

Capítulo VI

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE A ACURÁCIA DE DIFERENTES PRODUTOS PROVENIENTES DE LEVANTAMENTOS COM AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS (ARPs): APLICAÇÕES EM AMBIENTES COSTEIROS



ESTUDO COMPARATIVO ENTRE A ACURÁCIA DE DIFERENTES PRODUTOS PROVENIENTES DE LEVANTAMENTOS COM AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS (ARPs): APLICAÇÕES EM AMBIENTES COSTEIROS

Breno Pereira¹; Miguel Albuquerque²

¹Universidade Federal de Pelotas – UFPel. Pelotas, RS. CEP: 96010-61. brenomello178@gmail.com (autor correspondente)

²Universidade Federal do Rio Grande – FURG. Rio Grande, RS. CEP: 96203-900. miguel.albuquerque@riogrande.ifrs.edu.br

RESUMO

No âmbito da geomorfologia de ambientes costeiros, dados topográficos precisos são frequentemente necessários para a avaliação das mudanças morfológicas desses ambientes. Nesse contexto, o uso das Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs) tem se mostrado eficiente para geração de produtos de alta resolução espacial. O presente estudo se propôs a comparar dados de duas plataformas ARPs distintas, o Aibot X6 e o DJI Phantom 4 Pro, para caracterização das principais diferenças existentes entre as informações coletadas para regiões litorâneas. A partir de levantamentos aéreos foi possível traçar um comparativo entre os produtos coletados. Após a realização do voo se procedeu em laboratório ao tratamento dos dados, que consistiu no alinhamento das fotos, inserção dos pontos de controle e na análise comparativa de acurácia. O alinhamento consistiu na etapa de identificação dos pontos homólogos, onde foi feita a sobreposição das imagens, e inserção dos pontos de controle. A obtenção da nuvem de pontos é feita a partir do método de interpolação estatística Inverso do Quadrado da Distância (IDW). A partir das tabelas comparativas, os produtos obtidos pela aeronave Aibot X6 apresentaram um erro geométrico 56,3% menor que os produtos gerados a partir de dados do DJI Phantom 4 Pro. Por fim, levando em consideração a qualidade posicional e custo de aquisição, os projetos do Aibot X6, os quais apresentaram diferenças centimétricas em relação aos do DJI Phantom 4 Pro, se mostraram mais precisos. Em contrapartida, a diferença de valores entre as aeronaves não se justifica quando o estudo tem como enfoque a criação de curvas de nível.

Palavras-chave: drones; zonas costeiras; MDE; geomorfologia.

ABSTRACT

In the context of the geomorphology of coastal environments, precise topographic data are often needed to assess the morphological changes in these environments. In this context, the use of Unmanned Aircraft Vehicle (UAV) has been shown to be efficient for the generation of products with high spatial resolution. The present study aimed to compare data from two different UAV platforms, Aibot X6 and DJI Phantom 4 Pro, to

characterize the main differences between the information collected for coastal regions. From aerial surveys it was possible to draw a comparison between the collected products. After the flight had been completed, the data was processed in the laboratory, which consisted of aligning the photos, inserting the control points and comparative accuracy analysis. Alignment consisted of the homologous point identification step, where the images were superimposed, and control points were inserted. Obtaining the point cloud is done using the Inverse Square of Distance (IDW) statistical interpolation method. From the comparative tables, the products obtained by the Aibot X6 aircraft presented a geometric error 56.3% smaller than the products generated from the DJI Phantom 4 Pro data. Finally, taking into account the positional quality and acquisition cost, the designs of the Aibot X6, which differed centimeters from those of the DJI Phantom 4 Pro, proved to be more accurate. On the other hand, the difference in values between the aircraft is not justified when the study focuses on the creation of contour lines.

Keywords: drone; coastal zone; DEM; geomorphology.

INTRODUÇÃO

As zonas costeiras são caracterizadas por serem ambientes que estão permanentemente se modificando e se adaptando às mudanças meteorológicas e de balanço sedimentar, buscando o equilíbrio dinâmico. No âmbito da geomorfologia destes ambientes, dados topográficos precisos são frequentemente necessários para a avaliação das mudanças morfológicas da superfície terrestre e para a implementação de modelos que possam prever, por exemplo, a evolução costeira. As limitações impostas por outros métodos de aquisição de dados planialtimétricos (e.g. uso de GNSS, nivelamento topográfico com uso de estação total ou nível) tornam tais levantamentos, segundo ALMEIDA et al. (2020), dispendiosos em tempo e custos de campo, além de resultar em produtos com menor detalhamento. Nesse sentido, a alta

resolução espacial de dados provenientes de sensores aerotransportados em Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs) se mostram eficientes, por exemplo, na produção de Modelos Digitais de Elevação (MDEs).

