



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Uso de drone de pequeno porte para análise costeira: enfoque metodológico

Rodrigo Silva Simões¹, Ulisses Rocha de Oliveira², Jean de Almeida Espinoza³, Miguel da Guia Albuquerque⁴, Deivid Cristian Leal Alves⁵

¹Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Linha de Pesquisa: Análise de Sistemas Naturais e Ambientais. Avenida Itália, Km 8, s/n – Campus Carreiros, Rio Grande - RS, CEP: 96203-900. Autor correspondente: e-mail: rodrigossimoes@furg.br ²Professor Associado I do Instituto de Ciências Humanas e da Informação da Universidade Federal do Rio Grande (ICHI-FURG). Avenida Itália, Km 8, s/n – Campus Carreiros, Rio Grande - RS, CEP: 96203-900. ulissesoliveira@furg.br ³Professor no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – IFRS. Grupo de pesquisa: Geotecnologias e Meio Ambiente - GEOMA. jean.espinoza@riogrande.ifrs.edu.br ⁴Professor no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – IFRS. Grupo de pesquisa: Geotecnologias e Meio Ambiente - GEOMA. miguelaguia@gmail.com ⁵Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Linha de pesquisa: Geologia Marinha. Av. Bento Gonçalves, 6500. Prédio 43113, sala 207 (Bloco 7). Bairro Agronomia, Porto Alegre – RS, CEP: 91504-970. dclealalves@gmail.com

Artigo recebido em 27/09/2018 e aceito em 14/01/2019

RESUMO

Recentemente uma alternativa para o levantamento de fotografias aéreas vem crescendo no mundo e no Brasil. Trata-se da utilização de “drones”. Apesar de diversos trabalhos com drone estarem sendo realizados atualmente, ainda há a necessidade do compartilhamento de ideias e experiências com enfoque metodológico, por tratarem-se de uma tecnologia há pouco popularizada. O presente trabalho visa apresentar informações com foco metodológico, derivadas de mais de dois anos do uso de um drone, modelo DJI *Phantom 3 Professional*, em segmentos da costa central e sul do Estado do Rio Grande do Sul. Serão apresentados neste trabalho o equipamento utilizado, detalhes da configuração da câmera, os modos de voo (manual e automatizado), um fluxograma de trabalho, um checklist de campo e considerações sobre o processamento e análise de mosaicos de fotografias aéreas de drone, de modelos digitais de superfície e do terreno, perfis de praia e cálculo de variação de linha de costa que podem ser realizados a partir de dados coletados com este equipamento. Pretende-se, com isto, contribuir para a realização de trabalhos futuros com este tipo de equipamento, ou similares, na análise de ambientes costeiros, sobretudo em praias e dunas, podendo ser aplicado em outros trabalhos de análise ambiental.

Use of small drone for coastal analysis: methodological approach

ABSTRACT

Recently it has growing all over the world, including Brazil, an alternative for aerial photogrammetric surveys. With the utilization of drones. Although many studies having been made using drones, nowadays we still have the necessity of sharing ideas and experiences through a methodological approach, because drones thecnology having been only available recently. This paper aims to show informations through a methodological approach, derived from more than two years of use of a drone, model DJI *Phantom 3 Professional*, in the segments of central and southern coast of the state of Rio Grande do Sul. It will be showed on this paper, the equipment used, details of camera configuration, flight models (manual and automatized), a flow chart of work, field checklist and considerations about the processament and analysis of drone aerial photographic mosaics, digital surface models and digital terrain models, beach profiles and shoreline change calculation that can be made through this equipment. It is intended to contribute for the realization of future work, with this kind of equipment, or similar one, on coastal environmental analysis, specially on beaches and dunes, being able to be applied in other environmental analysis studies.

Introdução

Recentemente uma alternativa para o fornecimento de fotografias aéreas vem crescendo no mundo e no Brasil. Trata-se da utilização de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP's), ou em inglês *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV), ou ainda “drones”, modo como são popularmente conhecidos. Como grande parte das tecnologias, sua origem está relacionada a sua utilização para fins militares. Embora a ideia da construção de artefatos voadores não tripulados seja anterior a dos voos tripulados, apenas com a evolução da eletrônica e da robótica é que as ARP's, como as conhecemos atualmente, começaram a ser amplamente utilizadas (Longhitano, 2010). Estas aeronaves podem carregar câmeras digitais, câmeras infravermelho-termais de visada frontal, sensores hiperspectrais, armamentos, dentre outros (Jensen, 2009). Dentre os usos múltiplos dos drones, destacam-se aqueles utilizados para entregas, levantamentos para agricultura e indústria, serviços de busca e salvamento de pessoas, fotografia e vídeos de eventos, publicidade e estudos ambientais dos mais variados (Lopes, 2015; Rodrigues, 2016).

