REDE
ISSN:1982-5528
Revista Eletrônica do PRODEMA
Journal Homepage: www.revistarede.ufc.br
D.O.I: 10.22411/rede2020.1401.09

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO OBTIDOS POR DUAS DIFERENTES AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS: ESTUDO DE CASO EM UMA COSTA ARENOSA

COMPARATIVE STUDY BETWEEN DIGITAL ELEVATION MODELS OBTAINED BY TWO DIFFERENTS REMOTELY PILOTED AIRCRAFT: CASE STUDY ON A SANDY COAST

ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE MODELOS DE ELEVACIÓN DIGITAL OBTENIDOS POR DOS AVIONES DIFERENTES PILOTADOS A DISTANCIA: ESTUDIO DE CASO EN UNA COSTA ARENOSA

Miguel da Guia Albuquerque[1]
Breno Mello Pereira[2]
Deivid Cristian Leal Alves[3]
Jean Marcel de Almeida Espinoza[4]

RESUMO:

Este estudo apresenta uma comparação entre os sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs) *Aibot X6* e *Phantom 4 Pro*, destacando suas principais características quando aplicados aos estudos costeiros. Foram realizados levantamentos aéreos VLOS (*Visual Line of Sight*) de forma a traçar um comparativo entre os produtos gerados, utilizando planos de voo com os mesmos parâmetros fotogramétricos, além de pontos de controle em solo (GCPs) coletados com GNSS-RTK. Uma análise comparativa da acurácia resultou em um RMSE de 0,079 m para o sistema *Aibot X6*, enquanto que o sistema *Phantom 4 Pro* apresentou um RMSE de 0,397 m, determinando assim um erro geométrico 56,3% menor para o primeiro se comparado ao segundo. Para trabalhos que necessitem de informações de alta precisão, o uso dos GCPs para o incremento da qualidade posicional dos produtos se mostrou necessário, sendo uma etapa importante na geração de MDEs precisos. Levando em consideração a qualidade posicional dos produtos, especialmente quando aplicados a projetos onde variações centimétricas são fundamentais, o sistema *Aibot X6* se mostrou mais indicado. Contudo, para levantamentos com menor exigência posicional, inclusive no que tange a precisão vertical do MDE, a significativa diferença de custos entre as aeronaves não se justifica.

Palavras-chave: Drone. Ambiente costeiro. Topografia. Geotecnologias.

ABSTRACT:

This study aims a comparison between the Aibot X6 and Phantom 4 Pro system of Remotely Piloted Aircraft (RPA), highlighting their main characteristics when applied to coastal studies. VLOS (Visual Line of Sight) aerial surveys were carried out in order to draw a comparison between the products generated, using flight plans with the same photogrammetric parameters, in addition to ground control points (GCPs) collected with GNSS-RTK. A comparative analysis of accuracy resulted in an RMSE of 0.079 m for the Aibot X6 system, while the Phantom 4 Pro system presented an RMSE of 0.397 m, thus determining a geometric error 56.3% lower for the first compared to the second. For studies that require high-precision information, the use of GCPs to increase the positional quality of products has proved necessary, being an importante step in the generation of accurate DEMs. Taking into account positional quality of the products, especially when applied to projects where centimeter variations are essential, the Aibot X6 system proved to be more suitable. However, for surveys with

[1]Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS). migueldaguia@gmail.com
[2]Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). brenomello178@gmail.com
[3]Universidade Federal do Rio Grande (UFRG). dclealalves@gmail.com
[4]Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC). espinoza.almeida@gmail.com

ISSN: 1982 - 5528
D.O.I: 10.22411/rede2020.1401.09

less positional requirements, including with regard to the DEM vertical accuracy, the significant cost difference between the aircraft is not justified.

Keywords: Drone. Coastal environment. Topography. Geotechnologies.

RESUMEN:

Este estudio tiene como objetivo una comparación entre los sistemas *Aibot X6* y *Phantom 4 Pro* de Aviones Pilotados a Distancia (RPA), destacando sus principales características cuando se aplica a estudios costeros. Se realizaron levantamientos aéreos VLOS (*Visual Line of Sight*) con el fin de realizar una comparación entre los productos generados, utilizando planes de vuelo con los mismos parámetros fotogramétricos, además de puntos de control en tierra (GCPs), recolectados con GNSS-RTK. Un análisis comparativo de precisión resultó en un RMSE de 0.079 m para el sistema *Aibot X6*, mientras que el sistema *Phantom 4 Pro* presentó un RMSE de 0.397 m, determinando así un error geométrico 56.3% menor para el primero en comparación con el segundo. Para estudios que requieren información de alta precisión, se há demonstrado que es necessario el uso de GCPs para aumentar la calidad posicional de los produtos, siendo um paso importante em la generación de MDEs precisos. Teniendo en cuenta la calidad posicional de los productos, especialmente cuando se aplica a proyectos donde las variaciones de centímetros son esenciales, el sistema *Aibot X6* demostró ser más adecuado. Sin embargo, para los levantamientos con requisitos de posición menores, incluso respecto a la precisión vertical del MDE, la diferencia de costo significativa entre las aeronaves no está justificada.

Palabras-clave: Drone. Entorno costero. Topografía. Geotecnologías.

1 INTRODUÇÃO

Os ambientes costeiros são dinâmicos visto que neles convergem processos terrestres, oceânicos e atmosféricos, que alteram constantemente sua fisiografia (ANGULO, 2004). A atuação de fatores climáticos e oceanográficos controlam a intensidade dos processos costeiros (CALLIARI et al., 2003), de forma que existem diversos métodos para monitorar o resultado de seus agentes (ondas, variação de maré, dentre outros).

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. Nesse contexto, estudos para o aprimoramento das descrições de variáveis morfológicas do ambiente costeiro vêm sendo discutidos e analisados nos últimos anos (HOLANDA et al., 2020). A rapidez com que as alterações nesses ambientes acontecem torna necessária a obtenção de dados precisos e de forma rápida (CRUZ et al., 2020).

Há algumas décadas, quando existia a necessidade de efetuar um registro aéreo de determinada região, recorria-se ao uso de uma aeronave onde nela embarcava um fotógrafo, que seria responsável por efetuar esses registros das áreas de interesse. Na atualidade, com o avanço da geomática, as inovações tecnológicas nos trazem alternativas de baixo custo à fotogrametria aérea tripulada, realizando voos verticais em pequenas áreas, utilizando câmeras digitais amadoras em RGB (AGUIAR et al., 2018; CÂNDIDO et al., 2015). As técnicas utilizadas na coleta de dados foram progredindo, o que proporcionou um aumento na densidade e na qualidade dos dados obtidos.

A utilização de Aeronaves Remotamente Pilotadas - ARPs (também conhecidas popularmente como drones) têm se mostrado uma excelente alternativa para o monitoramento de diversos

ISSN: 1982 - 5528
D.O.I: 10.22411/rede2020.1401.09

ambientes, já que dispõe de uma flexibilidade maior e um custo baixo comparado às soluções tradicionais de mercado. Diferentemente do imageamento feito por aeronaves tripuladas, as ARPs possuem a vantagem de possibilitar pilotagem remota (eliminando o risco de acidentes com a tripulação) e voos mais próximos ao solo (CASSEMIRO, 2014).