Um entendimento de como os fatores naturais e antrópicos agem sobre o comportamento local das zonas costeiras é fundamental para uma análise em diferentes escalas espaço-temporais (ALBUQUERQUE et al., 2020). Nesse contexto, esse estudo se propõe a comparar dados de duas plataformas ARPs distintas, caracterizando as principais diferenças existentes entre as informações coletadas para a elaboração de MDEs de regiões litorâneas abrangidas por campo de dunas, sangradouros (washouts), entre outras feições costeiras.

Tendo em vista que atualmente existem no mercado várias plataformas ARPs, com diferentes preços (PEREIRA, 2019), o presente trabalho buscou avaliar as diferenciações entre a qualidade de dados gerados por distintas plataformas ARPs. O

estudo buscou também traçar um comparativo no que se refere à acurácia vertical dos MDEs obtidos por sensores a bordo de aeronaves de mesma estrutura de voo, mas com faixas de preço diferentes.

O estudo foi realizado na praia do Cassino, localizada no litoral sul do estado do Rio Grande do Sul (RS), Brasil. A área piloto se concentrou na região do sangradouro da rua Pelotas (Figura 1). Essa localidade foi escolhida por apresentar diferentes feições típicas da planície costeira do RS, tais como campo de dunas com e sem vegetação, sangradouros e face de praia.

A praia do Cassino é a estância balnear mais antiga da metade sul do estado do RS, além de ser uns dos principais destinos turísticos de milhares de pessoas durante o verão (OLIVEIRA et al., 2020). A praia é classificada no estágio morfodinâmico dissipativo, de acordo com a classificação proposta por WRIGHT & SHORT (1984), além de ter uma costa dominada pela ação das ondas, sedimentos de granulometria fina e ventos predominantes de NE.