No estudo ambiental da zona costeira, esta tecnologia vem sendo aplicada em diversos trabalhos. Como exemplo, Gonçalves *et al.* (2016a) realizaram um trabalho com o auxílio de um drone para formular Modelos Digitais de Superfície (MDS) de dunas frontais em um segmento de costa arenosa de Portugal. Gonçalves *et al.* (2016b) utilizaram o mesmo equipamento para monitorar a variação da linha de costa, a partir da variação topográfica, na Praia do Furadouro, no litoral centro-norte de Portugal, comparando os dados fornecidos por drone com dados de perfis topográficos obtidos em campo com receptor geodésico. No Brasil esta tecnologia também está sendo difundida. Scarelli *et al.* 2016, utilizaram-se de um drone DJI modelo Phantom para produzir ortofotos e MDS na costa de Capão Novo – RS. Estes autores compararam as mudanças na morfologia das dunas em segmentos ocupados e não ocupados desse trecho costeiro, apontando para as vantagens de se adquirir dados de alta precisão com um baixo custo de operação a partir da utilização de um drone, além da possibilidade de se repetir várias vezes o método de aquisição dos dados, somados a facilidade de se operar o equipamento com segurança, bem como a possibilidade de ir a campo rapidamente para

realizar um voo, após a passagem de uma tempestade, por exemplo. Viles 2016, aponta que, apesar do fato de o sensoriamento remoto ser utilizado por geomorfólogos há algumas décadas, a possibilidade da utilização de dados de drone, com dados de alta resolução, beneficiou muitas áreas da geomorfologia onde dados de alta resolução são necessários.

Apesar de diversos trabalhos com drone estarem sendo realizados atualmente, ainda há a necessidade do compartilhamento de ideias e experiências com enfoque metodológico, visto tratar-se de uma tecnologia há pouco popularizada, não possuindo um histórico consolidado de uso na zona e orla costeiras. O presente trabalho visa apresentar informações com foco metodológico, derivadas de mais de dois anos do uso de uma Aeronave Remotamente Pilotada (drone), modelo DJI *Phantom 3 Professional*, em segmentos da costa central e sul do Estado do Rio Grande do Sul. Entre maio de 2016 e julho de 2018 foram realizados testes de diversos métodos de coleta e tratamento de dados por um drone de pequeno porte, especificamente para estudos de análise ambiental em praias e adjacências. Isso permitiu o desenvolvimento de metodologias adaptadas ao ambiente costeiro, tanto para produzir dados para análises qualitativas como quantitativas, voos em modo manual ou automatizado e tratamento de dados em *softwares* licenciados ou livres, explorando suas potencialidades e limitações.

Serão apresentados neste trabalho o equipamento utilizado, detalhes da configuração da câmera, os modos de voo (manual e automatizado), um fluxograma de trabalho, um checklist de campo e considerações sobre o processamento e a análise de mosaicos e de modelos digitais de superfície e do terreno. Pretende-se, com isto, contribuir para a realização de trabalhos futuros com este tipo de equipamento, ou similares, na análise de ambientes costeiros, como praias e dunas, podendo ser aplicado em outros trabalhos de análise ambiental.

Material e métodos

Equipamento utilizado

O equipamento utilizado para realização deste trabalho trata-se de uma Aeronave Remotamente Pilotada (ARP), modelo DJI *Phantom 3 Professional* (figura 1). Este pequeno quadricóptero pesa pouco mais de 1 kg e pode

operar a até cerca de 2 km de distância do transmissor, com possibilidade de transmissão de vídeo da câmera acoplada em tempo real, a partir

de utilização de um *tablet* ou *smartphone* conectado ao transmissor de rádio.



Figura 1. *Drone Phantom 3 professional*, transmissor e *tablet*.

Os controles do transmissor do referido equipamento (figura 1) permitem a operação total da câmera acoplada, possibilitando a obtenção de fotografias verticais e oblíquas da área de interesse, com visualização em tempo real. Também há a possibilidade da captura de vídeos em resolução ultra HD (4K). Este equipamento ainda possui um GPS de navegação o que lhe permite gravar um ponto de partida ao decolar e adicionar metadados espaciais as fotografias obtidas. Este fato também agrega segurança ao drone, uma vez que há um botão (*go home*), que, em caso de um eventual problema durante o voo, perda de sinal de vídeo ou do rádio transmissor ou nível de bateria muito baixo, o equipamento retorna e pousa automaticamente no último ponto de decolagem salvo em seu sistema. A telemetria demonstrada no *software* DJI GO, utilizado em um *tablet* ou *smartphone* conectado ao transmissor, permite

observar e alterar diversas especificações do funcionamento da câmera, como velocidade do obturador, ISO e modos de disparo. Também é possível observar a altura de voo, distância entre o drone e o ponto de decolagem, intensidade do sinal de rádio, número de satélites ao qual o drone está conectado, dentre muitas outras opções.