No âmbito da geomorfologia costeira, dados topográficos precisos são frequentemente necessários para a avaliação das mudanças e para a implementação de modelos que possam prever, por exemplo, a evolução dos processos costeiros. Para o auxílio desse tipo de análise são necessárias variáveis do relevo, como altitude, declividade, orientação de vertentes dentre outros parâmetros ligados a geomorfometria (DENT; YOUNG, 1981). Nesse sentido, a altíssima resolução espacial (sub-métrica) dos sensores ARPs se mostram eficientes na produção de Modelos Digitais de Elevação (MDEs).

Grande parte dos estudos de ambientes costeiros, com base em dados de ARPs, tem se focado na variação da linha de costa e nas mudanças da morfologia do campo de dunas (SIMÕES et al., 2019). Outras abordagens têm focado no mapeamento da frequência e no modo de ocorrência de eventos extremos sobre o litoral (e. g. ALBUQUERQUE et al., 2018), e na elaboração de cenário de inundação costeira (e. g. LEAL-ALVES et al., 2020).

Tendo em vista que atualmente existem no mercado diferentes modelos de ARPs, com diferentes preços e tecnologia embarcada, esse artigo propõe um estudo comparativo dos modelos digitais de elevação de dois sistemas ARPs distintos, traçando uma avaliação no que se refere à acurácia vertical dos MDEs obtidos em regiões litorâneas. O estudo se propôs ainda a identificar e avaliar os pontos positivos e negativos de cada aeronave, associado ao custo-benefício, para estudos em ambientes costeiros.

1.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo refere-se a uma localidade próxima a Rua Pelotas, Balneário Cassino (Figura 1), localizado no município do Rio Grande, sul do Estado do Rio Grande do Sul (RS). Essa região foi escolhida por apresentar diferentes feições típicas da planície costeira do RS, tais como campo de dunas com e sem vegetação, sangradouros, face de praia, entre outras.

REDE Revista Eletrônica do PRODEMA
Journal Homepage: www.revistarede.ufc.br
ISSN: 1982 - 5528
D.O.I: 10.22411/rede2020.1401.09

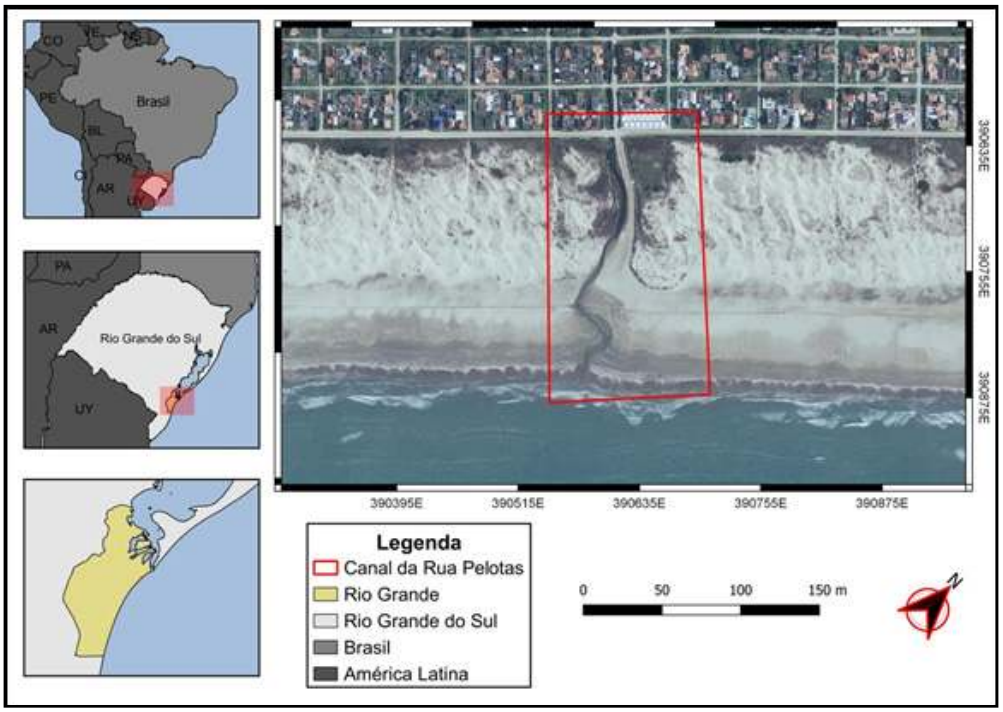

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.
Fonte: Elaboração dos autores.

O balneário Cassino é o mais antigo e principal destino turístico de praia da metade sul do estado do RS, atraindo milhares de pessoas durante a temporada de verão para o turismo de Sol e mar (OLIVEIRA et al., 2020). A praia do Cassino é uma costa dominada por ondas, com ventos predominantes do quadrante NE. A localidade apresenta umidade elevada e chuvas intensas ao longo do ano, principalmente no inverno (GONZAGA et al., 2020). A morfodinâmica da praia do Cassino é do tipo dissipativa, segundo a classificação proposta por Wright e Short (1984), com a predominância de sedimentos de granulometria muito fina, e um ciclo de maré semidiurna, com altura média de 0,30m (CALLIARI et al.,1998).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente foram feitos levantamentos com uso de ARPs, de forma a avaliar as diferentes respostas das plataformas utilizadas, quando empregadas no ambiente costeiro. O fluxograma da figura 2 descreve tais procedimentos realizados.

REDE Revista Eletrônica do PRODEMA
Journal Homepage: www.revistarede.ufc.br
ISSN: 1982 - 5528
D.O.I: 10.22411/rede2020.1401.09