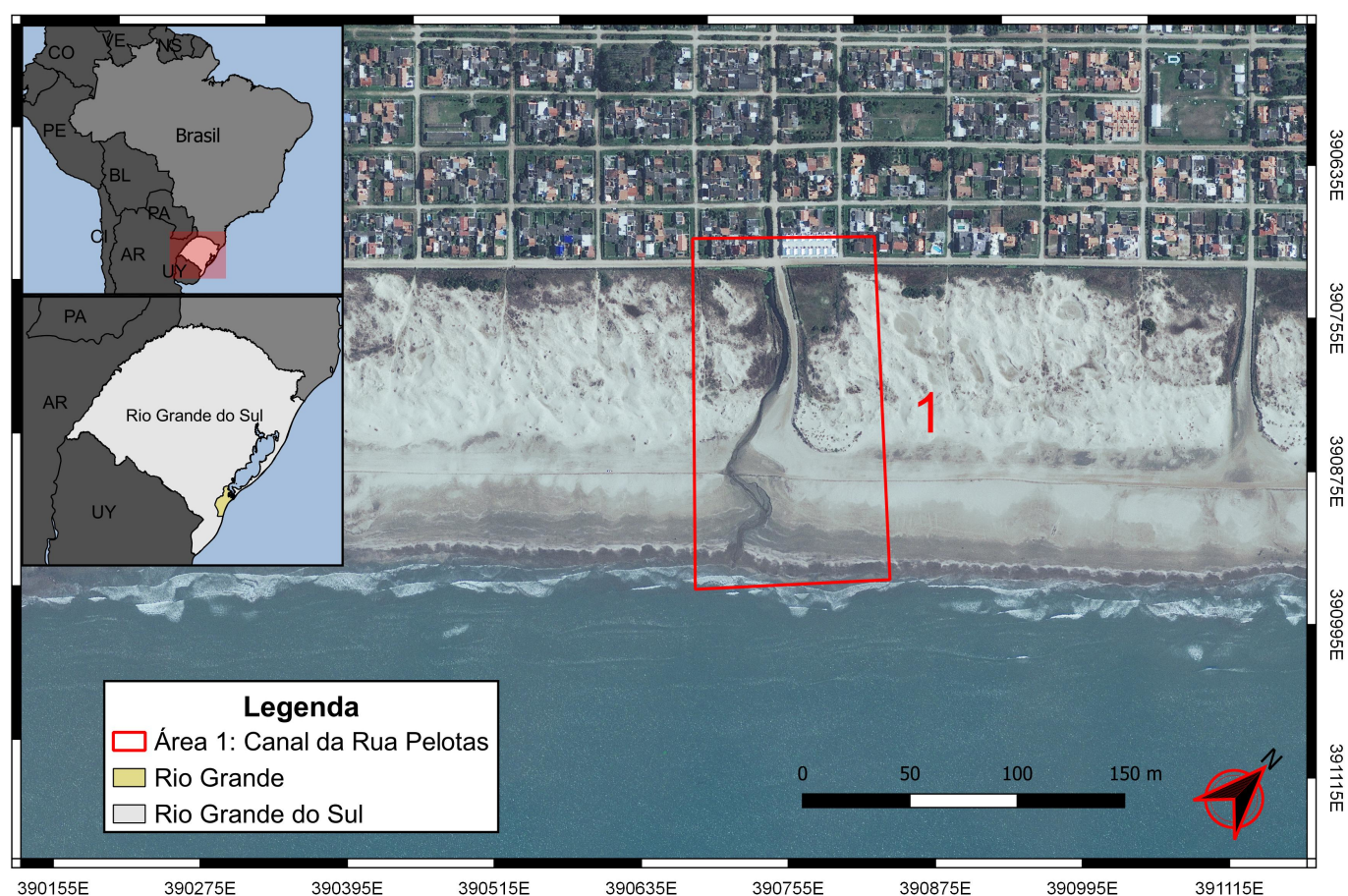


Figura 1. Área de estudo no Balneário Cassino.

MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente foi realizado um levantamento bibliográfico referente aos estudos envolvendo ARPs em termos gerais, e sobre ambientes costeiros. O fluxograma da figura 2 descreve, de forma resumida, todos os passos metodológicos necessários para o desenvolvimento deste estudo.

Na etapa de planejamento foram definidos os parâmetros do levantamento aéreo, a cobertura

da sobreposição, a área de imageamento, as linhas de voos e outras demais variáveis. Levando em conta que o estudo contou com levantamentos de duas plataformas distintas, a ARP DJI Phantom 4 Pro e o Aibot X6, foram elaborados dois planos de voo para a mesma área utilizando os mesmos parâmetros, pois cada plataforma usa programas distintos para a elaboração dos blocos fotogramétricos.