Área de estudo

Como esse equipamento foi adquirido por um projeto de pesquisa que visou analisar o sistema duna praia defrontante aos balneários da costa central e sul do Estado do Rio Grande do Sul (CNPq Edital Universal 2014-3, processo 446963/2014-3), os aerolevantamentos foram realizados majoritariamente nestas áreas, iniciando-se pelo balneário Cassino, onde foram realizados os primeiros trabalhos de campo (Figura 2).

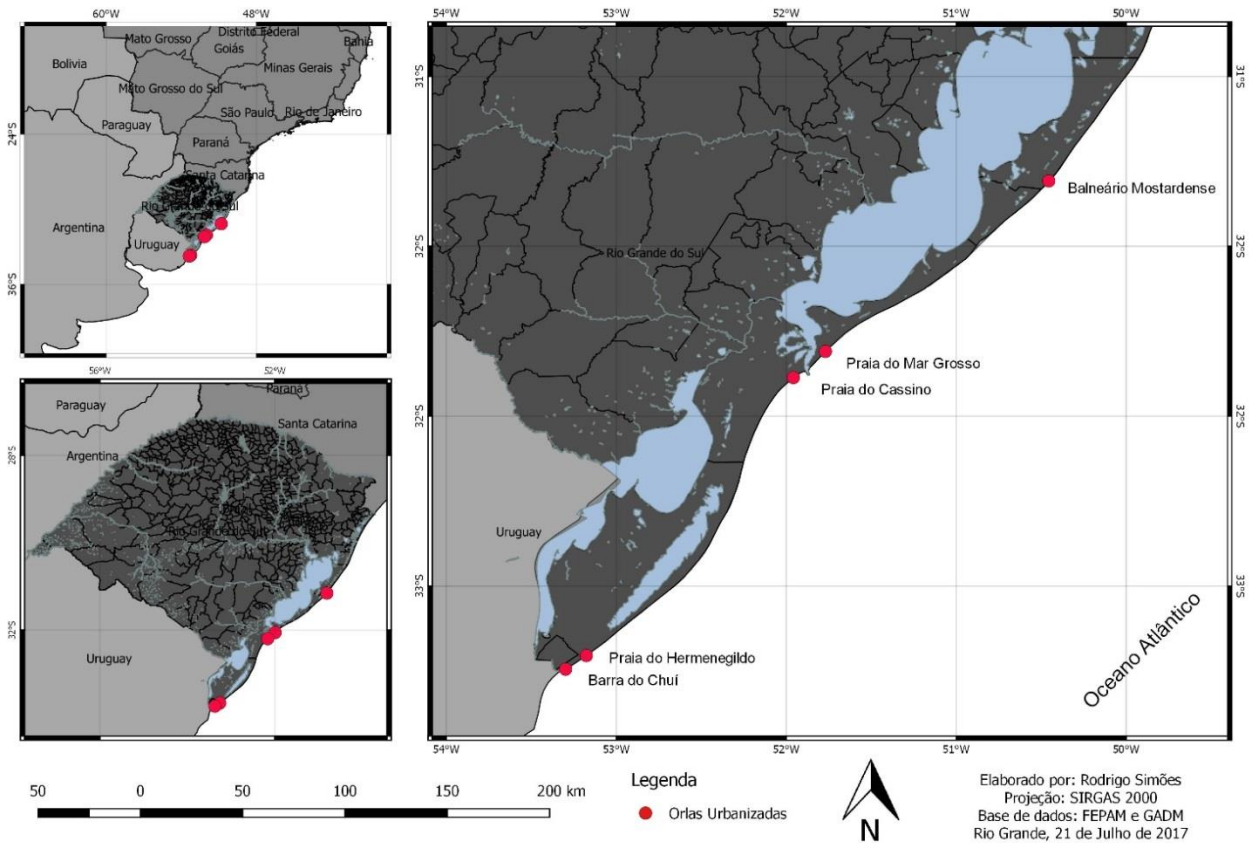


Figura 2. Mapa de localização da área de estudo.

Procedimentos de segurança

Em relação à coleta de dados, inicialmente é importante abordar os procedimentos de segurança de voo durante a realização do trabalho. A primeira questão é a realização de cursos e leitura atenta do manual. Cada plataforma tem suas características e antes do primeiro voo é necessário informar-se bem do que pode ocorrer. Além disso, é aconselhável que se realize os primeiros testes próximo ao solo e em áreas seguras. Também deve-se ter habilidades com geolocalização, manuseio de controles remotos e domínio de língua estrangeira (sobretudo inglês).