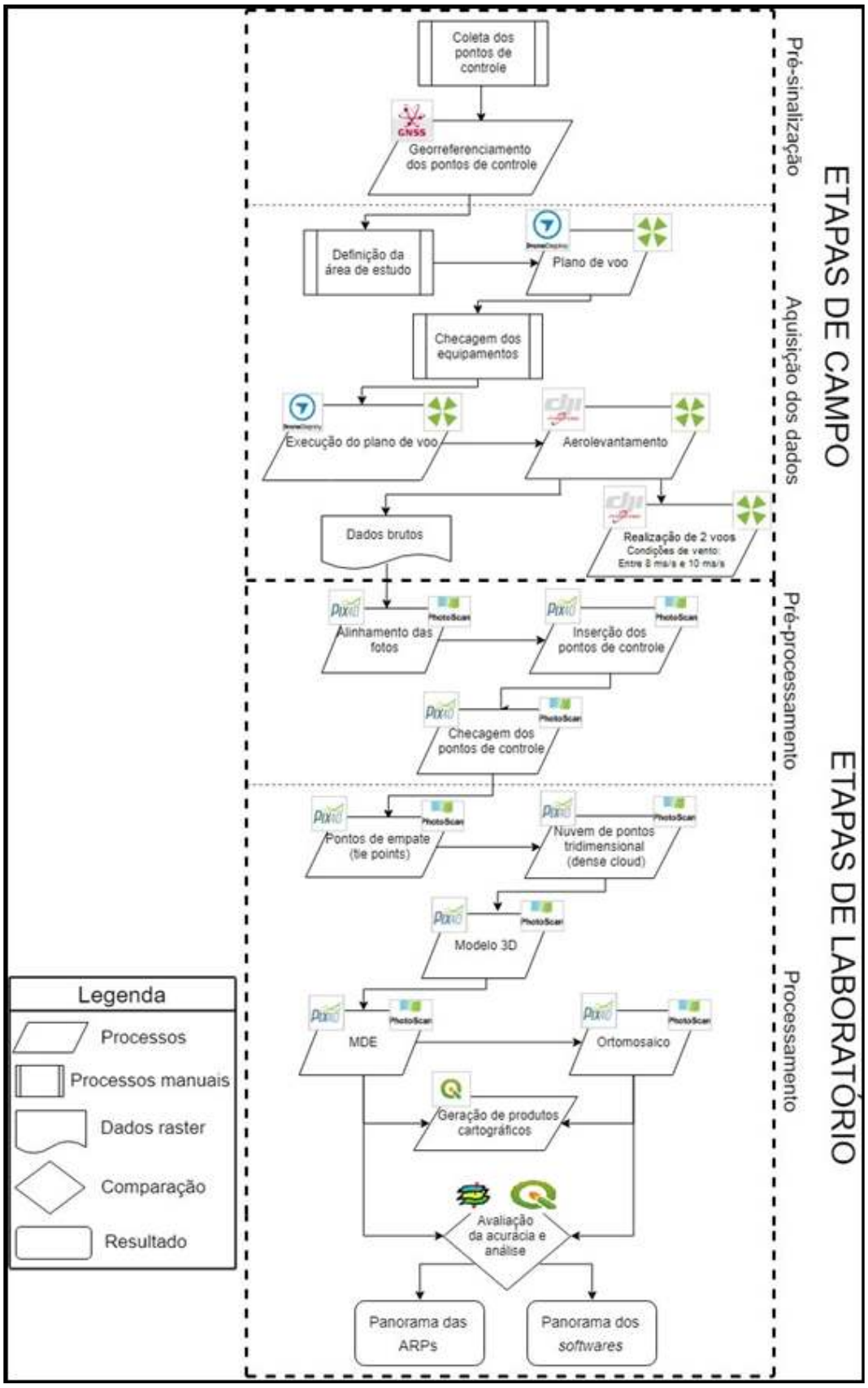

Figura 2. Fluxograma metodológico.
Fonte: Elaboração dos autores.

REDE Revista Eletrônica do PRODEMA
Journal Homepage: www.revistarede.ufc.br
ISSN: 1982 - 5528
D.O.I: 10.22411/rede2020.1401.09

2.1 Elaboração dos planos de voo

Nesta etapa foram definidos os parâmetros do aerolevantamento, a área de imageamento, a cobertura da sobreposição, as linhas de voos e outras demais variáveis. Tendo em vista que o estudo contou com levantamentos de duas plataformas distintas, foram elaborados dois planos de voo para a mesma área utilizando os mesmos parâmetros, pois cada plataforma usa softwares distintos para a elaboração dos blocos fotogramétricos.

Para elaboração do plano de voo da aeronave *DJI Phantom 4 Pro* foi utilizado o *software Drone Deploy.* Para o *Aibot X6* foi utilizado o *software AiPro Flight*. O recobrimento de voo para ambos os planos foi de 60% de sobreposição lateral, e 70% de sobreposição frontal. A velocidade máxima foi de 15 m/s, e a altura do voo foi de 50 m. Os parâmetros de voo estão descritos de forma completa na Tabela 1.

ARP	Localidade	Área (m²)	Altura do voo (m)	GSD (cm)	Sobreposição lateral (%)	Sobreposição frontal (%)	Velocidade máxima (m/s)	Linhas de voo
Phantom 4 Pro	Canal da rua Pelotas	40350,000	50,00	1,28	60	70	15,0	6
Aibot X6	Canal da rua Pelotas	40754,000	50,00	1,32	60	70	15,0	5

Tabela 1. Informações dos planos de voo das plataformas *Phantom 4 Pro* e *Aibot X6.*
Fonte: Elaboração dos autores.

2.2 Coleta de dados em campo

Em campo foram realizados dois aerolevantamentos com uso de duas plataformas ARPs distintas, para a mesma área de estudo. Esse procedimento possibilitou traçar um comparativo entre os diferentes tipos de produtos gerados. Para esse estudo foram coletados dados de sensores embarcados nas aeronaves *Aibot X6* e *DJI Phantom 4 Pro*.

O *Aibot X6* (Figura 3A) é uma aeronave do tipo multirotor, hexacóptero, com peso de 34 Kg, sendo capaz de suportar até 2 kg. O sistema de navegação conta com suporte de um receptor GNSS topográfico, e um sistema que inclui diversos sensores e unidades de processamento que auxiliam no aerolevantamento (giroscópio, acelerômetro, barômetro, magnetômetros, sensores ultrassônicos e unidade inercial). O *Aibot X6* também dispõe da possibilidade de integração com diferentes instrumentos de medição e outros sensores (e. g. receptor GNSS - RTK), para maior precisão no voo. Seu custo de mercado gira em torno de U$ 30.000,00. A câmera utilizada para a aquisição dos dados foi uma Nikon Coolpix A, com resolução de 4928 x 3264, 16 megapixels e lente 1x optical NIKKOR glass (Tabela 2).

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

Tabela 2. Principais características das câmeras utilizadas nos levantamentos aéreos.
Fonte: Elaboração dos autores.

ISSN: 1982 - 5528
D.O.I: 10.22411/rede2020.1401.09

O *DJI Phantom 4 Pro* (Figura 3B) é uma aeronave do tipo multirotor, quadricóptero, com peso de 1,4 Kg. A aeronave vem equipada com um sensor de obstáculos em cinco direções, sistema de navegação com suporte de um receptor GNSS de navegação, além de bússola, barômetro e módulos IMU. O *DJI Phantom 4 Pro* também permite que se faça transmissão ao vivo, edição e compartilhamento de vídeos aéreos e fotos instantâneas. Seu custo de mercado gira em torno de U$ 3.500,00. O DJI Phantom 4 Pro possui uma câmera de 20 *megapixels*, com resolução de 5472 x 3648, lente 8.8 - 24 milímetros (35 mm formato equivalente).



Figura 3. A- aeronave Aibot X6; B – aeronave Phantom 4 Pro.
Fonte: Acervo dos autores.

Os aerolevantamentos tiveram o suporte de seis pontos de controle (GCPs), materializados na forma de cilindros de concreto e distribuídos ao longo da área de estudo, além de 16 pontos de checagem (CKP) coletados de forma a cobrir todas as feições que compõem a área de estudo. Os GCPs formam o conjunto de pontos empregados para geração dos modelos topográficos, e foram utilizados para ajustar os MDEs gerados a partir do processamento das imagens. Os CKPs são empregados em modelos de comparação estatísticas, com coordenadas de referência para esses pontos. Os pontos de checagem foram utilizados para estabelecer os erros associados ao levantamento.

Tanto os GCPs quanto os CKPs foram posicionados com uso de um receptor GNSS Geódesico (L1, L2 e L2C) *Leica* GS15, operando no modo *stop and go* (PDOP<4). A antena base foi instalada em um marco planialtimétrico pertencente à rede de pontos de apoio do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), situado na estação de tratamento da Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), balneário Cassino - RS.