Para o voo realizado com a *ARP DJI*

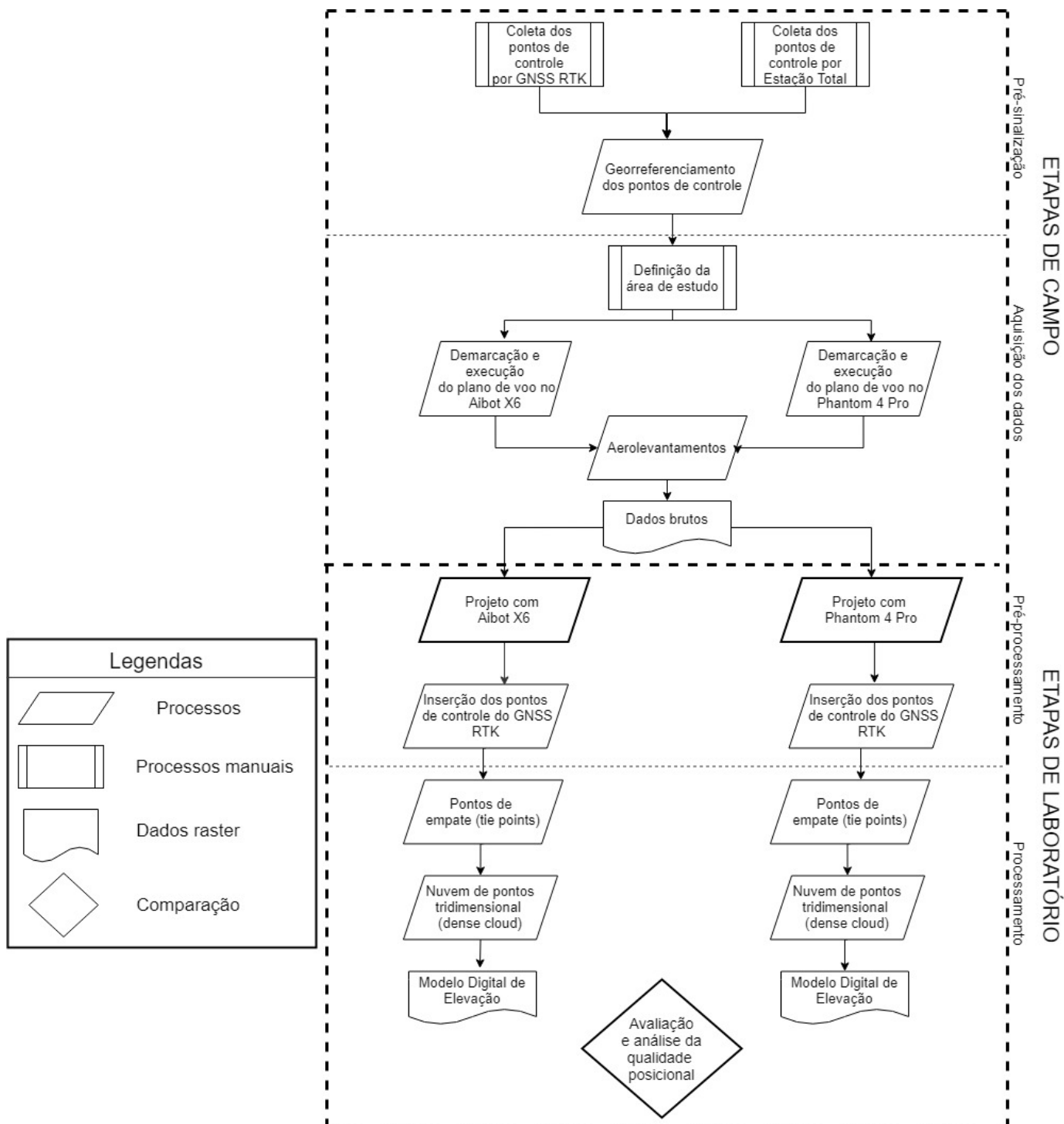


Figura 2. Fluxograma metodológico.

Phantom 4 Pro, o plano de voo foi elaborado no programa *Drone Deploy* e para o *Aibot X6* foi utilizado o programa *AiPro Flight*. A velocidade máxima de deslocamento foi de 10 m/s, a altura do voo foi de 50 m, o recobrimento de voo, para ambos os planos de voo foi de 60% de sobreposição lateral, 70% de sobreposição frontal e com distância focal automática. Os demais parâmetros de voo estão descritos de forma completa na Tabela I.

Em relação aos aparelhos, tanto o *Aibot X6* quanto o *Phantom 4 Pro* são aeronaves do tipo multirrotor. Em relação aos valores de mercado, o *Aibot X6* tem um custo médio de US\$ 30.000,00, ao passo que o *DJI Phantom 4 Pro* gira em torno de

US\$ 3.500,00. Informações referentes ao tipo de sensor de imagem utilizado e outros parâmetros estão descritos na Tabela II.

O *Aibot X6* (Figura 3A) é um hexacóptero com peso de 3,4 kg, que possui um sistema de navegação auxiliado por um receptor GNSS topográfico. Dentre as unidades de processamento e sensores disponíveis, o *Aibot X6* dispõe de um giroscópio, acelerômetro, barômetro, magnetômetros, sensores ultrassônicos e uma unidade inercial. O *DJI Phantom 4 Pro* (Figura 3B) é um quadricóptero com peso de 1,4 kg que, além de possuir sensores de obstáculos, conta com um sistema de navegação aliado por um receptor GNSS de navegação. A aeronave conta com uma bússola,

Tabela 1: Informações dos planos de voos dos levantamentos aéreos com as ARPs *DJI Phantom 4 Pro* e *Aibot X6*.

ARP	Localidade	Área (m ²)	Altura do voo (m)	GSD (cm)	Sobreposição lateral e frontal	Linhas de voo
<i>DJI Phantom 4 Pro</i>	Canal da rua pelotas, Casino (RS)	40350,00	50,00	1,28	60% x 70%	06
<i>Aibot X6</i>	Canal da rua pelotas, Casino (RS)	40754,00	50,00	1,32	60% x 70%	05

Tabela 2: Principais características das câmeras utilizadas nos levantamentos aéreos. Fonte: Albuquerque *et al.* (2020).