Nas imagens que seguem quase não há pessoas e carros nas cenas. Isto foi um dos aspectos relevantes: não colocar pessoas em risco nas decolagens e pousos. As praias de onde partiram os voos são seguros e amplos locais de voo. Os mesmos ocorreram principalmente em períodos fora de temporada turística ou de veraneio, que no caso do Rio Grande do Sul, restringe-se aos meses

de dezembro a fevereiro. Também evitou-se realizar os voos aos finais de semana. O segundo aspecto são os locais de voo, distantes de aeroportos e rotas aéreas, rodovias e de linhas de transmissão de energia. Sugere-se que os voos sejam realizados em áreas abertas e de ampla visada com altura de voo adequada. Também é importante destacar que no mínimo duas pessoas devem estar presentes durante os procedimentos de voo. Isto serve tanto para auxiliar na captação das cenas, nos procedimentos de montagem e desmontagem do equipamento, na segurança dos equipamentos e/ou estar presente em um possível mal súbito do piloto.

É importante salientar que em operações realizadas com drone, é imprescindível se considerar a previsão do tempo, pois diversos fatores meteorológicos podem inviabilizar ou prejudicar a coleta de dados, como a presença de nuvens a baixa altitude, precipitação e ventos acima dos 40km/h. Salienta-se que alguns drones podem operar mesmo com fortes ventos e

Simões, R. S., Oliveira, U. R., Espinoza, J. A., Albuquerque, M. G., Alves, D. C. L.

precipitação. Porém, uma quantidade expressiva de drones, sobretudo os de pequeno porte, possuem que as do drone *Phantom 3* utilizado na pesquisa. Estas precauções são importantes no intuito de garantir a integridade do equipamento bem como de todos em seu entorno, evitando quedas. Os trabalhos com drone requerem, antes de mais nada, cuidados com a segurança tanto dos operadores como de todos ao seu redor. Para operar um equipamento como este, por mais leve e

limitações quanto a intensidade de ventos, algumas inclusive bem mais restritivas do pequeno que seja, por mais similar que a sua operação seja a de um aeromodelo, é preciso saber que este equipamento não configura um brinquedo e sim uma ferramenta de trabalho que, quando bem utilizada, fornece um volume robusto de dados, mas que requer responsabilidade desde o planejamento em laboratório a sua execução em campo.

Configuração da Câmera

O horário de captação das imagens ocorreu majoritariamente entre as 10 e as 15 h buscando um ângulo solar favorável para a obtenção das fotografias. Os primeiros testes realizados no balneário Cassino serviram para configurar o equipamento, treinar a pilotagem manual e identificar suas potencialidades e limitações. Os testes demonstraram a qualidade da câmera fotográfica com possibilidade de alteração de suas configurações. Estes também possibilitaram

verificar o limite de alcance de rádio (em torno de 2 km) e evidenciaram sua capacidade de operação mesmo com rajadas de vento em torno dos 35 km/h. A figura 3 demonstra alguns dos resultados desses testes. Nesta figura, apresenta-se uma porção de orla oceânica do balneário Cassino em dois formatos de fotografia vertical obtida com o drone *DJI Phantom 3 Professional* em 10 e 19 de maio de 2016 respectivamente.



Figura 3. (a) Fotografia com tamanho 4000x3000 pixels obtida em 10/5/2016. (b) Mesmo local em 19/5/2016, testando um tamanho de 4000x2250 pixels e o ajuste de exposição da câmera.

A figura 3a apresenta tamanho de 4000x3000 pixels demonstrando um segmento do balneário Cassino em 10/5/2016 onde há uma passarela sobre as dunas. Esta área foi utilizada para a realização de diversos testes, o que possibilitou estabelecer uma metodologia para o monitoramento da interação entre a urbanização, as dunas frontais e a faixa de praia. Este foi o formato que melhor se adequou para a construção de mosaicos por possuir mais pixels. Já a figura 3b (do mesmo local) está com o tamanho de 4000x2250 pixels. Neste teste (figura 3b), a configuração da câmera foi alterada, aumentando o valor de

exposição (EV), permitindo uma maior exposição, consequentemente clareando a fotografia.

Pilotagem manual e voo automatizado

Coleta de dados com pilotagem manual

Os primeiros testes com pilotagem manual foram realizados no balneário Cassino, ao longo de alguns trabalhos de campo que serviram para testar diferentes alturas de voo, configurações da câmera (Figura 3), obter fotografias verticais e oblíquas e

estudar suas possibilidades. Posteriormente foram obtidas imagens verticais e oblíquas também das demais localidades, abrangendo o sistema praia duna defrontante aos principais balneários da costa central e sul do Rio Grande do Sul. Os voos foram realizados com diversas alturas em relação ao solo, dependendo da dimensão de cada local.