2.3 Tratamento dos dados

Após os aerolevantamentos foram realizados o processamento dos dados nos *softwares Photoscan* e *Pix4Dmapper*. O *Photoscan* é um *software* que tem como função o processamento de imagens. Este programa conta com diversas ferramentas que auxiliam no processo de manuseio e importação dos produtos gerados, além de ter complementos capazes de calcular, por exemplo, índices físicos como o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). O *Photoscan* é capaz de processar dados de entrada de diversos formatos, como TIFF, JPEG e PNG, oferecendo ao usuário a possibilidade de extrair produtos em formatos como GeoTiff, *Google* KML, PDF, XYZ e COLLADA.

O *Pix4Dmapper* é um *software* de processamento e análise de imagens direcionadas à

REDE Revista Eletrônica do PRODEMA
Journal Homepage: www.revistarede.ufc.br
ISSN: 1982 - 5528
D.O.I: 10.22411/rede2020.1401.09

drones que tem como função a geração de Modelos Digitais de Elevação e ortomosaicos georreferenciados, sendo amplamente utilizado em minerações, inspeções de estrutura e agricultura de precisão, este software pode ser integrado com outros programas, como o AUTOCAD, ArcGIS e 3DMax. Com uma alta capacidade de processamento, o *Pix4Dmapper* conta com uma biblioteca de ferramentas extensa, onde é possível aplicar diversas funções nos dados obtidos, como cálculos de distância, área e volume.

Independente do software, o tratamento dos dados consistiu, no alinhamento das fotos obtidas em campo, no re-ajustamento do bloco fotogramétrico a partir da inserção dos pontos de controle (*workflow do Structure from Motion* - sfM), e na análise comparativa de acurácia ao cruzar valores verticais do MDE com os pontos de checagem obtidos pelo levantamento GNSS-RTK. O alinhamento correspondeu à etapa de identificação dos pontos homólogos, onde foi feita a sobreposição das imagens coletadas, e dando origem aos pontos de empate (*tie points*), conforme a figura 4. Esse processo foi feito entre as imagens sobrepostas, seguindo o recobrimento proposto no plano de voo.

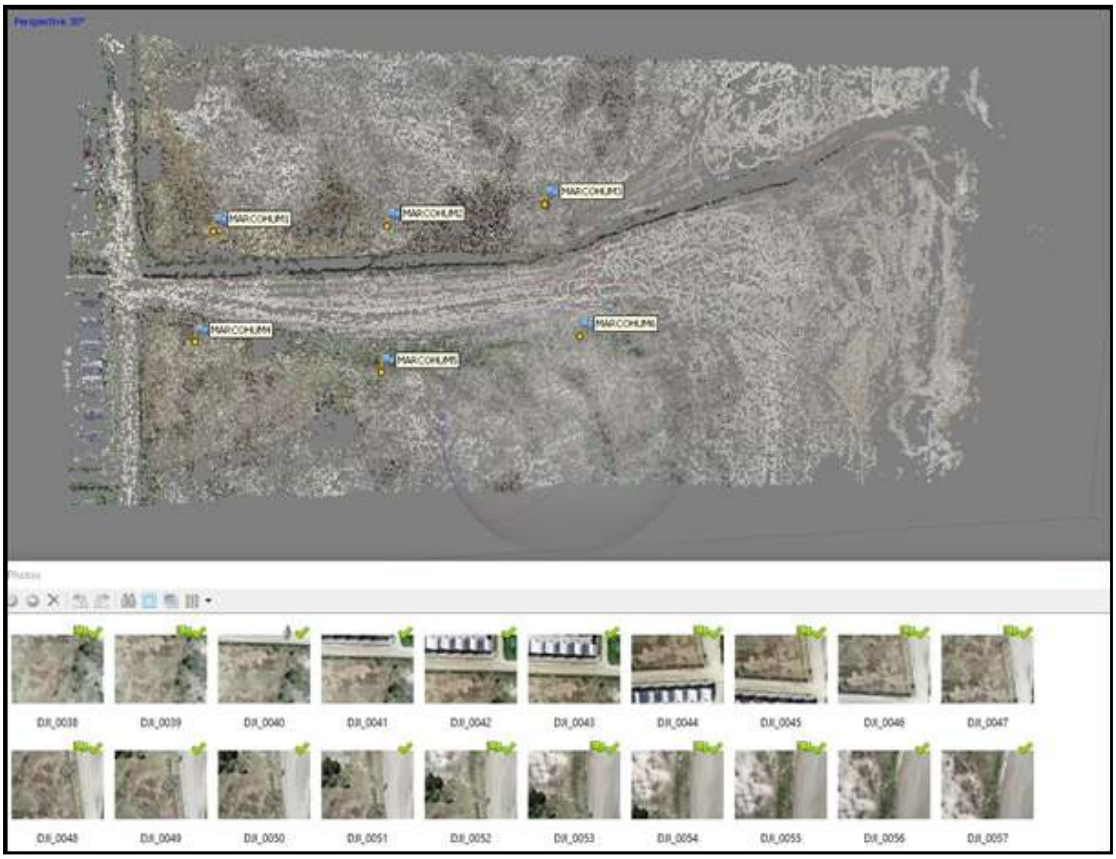

Figura 4. Geração dos tie points para o canal da rua Pelotas, balneário Cassino, RS.
Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Na sequência foi realizado o processo de inserção de pontos de controle (Figura 5A e 5C), os quais foram coletados por um receptor GNSS geodésico Leica GS15 (Figura 5B), o qual dispõe de um pré-processamento dos dados, em modo RTK. As alturas elipsoidais obtidas com receptor GNSS foram ajustadas para valores de altitude ortométricas com uso de software MAPGEO 2015, disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

REDE Revista Eletrônica do PRODEMA
Journal Homepage: www.revistarede.ufc.br
ISSN: 1982 - 5528
D.O.I: 10.22411/rede2020.1401.09