Características	Camera Nikon Coolpix A (Acoplada no <i>Aibot X6</i>)	Camera FC 6310 (Acoplada no <i>DJI Phantom 4 Pro</i>)
Resolução	4928 x 3264	5472 x 3648
Sensor	CMOS	1" CMOS
Lente	1x optical NIKKOR glass	FOV 84° 8.8 mm/ 24 mm
<i>Pixels</i> efetivos	16 MP	20 MP
Velocidade do obturador	1/2000-30 s	8-1/8000 s



Figura 3. A- aeronave Aibot X6; B- aeronave DJI Phantom 4 Pro.

barômetro e módulos IMU (Sistema Inercial) para auxiliar nos sistemas de navegação e orientação.

Na etapa de campo foram coletados dados provenientes de dois levantamentos aéreos, com uso das duas plataformas ARPs, e para a mesma área de estudo. Esse procedimento foi estabelecido de forma a traçar um comparativo entre os diferentes produtos gerados por aeronaves distintas. Após a realização do voo se procedeu, em laboratório, com o processo de tratamento dos dados. Esse procedimento, realizado a partir do programa *Agisoft Photoscan*, constituiu no alinhamento das fotos, no reajustamento do bloco fotogramétrico a partir da inserção dos pontos de controle (*workflow* do *Structure from Motion – SfM*), na inserção e na verificação dos pontos de controle e na análise comparativa de acurácia.

O alinhamento consistiu na etapa de identificação dos pontos homólogos, onde foi feita a sobreposição das imagens coletadas que dá origem aos pontos de empate (*tie points*). Esse processo foi efetuado entre as imagens sobrepostas, seguindo a sobreposição proposta no plano de voo. Na sequência foi realizado o processo de inserção de pontos de controle, os quais foram coletados por um receptor GNSS geodésico Leica GS15, no modo de posicionamento relativo semicinemático (*stop and go*), que posteriormente foram pós-processados a partir da ferramenta MAPGEO, que transforma as coordenadas de “Z” em valores de ondulação geoidal (H), este é obtido pela subtração da altitude registrada pelo receptor GNSS elipsoidal (h) pelo valor do modelo geoidal (N), após esse

processo, foi ainda checado e reajustado a posição desses pontos. A obtenção da nuvem de pontos (*dense cloud*) foi feita após a realização dos procedimentos descritos acima, e sua construção é feita por interpolação estatística dos pontos gerados. O método estatístico utilizado foi o inverso do quadrado da distância (IDW) o qual atribui um valor altimétrico para cada pixel da área fotografada.

As etapas de pós-processamento são responsáveis pela análise comparativa de todos os Modelos Digitais de Elevação (MDEs) obtidos. Nesta etapa são criados os indicadores estatísticos, que servirão de base para a avaliação dos produtos obtidos. Ao total são três os indicadores utilizados: o RMSE (Raiz do Erro Quadrático Médio), o coeficiente de determinação e o desvio padrão. Todas estas são medidas frequentemente utilizadas para análises da diferença entre os valores previstos por um modelo e os valores realmente observados no ambiente em que está sendo modelado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados a seguir dizem respeito à análise comparativa dos MDEs obtidos pelos aerolevantamentos (Figura IV), em relação aos erros geométricos e os indicadores estatísticos. Erros geométricos são valores obtidos pelos projetos após o alinhamento das fotos, são no total cinco: erro longitudinal (X); erro latitudinal (Y); erro de altitude (Z); erro global e o erro de pixel.

