Acesso em: 07 abr. 2023.

Valeriano, M. D. M., 2008. Topodata: Guia Para Utilização De Dados. São José dos Campos, INPE, 73.

VIEL, J. A. ROSA, K. K. MENDES JUNIOR, C. W. Avaliação da Acurácia Vertical dos Modelos Digitais de Elevação SRTM, ALOS World 3D e ASTER GDEM: Um Estudo de Caso no Vale dos Vinhedos, RS – Brasil. Revista Brasileira de Geografia Física v.13, n.05 (2020) 2255-2268.

WILLMOTT, C. J. et al. Statistics for the evaluation of model performance. Journal of Geophysical Research, v.90, n.C5, p.8998-9005, 1985.