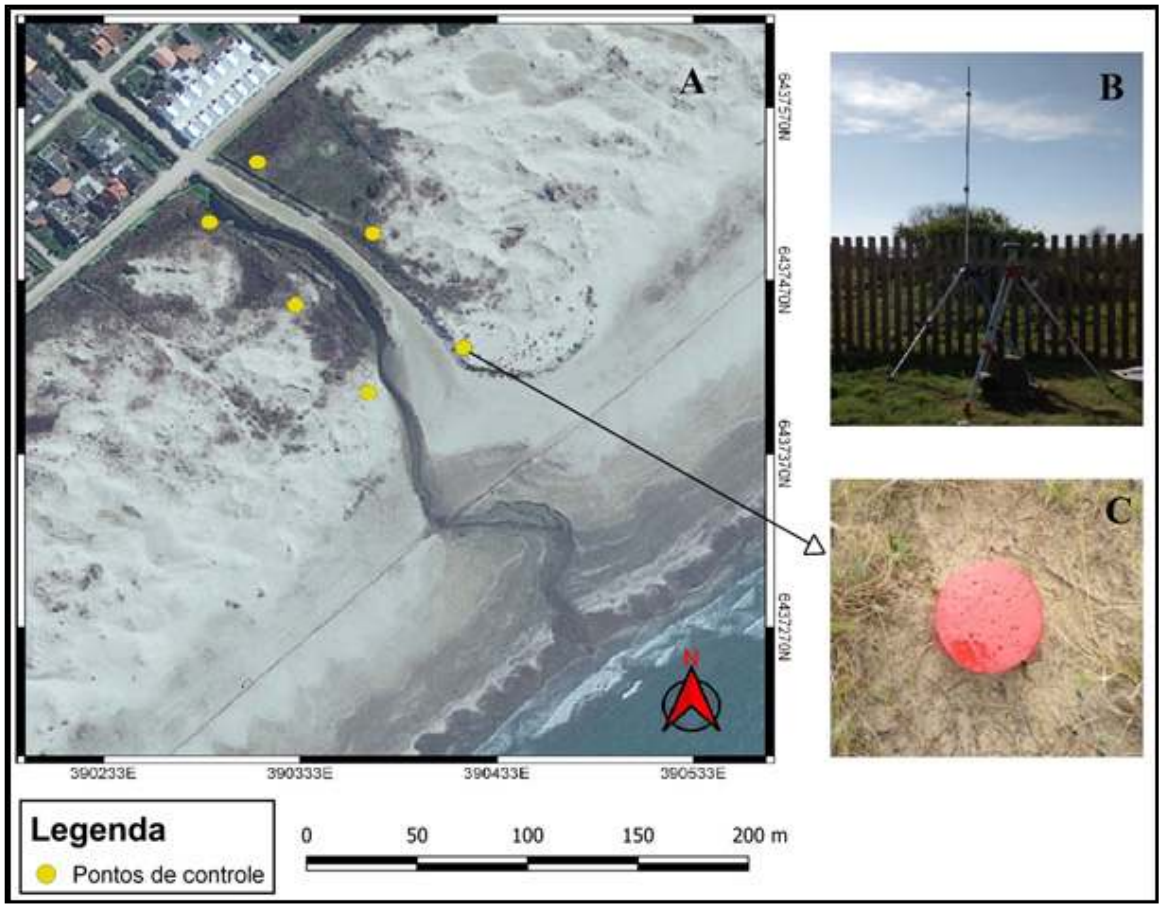

Figura 5. A- distribuição dos pontos de controle; B- GNSS-RTK utilizado para coleta dos pontos de controle; C- Ponto de controle materializa do em campo.
Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

A obtenção da nuvem de pontos (*dense cloud*) (Figura 6) foi feita a partir do método de interpolação estatística inverso da distância (IDW). O método IDW estima valores para locais não coletados baseando-se nas leituras mais próximas – os vizinhos. Para isso o interpolador IDW considera os valores amostrados no seu entorno, dando a estes um maior peso do que para os valores mais distantes. Assim, a influência do valor de um vizinho diminui na medida em que a distância entre ele e o ponto a ser estimado aumenta (LANDIM, 2000; LONGLEY et al., 2013). Dessa forma, a influência de cada ponto é proporcional ao inverso da distância entre o local estimado e os vizinhos considerados (o n° de vizinhos é um parâmetro do usuário). O valor do expoente adotado na variável distância permite controlar a influência da proximidade sobre os valores interpolados com base na distância do ponto de saída, sendo definido como ponderador de distância.

ISSN: 1982 - 5528
D.O.I: 10.22411/rede2020.1401.09

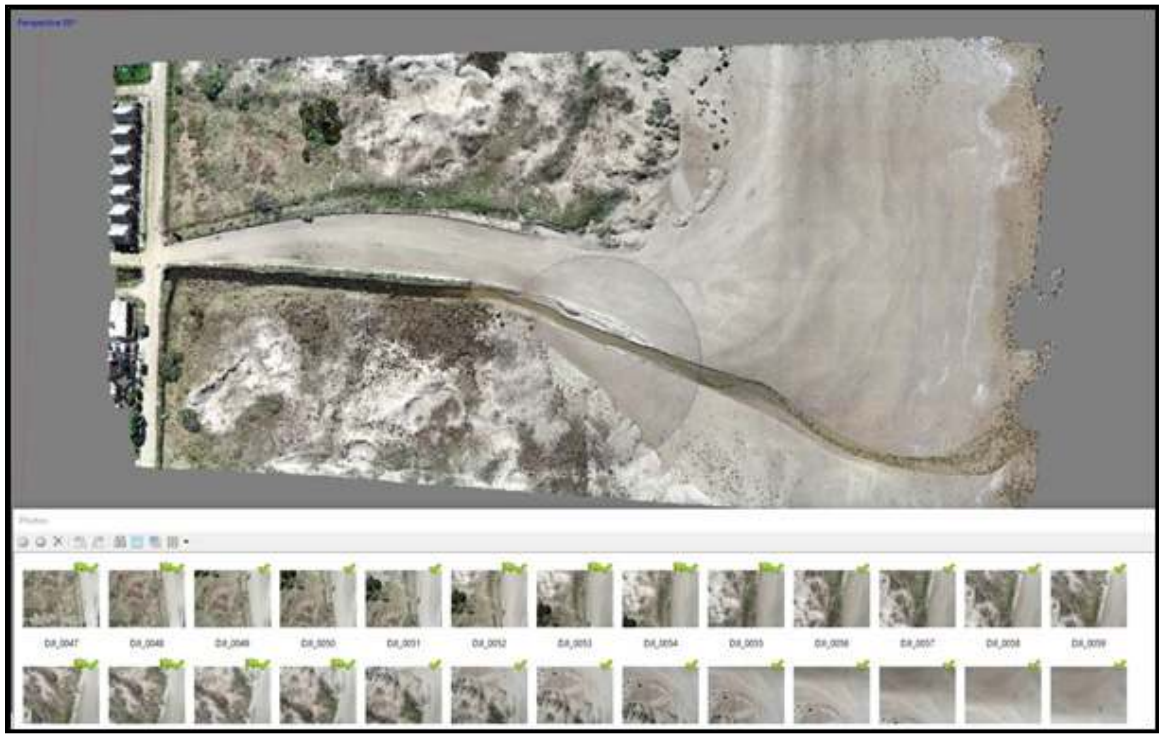

Figura 6. *Dense cloud* do canal da rua Pelotas, balneário Cassino, RS.
Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Neste trabalho o interpolador IDW foi definido com adoção do expoente 2 para distância (inverso do quadrado da distância), indicado por LANDIM (2000) e LONGLEY et al. (2013) como o padrão. O IDW pode ser caracterizado como um interpolador fiel aos dados amostrados, com rápida velocidade de processamento e que não estima valores dos pontos de entrada, preservando os máximos e mínimos dos dados de entrada (LANDIM, 2000; LONGLEY et al., 2013). Além do ponderador de distância, para a aplicação do método IDW, alguns parâmetros de interpolação devem ser inseridos pelo usuário como os números mínimos e máximos de vizinhos na interpolação que influenciam na estimativa dos valores. No caso da *dense cloud*, o IDW atribui um valor altimétrico para cada pixel da área imageada.