A pilotagem manual é aquela em que o piloto assume todas as funções da operação durante o voo. Podem ser obtidas fotografias em distintos ângulos e graus de exposição da câmera, além de se realizar vídeos. A figura 4 ilustra as principais angulações em que podem ser obtidas as fotografias aéreas segundo Disperati, 1995.

Entende-se por fotografia vertical (figura 4a) aquela em que o ângulo entre a linha do horizonte e a lente da câmera é de 90° , com uma tolerância de 3° para mais ou para menos, ou ainda, pode-se dizer que uma fotografia aérea é dita vertical quando, no momento de sua tomada, o eixo ótico da câmera fotográfica estava apontado verticalmente, equivalente à linha do fio do prumo, ou tão próximo dela quanto possível (Disperati, 1995; Jensen, 2009). Neste trabalho as fotografias obtidas foram classificadas em verticais e oblíquas, sendo estas definidas como inclinadas altas e baixas (Figura 4b, c).

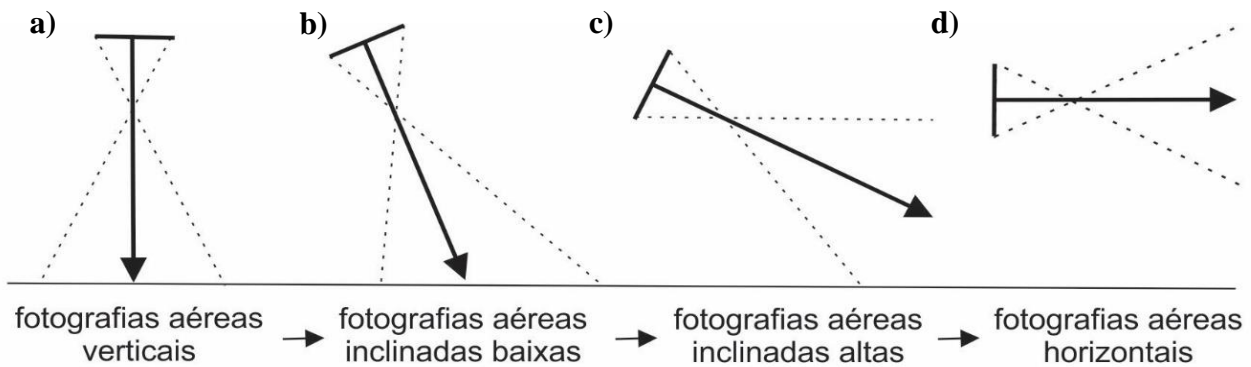


Figura 4. Modelo esquemático indicando formas de obtenção de fotografias aéreas: (a) Fotografia vertical. (b e c) Fotografias oblíquas ou inclinadas. (d) Fotografia horizontal. Fonte: Adaptado de Disperati, 1995.

As fotografias verticais foram adquiridas no intuito de realizar uma análise quantitativa dos dados obtidos. A figura 5 consiste em duas cenas

verticais dos Balneários Barra do Chuí e Hermenegildo, localizados em Santa Vitória do Palmar.



Figura 5. (a) Fotografia aérea vertical de drone obtida em 18/6/2016 na Barra do Chuí, identificando o enrocamento na desembocadura do arroio Chuí, a presença de dunas e vegetação e da barreira Holocênica acoplada na barreira

Pleistocênica (*mainland barrier*). (b) Fotografia aérea vertical de drone obtida em 27/9/2016 no balneário do Hermenegildo, identificando uma orla urbanizada com estruturas de contenção à erosão costeira.

Após definir-se uma altura de voo, o drone pode ser direcionado para obter o alvo (cenas), utilizando-se da imagem observada instantaneamente no *tablet* e com auxílio do “croqui de voo”, para alcançar os resultados. Este “croqui de voo” pode ser elaborado a partir de uma imagem orbital, ou levantamento aerofotogramétrico anterior da área, delimitando-se um polígono de interesse na área de estudo. Isto irá auxiliar no processo de captação das imagens maximizando o curto tempo de duração de cada bateria, que é de cerca de 23 minutos. Salienta-se a necessidade da realização destes “croquis de voo” quando se pretende fotografar uma determinada área de interesse, a partir da pilotagem manual do equipamento.