Quando comparados os erros obtidos pelos

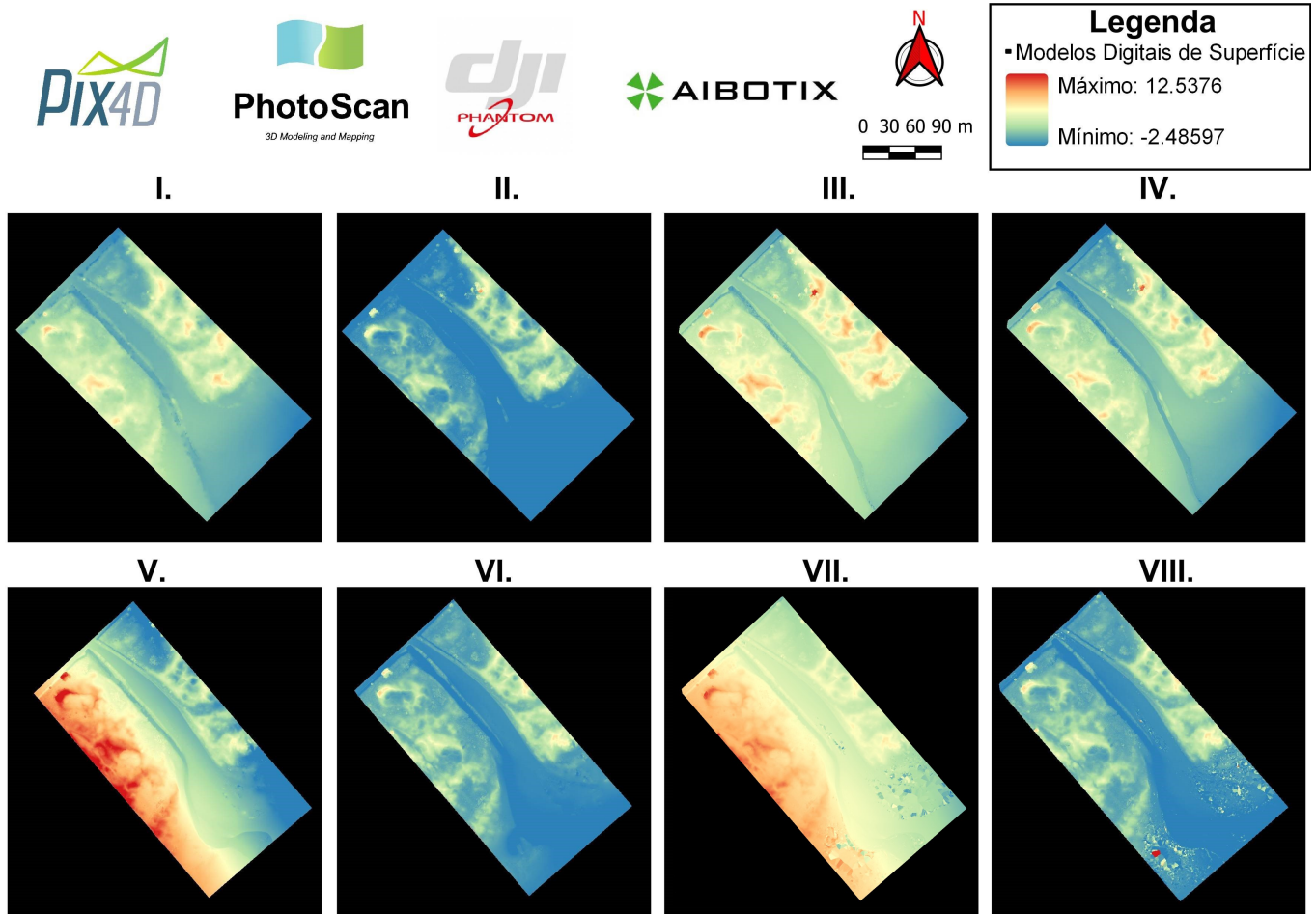


Figura 4. Modelos Digitais de Superfície.

produtos (Tabela III), em relação ao somatório de todos os erros e observou que os menores erros foram obtidos no projeto do *Aibot X6* (erro global de 1,99 m). Tal fato ocorreu em virtude desta aeronave possuir um sensor GPS topográfico embarcado, o que lhe conferiu uma maior precisão posicional quando comparado ao *Phantom 4 Pro*, o qual possui um sensor GPS de navegação, e apresentou um erro global de 3,63 m. Os produtos obtidos pela aeronave *Aibot X6* apresentaram um erro geométrico 56,3% menor que os produtos gerados a partir de dados do *DJI Phantom 4 Pro*.

LONGLEY et al. (2013) destacam que a geração de modelos digitais de elevação, a partir de dados de levantamentos aéreos, está sujeita a erros geométricos inerentes do processo de aquisição fotogramétrica, e das etapas de processamento aplicadas. Esses erros geram incertezas nos modelos produzidos, conferindo intervalos de exatidão para as medidas planimétricas e altimétricas estimadas.

Outro ponto a se observar é a inserção de

pontos de controle na confecção dos produtos. Os Pontos de Controle compõem um conjunto de pontos empregados para geração de modelos topográficos, e melhoramento da qualidade posicional dos produtos. Para os projetos do *Aibot X6*, a inserção dos Pontos de Controle no projeto contribuiu para uma melhora no erro médio global de 0,76 m, e no *Phantom 4 Pro*, de 1,26 m.