As etapas de pós-processamento possibilitaram uma análise comparativa de todos os MDEs gerados. Nesta etapa foram criados três indicadores estatísticos (RMSE, coeficiente de determinação e desvio padrão), para a avaliação dos produtos obtidos. 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 (GONÇALVES e HENRIQUES, 2015; ELSNER et al., 2018).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

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

REDE Revista Eletrônica do PRODEMA
Journal Homepage: www.revistarede.ufc.br
ISSN: 1982 - 5528
D.O.I: 10.22411/rede2020.1401.09

cos são os valores obtidos pelos projetos após o alinhamento das fotos, em um total de cinco: Erro longitudinal (X); Erro latitudinal (Y); Erro de altitude (Z); Erro global; e, o Erro pixel (Tabela 3). Em relação ao erro posicional (X, Y, Z), os produtos da plataforma *Aibot X6* gerados sem a utilização de pontos de controle e checagem apresentaram uma melhor acurácia, quando comparado a plataforma *DJI Phantom 4 Pro.* Tanto para o *software Photoscan* quanto para o *Pix4Dmapper*, as diferenças na acurácia das posições x, y e z foram, respectivamente, 1,174 m, 0,766 m e 0,756 m.

Projeto	Erro longitudinal (m)	Erro latitudinal (m)	Erro de altitude (m)	Erro global (m)	Erro do pixel (pix)
Aibot X6 sem GCP no PhotoScan	0,377148	0,593394	2,263618	2,370365	0,443
Aibot X6 com GCP no PhotoScan	0,370379	0,438510	0,469673	1,613393	0,292
Aibot X6 sem GCP no Pix4Dmapper	0,451680	0,694374	2,365717	2,642300	0,543
Aibot X6 com GCP no Pix4Dmapper	0,436345	0,577285	0,525343	1,737858	0,253
Phantom 4 Pro sem GCP no PhotoScan	1,661982	1,487865	3,367058	4,260676	0,540
Phantom 4 Pro com GCP no PhotoScan	1,350931	1,047595	0,936688	3,007514	0,465
Phantom 4 Pro sem GCP no Pix4Dmapper	1,661982	1,487865	3,367058	4,856676	0,657
Phantom 4 Pro com GCP no Pix4Dmapper	1,653521	1,342595	0,978968	3,294837	0,489
Média Phantom 4 Pro	1,582104	1,341480	2,162443	3,854926	0,538
Média Aibot X6	0,408888	0,575891	1,406088	2,090979	0,383

Tabela 3. Erros geométricos do processamento dos dados.
Fonte: Elaboração dos autores.

Essas diferenças encontradas na geometria posicional estão associadas ao fato da plataforma DJI Phantom 4 Pro possuir um GPS de navegação acoplado, enquanto o *Aibot X6* possui um GPS topográfico, de maior precisão, além do GPS de navegação da câmera. Essa característica configura erros menores aos produtos gerados com dados provenientes da plataforma *Aibot X6*, como mostra a Tabela 2, onde quando comparados em relação ao erro global médio, os valores do *DJI Phantom 4 Pro* chegam a ser aproximadamente 1,8 m maiores em relação ao *Aibot X6*.

Em relação ao erro global sem o uso de pontos de controle, os MDEs gerados para os dados da plataforma *Aibot X6* apresentaram um melhor desempenho em termos de acurácia (valores no intervalo de 2,00 m para ambos os *softwares*), quando comparados aos dados da plataforma *DJI Phantom 4 Pro* (valores no intervalo de 4,00 m). Quando feito o mesmo comparativo, com a adição dos pontos de controle, a plataforma *Aibot X6* apresentou um erro de 1,61 m no *software Photoscan*, e 1,73 m para o *Pix4Dmapper*. Os dados do *Phanton 4 Pro* oscilaram entre 3,00 m para o *software Photoscan*, e 3,29 m para o *Pix4Dmapper*.

Dentre os fatores que influenciam nos produtos obtidos, a degradação do sinal do GPS em um dado momento da tomada de fotos, a influência do vento e a iluminação solar incidente estão entre os principais. 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 checagem. É importante considerar que os erros são inevitáveis, visto que os MDEs são visões simplificadas da realidade, submetidas a um processo de generalização. 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).

Em relação ao erro pixel com a utilização de pontos de controle, as melhores resoluções foram obtidas pelo sensor embarcado na plataforma *Aibot X6* (média de 0,27 m/pixel). O sensor embarcado na plataforma *DJI Phantom 4 Pro* apresentou um pixel médio de 0,47 m. Quando observadas as precisões sem a utilização de GCPs, os MDEs sofreram uma degradação média da ordem de 0,49 m/pixel para os produtos da plataforma *Aibot X6* e 0,59 m/pixel para o *DJI Phantom 4 pro*.

Outro ponto a se observar, além da notória vantagem no que tange a precisão posicional da plataforma *Aibot X6*, é o quanto o uso de pontos de controle em um projeto melhora a qualidade posicional dos produtos. Para os projetos do *Aibot X6* houve uma melhora no erro médio global de 0,83 m, e no *DJI Phantom 4 Pro*, de 1,40 m.

Na análise entre softwares, o *Photoscan* apresentou erros menores, como no caso da comparação do projeto com pontos de controle do *Aibot X6* feito nos *softwares Photoscan* e *Pix4Dmapper*, em que este segundo apresentou um erro médio global de aproximadamente 0,1 m maior. O mesmo ocorre com os aerolevantamentos do *DJI Phantom 4 Pro*, em que tanto na geração de modelos digitais, com e sem a adoção de pontos de controle, os erros globais obtidos pelo *Photoscan* também foram inferiores ao *Pix4Dmapper*.

Em relação aos indicadores estatísticos gerados com o uso de pontos de controle e de checagem, a plataforma *Aibot X6* apresentou valores RMSE de 0,881 m para os modelos gerados no *software Photoscan*, e 0,078 m para os modelos gerados no *Pix4Dmapper*. Os coeficientes de determinação (R^2) foram de 0,99 para os modelos gerados em ambos os softwares. O mesmo aconteceu com o desvio padrão, onde os valores tanto para o *Photoscan* quanto para o *Pix4Dmapper* foram de aproximadamente ±1,07 m.

A representação dos indicadores estatísticos gerados (Figuras 7A, 7B e 7C), tanto para comparação entre as plataformas ARPs utilizadas, quanto para a comparação dos softwares de fotogrametria baseados no algoritmo sfM aqui analisados, apontam resumidamente que a plataforma *Aibot X6* é posicionalmente superior ao *DJI Phantom 4 Pro* e que o *software Photoscan* gera resultados ligeiramente mais acurados, embora próximos, aqueles gerados pelo processamento dos dados junto ao *software Pix4Dmapper*.