Destaca-se ainda que uma limitação dos voos com pilotagem manual é que este procedimento exige uma certa habilidade do piloto em controlar a aeronave para manter uma rota específica, coletar as fotografias, e ainda decolar e pousar em segurança. Todavia este processo quando realizado com os devidos cuidados, e com treino do piloto, pode gerar subsídios tanto para análises qualitativas (fotografias oblíquas), como para análises quantitativas (fotografias verticais), sendo que os mosaicos podem ser gerados de forma

manual a partir de softwares GIS, ou de forma automática, obtendo-se maior ou menor precisão dependendo dos procedimentos adotados. Isto será analisado no item (Processamento de fotografias verticais).

As fotografias oblíquas (figuras 4b e 4c, figura 6) podem ser utilizadas para complementar e interpretar as informações adquiridas a partir das fotografias verticais, ou ainda configurar um resultado relevante para análises qualitativas. Estas permitem obter uma visão mais integrada de uma determinada área de estudo e, embora não sejam as mais indicadas para a quantificação (Disperati, 1995; Jensen, 2009), podem fornecer subsídios para a compreensão e avaliação qualitativa de diversos processos atuantes nas diferentes áreas que podem ser analisadas. Por exemplo, Oliveira & Simões, 2018, utilizaram-se de fotografias oblíquas obtidas por drone para tecer comentários acerca da geomorfologia costeira da costa central e sul do Rio Grande do Sul. A figura 6 demonstra algumas fotografias oblíquas, evidenciando o seu potencial para a pesquisa em geomorfologia costeira, morfodinâmica de praias arenosas e dunas costeiras, gerenciamento costeiro, análise da paisagem e áreas afins.