Dentre os possíveis fatores que influenciam nos erros dos produtos obtidos, a degradação do sinal do GNSS em um dado momento da tomada de fotos, a influência do vento e a iluminação solar incidente estão entre os principais (ALBUQUERQUE et al., 2020). A qualidade de um MDE depende do tipo e da magnitude dos erros relacionados. Para mensurar esses erros, Santos et al. (2016) destacam a utilização de pontos de controle e de comparação. Os MDEs são visões simplificadas da realidade, submetidas a um processo de generalização. O emprego dos MDEs, segundo Almeida et al. (2020), são fundamentais para um melhor entendimento da geomorfologia e

Tabela 3: Erros geométricos para o processamento dos dados no *software Agisoft Photoscan*.

Projeto	Erro longitudinal (m)	Erro latitudinal (m)	Erro de altitude (m)	Erro global (m)	Erro longitudinal (pix)
<i>Aibot X6</i> sem uso de GCP	0,377148	0,593394	2,263618	2,370365	0,443
<i>Aibot X6</i> com uso de GCP	0,370379	0,438510	0,469673	1,613393	0,292
<i>DJI Phantom 4 Pro</i> sem uso de GCP	1,661982	1,487865	3,367058	4,260676	0,540
<i>DJI Phantom 4 Pro</i> com uso de GCP	1,350931	1,047595	0,936688	3,007514	0,465
Média Aibot X6	0,373764	0,515952	1,366646	1,991879	0,368
Média DJI Phantom 4 Pro	1,506457	1,267730	2,151873	3,634095	0,503

dos processos envolvidos na dinâmica do ambiente costeiro.

Os parâmetros modelados são, portanto, inerentemente imprecisos embora sua representação possa realizar-se com mais ou menos exatidão, dependendo do método de coleta de dados utilizados (CHAGAS et al., 2010). Os indicadores estatísticos dizem respeito aos valores do RMSE, o coeficiente de determinação e o desvio padrão obtido pelos projetos. As Tabelas IV e V mostram os valores das coordenadas (Z) dos pontos de comparação, o valor respectivo aos modelos e os indicadores estatísticos obtidos para os produtos do *Phantom 4 Pro* e o *Aibot X6*.

Comparando os resultados dos indicadores estatísticos entre o *Phantom 4 Pro* e o *Aibot X6* foi possível observar que, o projeto sem pontos de controle do *Aibot X6* apresentou um RMSE 1,35 m maior, com um coeficiente de determinação considerado baixo (0,282). O projeto do *Phantom 4 Pro* sem pontos de controle apresentou um coeficiente de determinação 0,468 m maior (0,75 m), com um RMSE de 1,063 m. Sob perspectiva

contrária, ao utilizar-se de pontos de controle o *Aibot X6* apresentou resultados expressivamente melhores, com um RMSE de 0,081 m, enquanto o *Phantom 4 Pro* apresentou 0,417 m, correspondendo a uma acurácia posicional 80,1% maior em relação ao somatório dos erros.

Conforme apontado por COELHO & BRITO (2007), ao utilizar-se de pontos de controle, devidamente determinados, no que se refere a produção de Modelos Digitais de Elevação, estes ocasionam uma melhora nos resultados dos modelos gerados, reduzindo os erros sistemáticos que são introduzidos por erros de orientação das plataformas e artefato numéricos produzidos pelos algoritmos de aerotriangulação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em relação a qualidade posicional dos produtos gerados pelas ARPs se concluiu que o uso de pontos de controle, como suporte aos levantamentos aéreos, foi de grande importância para conferir uma alta precisão aos MDEs,

Tabela 4: Análise estatística dos dados obtidos pela ARP *DJI Phantom 4 Pro*.

Parâmetros estatísticos	<i>DJI Phantom 4 Pro</i> com GCPs	<i>DJI Phantom 4 Pro</i> sem GCPs
RMSE	0,417	1,063
Coeficiente de determinação (R^2)	0,989	0,750
Desvio padrão	0,821	0,884

Tabela 5: Análise estatística dos dados obtidos pela ARP *Aibot X6*.

Parâmetros estatísticos	<i>Aibot X6</i> com GCPs	<i>Aibot X6</i> sem GCPs
RMSE	0,081	2,422
Coeficiente de determinação (R^2)	0,997	0,282
Desvio padrão	1,075	1,671

especialmente se estes tiverem um enfoque regional ou local. Quando contabilizada a questão do custo-benefício das aeronaves, o estudo concluiu que o Aibotix X6 se mostrou mais adequado, por apresentar diferenças centimétricas quando comparados aos produtos do DJI Phantom 4 Pro. O estudo concluiu ainda que estudos que buscam enfoque na geração de curvas de nível, por exemplo, a diferença de preço das ARPs não se justifica.