REDE Revista Eletrônica do PRODEMA
Journal Homepage: www.revistarede.ufc.br
ISSN: 1982 - 5528
D.O.I: 10.22411/rede2020.1401.09

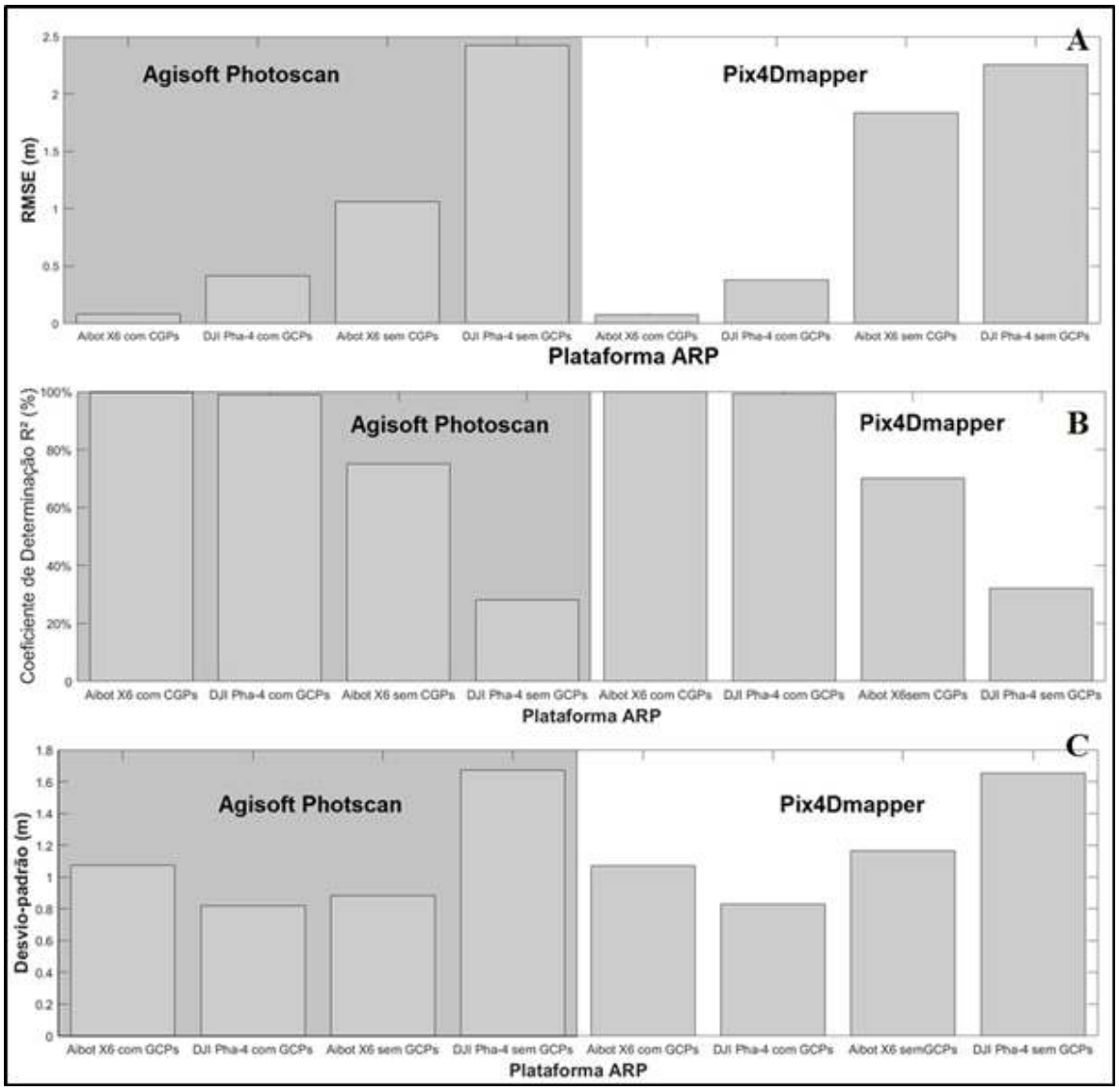

Figura 7. Análise estatísticas dos dados obtidos pelas plataformas *Aibot X6* e *Phantom 4 Pro*, nos *softwares Photoscan* e *Pix4Dmapper*. **Fonte:** Elaborado pelos autores.

Sob perspectiva contrária, ao utilizar-se de pontos de controle para a geração dos modelos digitais em questão, em ambos os *softwares* testados, o *Aibot X6* apresentou resultados expressivamente melhores. No *Photoscan* e no *Pix4Dmapper*, respectivamente, o uso dos dados do mesmo obteve um RMSE de 0,081 m e 0,078 m, enquanto o *DJI Phantom 4 Pro* apresentou 0,417 m e 0,378 m. Correspondendo a uma acurácia posicional 80,1% maior.

Os resultados encontrados corroboram com o exposto por Coelho e Brito (2007) no que tange a produção de modelos digitais de superfície a partir da aerotriangulação de fotos. O uso de pontos de controle, devidamente acurados melhoram o resultado dos modelos gerados, reduzindo os erros sistemáticos que são introduzidos por erros de orientação dos sistemas e artefatos numéricos produzidos pelos algoritmos de aerotriangulação (Tabela 4).

REDE Revista Eletrônica do PRODEMA
Journal Homepage: www.revistarede.ufc.br
ISSN: 1982 - 5528
D.O.I: 10.22411/rede2020.1401.09

Características	*Aibot* X6	*Phantom* 4 *Pro*
Logística de campo	Logística de transporte mais difícil por conta do tamanho da ARP; autonomia de voo entre 15 e 20 minutos; e necessidade de comprar uma câmera compatível com o sistema da aeronave.	Melhor logística de transporte da ARP; maior autonomia de voo; e já possui câmera acoplada.
Acurácia	Apresenta uma boa acurácia, mesmo sem pontos de controle, pois apresenta um receptor GNSS Topográfico embarcado.	Necessidade dos pontos de controle para uma melhor acurácia, pois apresenta um o receptor GNSS de navegação embarcado.
Possibilidade de transporte de carga	Pode transportar diferentes sensores, com o limite de até 2 Kg.	Com utilização de um suporte (*Pgytech*), pode transportar até 0,2 Kg.
Resistência a condições adversas	Possui maior estabilidade na tomada de fotos, principalmente em situações onde há presença efetiva de vento.	É mais susceptível as condições de tempo.
Pontos de referência dinâmicos	O piloto pode salvar pontos de interesse durante o voo, de modo que a aeronave esteja sempre orientada para os mesmos.	Função inexistente.
Custo de aquisição da aeronave	Preço médio de R$ 150.000,00	Preço médio de R$ 9.500,00

Tabela 4: Comparativo entre as ARPs *Aibot X6* e *Phantom 4 Pro*.
Fonte: Elaborado pelos autores.

Os modelos com uso de pontos de controle apontam melhor desempenho que aqueles sem a presença desses pontos de controle. Levando em consideração a qualidade posicional dos produtos, especialmente quando aplicados a projetos onde variações centimétricas são fundamentais, o sistema *Aibot X6* se mostrou mais indicado. Contudo, para levantamentos com menor exigência posicional, inclusive no que tange a precisão vertical do MDE, a significativa diferença de custos entre as aeronaves não se justifica. Nesse sentido, para um levantamento que tenha como finalidade a acurácia posicional, o sistema *Phantom 4 Pro* é mais indicado, desde que o levantamento apresente a incorporação de pontos de controle, via coleta com receptor GNSS Geodésico.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, foi possível considerar que a metodologia aplicada foi satisfatória para a elaboração da pesquisa, podendo ser utilizada para a comparação de qualquer outra ARP. A criação dos projetos para a posterior comparação entre os MDEs obtidos por cada um mostrou-se como uma excelente maneira de comparar a acurácia posicional das ARPs, já que se dispõe de não só resultados qualitativos, mas como também quantitativos, de alta precisão.

ISSN: 1982 - 5528
D.O.I: 10.22411/rede2020.1401.09

Os processamentos das imagens obtidas com as ARPs, com sobreposições adequadas, de forma automática com os *softwares Pix4Dmapper* e *Photoscan*, tanto com e sem pontos de controle, foram considerados satisfatórios. Na perspectiva de trabalhos regionais ou locais que necessitem de informações de alta precisão, ao analisar os resultados e perceber a notória importância dos pontos de controle para o aumento da qualidade posicional dos produtos, mostra-se necessário o uso destes.