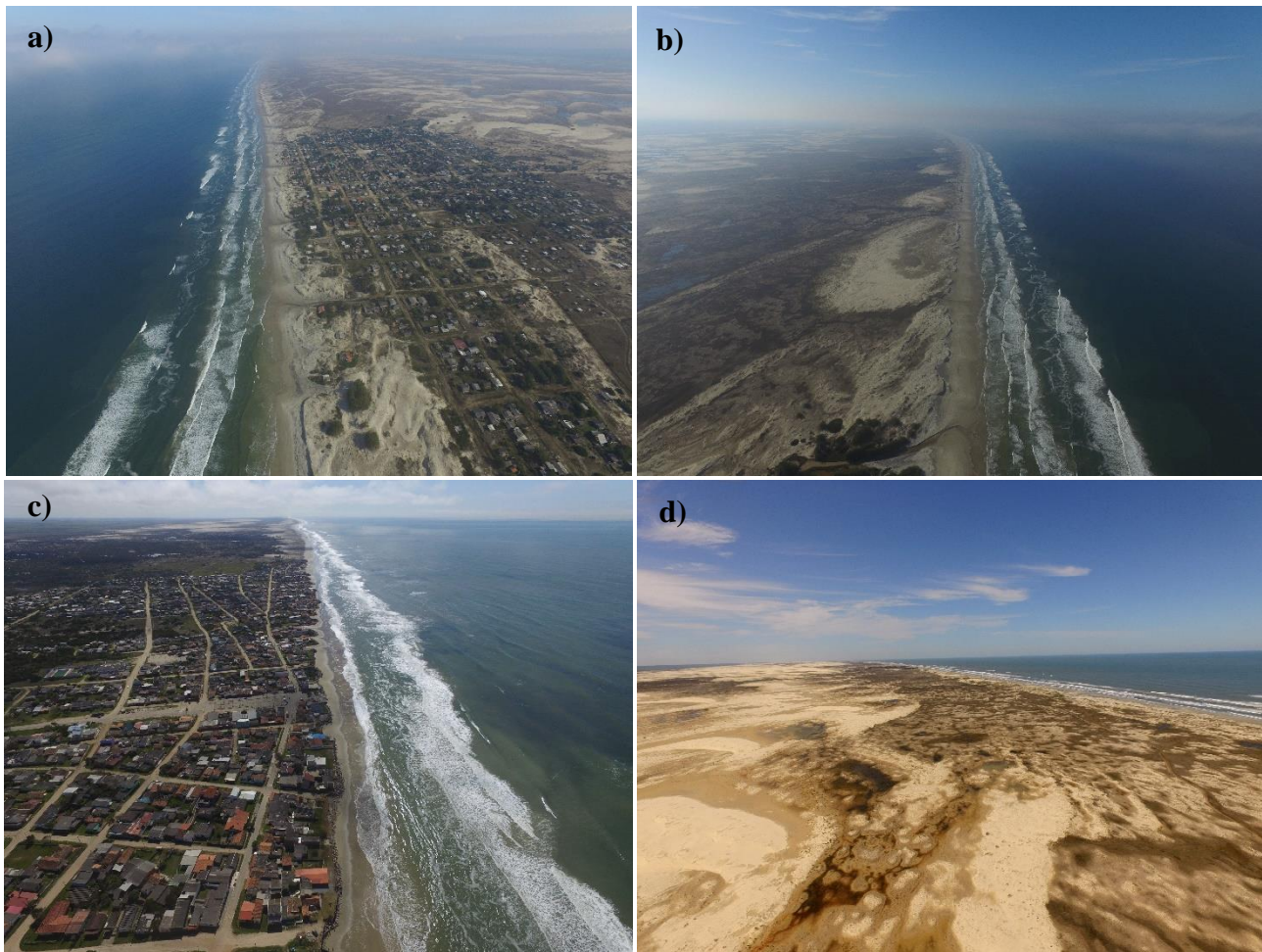


Figura 6. (a) Fotografia oblíqua de drone obtida em 14/6/2017 no balneário Mostardense, com destaque para a incidência oblíqua de ondas, gerando deriva para N, a transgressão de dunas sobre edificações, e a proximidade das ocupações com o limite praia duna. (b) Fotografia oblíqua obtida em 14/6/2017 de segmento ao norte do balneário Mostardense, com destaque para dunas parabólicas migrando de NE para SW, além de dois bancos longitudinais paralelos a costa bastante demarcados pela quebra de ondas. (c) Balneário do Hermenegildo fotografado em 27/9/2016, conhecido *hot spot* erosivo da costa do Rio Grande do Sul, com destaque para a urbanização que sofre com a ação marinha direta durante tempestades. (d) Fotografia oblíqua obtida em 4/10/2017 próximo à Praia do Farol, com destaque para dunas barcanas e barcanóides migrando de NE para SW.

Coleta de dados com voos automatizados

Atualmente existem diversos *softwares* que auxiliam voos automatizados tais como *DroneDeploy*, *DJI Ground Station Pro*, *Skydrones*, *Precision Flight*, *Pix4D Capture*, dentre outros. Neste trabalho o software utilizado foi o *DroneDeploy*. Com este é possível pré-definir, de forma simples e intuitiva, rotas de coleta de dados em qualquer computador, tablet ou smartphone com acesso à internet, e posteriormente carregar esses dados no drone conectando (*tablet*, rádio, drone). Durante a programação do plano de voo, é possível escolher a altura de voo, a sobreposição

das fotografias, a velocidade de voo do drone, o ângulo das linhas de amostragem em que o drone irá trabalhar e a área contemplada, fornecendo previamente o tamanho de pixel que será obtido. Também há um simulador que permite que se realize uma estimativa do número de fotografias que será obtido a partir de cada plano de voo. Utilizando estes procedimentos foram realizados testes ao sul do balneário Cassino durante os meses de maio a novembro de 2017 em alturas entre 50 e 120 m, para possibilitar a construção de mosaicos ortorretificados de fotografias aéreas verticais (Figura 7).

Simões, R. S., Oliveira, U. R., Espinoza, J. A., Albuquerque, M. G., Alves, D. C. L.