O processamento das imagens obtidas com as ARPs, com sobreposições adequadas, de forma manual com o software Agisoft Photoscan, tanto com e sem pontos de controle, foram considerados satisfatórios. Essas sobreposições se mostraram satisfatórias para realizar um comparativo em termos de acurácia posicional dos produtos obtidos pelas ARPs. Por fim, novos estudos devem ser encorajados visando a melhoria da compreensão e as potencialidades altimétricas das ARPs em outros cenários topográficos e geomorfológicos. Nesse sentido, novos comparativos, com base no escopo desse estudo, são de grande importância para a avaliação da acurácia de produtos gerados em levantamentos aéreos na interface urbana.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS), Campus Rio Grande, pela concessão da bolsa de pesquisa. Ao grupo de pesquisa Geotecnologias e Meio Ambiente do IFRS pelo apoio logístico nas coletas de campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, M. G.; PEREIRA, B. M.; ALVES, D. C. L. & ESPINOZA, J. M. A. 2020. Estudo comparativo entre modelos digitais de elevação obtidos por duas diferentes aeronaves remotamente pilotadas: estudo de caso em uma costa arenosa. *Revista Rede PRODEMA*, 14 (1): 134-150. (disponível em <https://doi.org/10.22411/rede2020.1401.09>).
- ALMEIDA, J. C. D.; ALBUQUERQUE, M. G.; ALVES, D. C. L. & ESPINOZA, J. M. A. 2020. Uso de aeronave remotamente pilotada (ARP) no estudo da geomorfometria de sangradouros: estudo de caso no balneário Cassino, RS. *Arquivos de Ciências do Mar*, 53 (SI): 61-69. (disponível em <https://doi.org/10.22411/rede2020.1401.09>).

<https://doi.org/10.32360/acmar.v53iEspecial.42680>).

CHAGAS, C. S.; FERNANDES FILHO, E. I.; ROCHA, M. F.; CARVALHO JÚNIOR, W. &

SOUZA NETO, N. C. 2010. Avaliação de modelos digitais de elevação para aplicação em um mapeamento digital de solos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14 (2): 218-226. (disponível em <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000200014>).

COELHO, L. & BRITO, J. N. 2007. *Fotogrametria Digital*. 196p. Editora UERJ, Rio de Janeiro. (ISBN: 978-85-7511-114-7).

CRUZ, L. F.; ALBUQUERQUE, M. G.; ESPINOZA, J. M. A.; GANDRA, T. B. R. 2020. Estudo comparativo entre ferramentas de quantificação de variação da linha de costa: estudo de caso do balneário Hermenegildo/ RS – Brasil. In: PAULA, D. P.; DIAS, J. A.; DA FONSECA, L. C.; RODRIGUES, M. A. C.; ALBUQUERQUE, M. G.; PALMA, M.; PEREIRA, S. D. (Eds.). *Diálogos em torno da linha de costa – Tomo IX da Rede Braspor*, pp. 181-191, Ed. UERJ. Rio de Janeiro. (ISBN: 978-65-88808-02-3)

LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. 2013. *Sistemas e Ciência da Informação Geográfica*. 527p. Editora Bookman, Rio de Janeiro. (ISBN: 978-85-65837-69-9)

OLIVEIRA, U. R.; SIMÕES, R. S.; PORTO, F. S.; CAMINHA, E. S.; CALLIARI, L. J. & ROMEU, M. A. R. 2020. Análise da dinâmica praial após a deposição de lama em 2014 na praia do Cassino (RS, Brasil) utilizando aeronave remotamente pilotada. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 21(3): 677-695. (disponível em <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v21i3.1462>).

PEREIRA, B. M. 2019. *Estudo comparativo entre produtos obtidos por sensores embarcados em diferentes sistemas de aeronaves remotamente pilotadas (SARPS): aplicações em ambientes costeiros*. Trabalho de Conclusão de Curso, Curso Técnico em Geoprocessamento, Instituto Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande, Rio Grande do Sul, 104 p.

SANTOS, A. A.; RODRIGUES, D. D.; SANTOS, N. T. & GRIPP JUNIOR, J. 2016. Avaliação da acurácia posicional em dados espaciais utilizando

técnicas de estatística espacial: proposta de método e exemplo utilizando a Norma Brasileira. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 22(4): 630-650. (disponível em <http://dx.doi.org/10.1590/SI982-21702016000400036>).

WRIGHT, L. D. & SHORT, A. D. 1984. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. *Marine Geology*, 56: 93-118.