Em relação às ARPs, levando em consideração suas respectivas qualidades posicionais e preços, é evidente que, em projetos onde diferenças centimétricas são fundamentais, faz-se preciso a plataforma *Aibot X6*, em contrapartida, estudos como, por exemplo, a criação de curvas de nível, a diferença de preço das ARPs não se justifica. Novos estudos devem ser encorajados visando a melhoria da compreensão e as potencialidades altimétricas das ARPs em outros cenários topográficos e geomorfológicos. Nesse contexto, futuramente também seria de grande relevância que fossem realizados outros levantamentos aéreos com as mesmas ARPs e s*oftwares* em diferentes ambientes além do costeiro, como por exemplo, o urbano e o agrícola. Por fim, é possível concluir que esse estudo torna-se uma importante ferramenta para futuros estudos acerca do uso de ARPs nos ambientes costeiros.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRS) pela concessão da bolsa de pesquisa, e ao Laboratório de Geotecnologias e Meio Ambiente (GEOMA), do Curso de Geoprocessamento, pela disponibilidade de parte dos equipamentos utilizados em campo.

ISSN: 1982 - 5528
D.O.I: 10.22411/rede2020.1401.09

7. REFERÊNCIAS

AGUIAR, L. S.; AMARO, V. E.; ARAÚJO, P. V. N.; DOS SANTOS, A. L. S. **Geotecnologias de baixo custo aplicadas à avaliação de risco por inundação em áreas urbanas costeiras em cenários de mudanças climáticas.** Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ, 42(1): 267-290, 2018. http://dx.doi.org/10.11137/2019_1_267_290.

ALBUQUERQUE, M. G.; ALVES, D. C. L.; ESPINOZA, J. M. A.; OLIVEIRA, U. R.; SIMÕES, R. S. Determining shoreline response to meteo-oceanographic events using remote sensing and unmanned aerial vehicle (UAV): case study in southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, 85(SI): 766-770, 2018. https://doi.org/10.2112/SI85-154.1.

ALVES, D. C. L.; GANDRA, T. B. R.; ALBUQUERQUE, M. G.; ESPINOZA, J. M. A.; GOBEL, C. F. Metodologia de coleta e tratamento de dados topográficos para elaboração de modelos digitais de elevação em áreas urbanas. **Scientia Plena**, 11(2): 1716, 2015.

ANGULO, R. J. Aspectos físicos das dinâmicas de ambientes costeiros, seus usos e conflitos. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, 10: 175-185, 2004.

CALLIARI, L. J.; MUEHE, D.; HOEFEL, F.; TOLDO, E. E. Morfodinâmica praial: uma breve revisão. **Revista Brasileira de Oceanografia**, 50(1), 2003.

CALLIARI, L. J.; SPERANSKI, N.; BOUKAREVA, I. Stable focus wave rays as a reason of local erosion at the southern Brazilian coast. **Journal of Coastal Research**, 26(2): 19-23, 1998.

CÂNDIDO, A. K. A. A.; SILVA, N. M.; PARANHOS FILHO, A. C. **Imagens de alta resolução espacial de veículos aéreos não tripulados (VANT) no planejamento do uso e ocupação do solo**. Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ, 38(1): 147-156, 2015. http://dx.doi.org/10.11137/2015_1_147_156.

COELHO, L.; BRITO, J. N. **Fotogrametria Digital**. Editora UERJ, Rio de Janeiro, 2007, 196p.

CASSEMIRO, G. H. M.; PINTO, H. B. **Composição e processamento de imagens aéreas de alta-resolução obtidas com Drone**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

CHAGAS, C. S.; FERNANDES FILHO, E. I.; ROCHA, M. F.; CARVALHO JÚNIOR; W. & SOUZA NETO, N. C. 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, 2010. https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000200014.

CRUZ, L. F.; ALBUQUERQUE, M. G.; ESPINOZA, J. M. A.; GANDRA, T. B. R. 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. (Orgs.). **Diálogos em torno da linha de costa** - Tomo IX da Rede Braspor. Rio de Janeiro: UERJ Editora, 2020. p. 181-191.

DENT, D. and YOUNG, A. **Soil Survey and Land Evaluation**. Georg Allen and Unwin Publishers, London. 1981.

DE OLIVEIRA, U. R.; SIMÕES, R. S.; PORTO, F. S.; CAMINHA, E. S.; CALLIARI, L. J.; ROMEU, M. A. R. 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, 2020. http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v21i3.1462.

DOS SANTOS, A. A.; RODRIGUES, D. D.; SANTOS, N. T.; GRIPP JUNIOR, J. 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, 2016. http://dx.doi.org/10.1590/SI982-21702016000400036.

ISSN: 1982 - 5528
D.O.I: 10.22411/rede2020.1401.09

ELSNER, P.; DORNBUSCH, U.; THOMAS, I.; AMOS, D.; BOVINGTON, J.; HORN, D. Coincident beach surveys using UAS, vehicle mounted and airborne laser scanner: point cloud inter-comparison and effects of surface type heterogeneity on elevation accuracies. **Remote Sensing of Environment**, 208: 15-26, 2018. https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.02.008.

GONÇALVES, J. A.; HENRIQUES,R. UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 104: 101-111, 2015. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.02.009.

GONZAGA, B. A.; ALVES, D. L.; ALBUQUERQUE, M. G.; ESPINOZA, J. M. A.; ALMEIDA, L. P.; WESCHENFELDER, J. Development of a low-cost ultrasonic sensor for groundwater monitoring in coastal environments: validation using field and laboratory observations. **Journal of Coastal Research**, 95(SI): 1001-1005, 2020. https://doi.org/10.2112/SI95-195.1.

HOLANDA, T. F.; GONÇALVES, R. M.; LINO, A. P.; PEREIRA, P. S.; SOUSA, P. H. G. O. Classificação das variações morfodinâmicas e processos costeiros, Praia do Paiva, PE, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 21(2): 235-251, 2020. http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v21i2.1769.

LANDIM, P. M. B. **Introdução aos Métodos de Estimação Espacial para Confecção de Mapas**. DGA, IGE, UNESP, Rio Claro, 2000, 18p.

LEAL-ALVES, D. C.; WESCHENFELDER, J.; ALBUQUERQUE, M. G.; ESPINOZA, J. M. A.; CRAVO, M. F.; DE ALMEIDA, L. P. M. Digital elevation model generation using UAV-sfM photogrammetry techniques to map sea-level rise scenarios at Cassino beach, Brazil. **SN Applied Sciences**, 2: 2181, 2020. https://doi.org/10.1007/s42452-020-03936-z.

LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. **Sistemas e Ciência da Informação Geográfica**. Editora Bookman, Rio de Janeiro, 2013, 527p.

SIMÕES, R. S.; DE OLIVEIRA, U. R.; ESPINOZA, J. M. A.; ALBUQUERQUE, M. G.; ALVES, D. C. L. Uso de drone de pequeno porte para análise costeira: enfoque metodológico. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 12(2): 622-640, 2019. http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v12.2.p622-640.

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