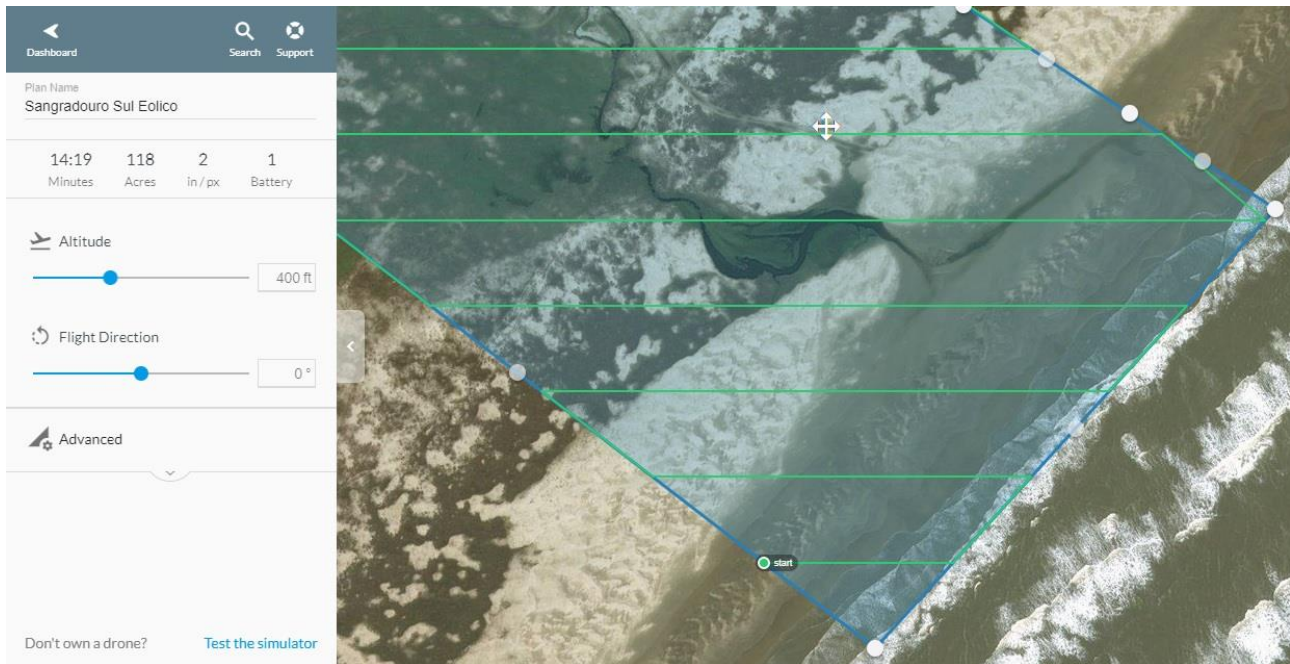


Figura 7. Fragmento de plano de voo para um segmento situado ao sul do balneário Cassino, construído no *software Drone Deploy*.

A figura 7 demonstra um plano de voo automatizado para um trecho ao sul do Balneário Cassino. Como é possível observar, o *software* consegue calcular o número de baterias necessárias para a realização do trabalho, estima o tamanho do pixel e o tempo de voo, além de outras configurações. Em campo, o *tablet* transmite ao rádio transmissor o plano de voo, que decodifica e retransmite ao drone. O *software Drone Deploy*, previamente instalado no *tablet*, abre automaticamente e, após a realização de um breve checklist que certifica o funcionamento do GPS e demais instrumentos do drone, é possível realizar a decolagem de forma simples. Depois disto o drone assume o controle e realiza o levantamento nas linhas pré-determinadas, retorna, pouso e desliga os motores automaticamente, facilitando o processo de coleta de fotografias aéreas verticais. É importante salientar que para garantir a segurança do equipamento, antes de transmitir os dados do *Drone Deploy* para o drone, recomenda-se que se acesse o *software DJI GO* no local onde será realizado o levantamento, com o drone ligado, para que o piloto certifique-se que o equipamento gravou em sua memória um *home point*, permitindo que o drone retorne e pouso no local onde decolou em caso de perda de sinal de rádio ou

níveis críticos de bateria. Após esta etapa é necessário trocar a posição da chave que fica do lado esquerdo do controle do (*Phantom 3 Professional*) de P para F, ligar o drone novamente e acessar o *software Drone Deploy* para realizar o carregamento do plano de voo. Este procedimento garante que, em caso de qualquer problema durante a realização do voo automatizado, o piloto tenha a opção de assumir o controle do drone trocando a chave novamente para a posição P, ou ainda utilizar o botão (*go home*), onde o drone retornará imediatamente para o *home point* salvo em sua memória.

Como limitação deve-se apontar que o processo de captação de fotografias verticais realizado de forma automática, tende a gerar um grande volume de fotografias que necessitam de um computador com considerável capacidade de processamento de dados para construir os ortomosaicos de forma automatizada, também em função desse volume maior de dados, os ortomosaicos gerados a partir dessa metodologia tornam-se muito mais detalhados e precisos.

Outra vantagem é que este processo não exige habilidade de pilotagem do piloto, que neste caso tem muito pouca interação com o equipamento e seguindo poucos passos

metodológicos coloca o drone para voar e realizar o trabalho. Destaca-se ainda, o menor consumo de bateria uma vez que o equipamento voando de forma automática, mantém um curso mais constante, consumindo menos energia, além de

uma homogeneidade na sobreposição das fotografias, facilitando o processo de construção de mosaicos

Resultados e discussão

Fluxograma para coleta e tratamento de dados por drone de pequeno porte

Como este trabalho possui um enfoque metodológico, discutindo diversas possibilidades e também limitações da realização de coleta e processamento de dados com um drone de pequeno porte, demonstrando alternativas com *softwares* livres e licenciados, criou-se um fluxograma de trabalho, que foi elaborado ao longo dos mais de

100 voos realizados (trabalhos de campo) entre 2016-2018. Este fluxograma pode auxiliar no processo de coleta de dados de trabalhos futuros que escolham uma ou mais das metodologias aqui discutidas. A figura 8 demonstra as principais etapas realizadas, desde a coleta de dados até os resultados. Destacados em cinza estão os métodos que produziram os resultados aqui apresentados, embora todos os outros abordados no fluxograma, também tenham sido testados, sendo os dados apresentados os que produziram resultados de maior relevância.

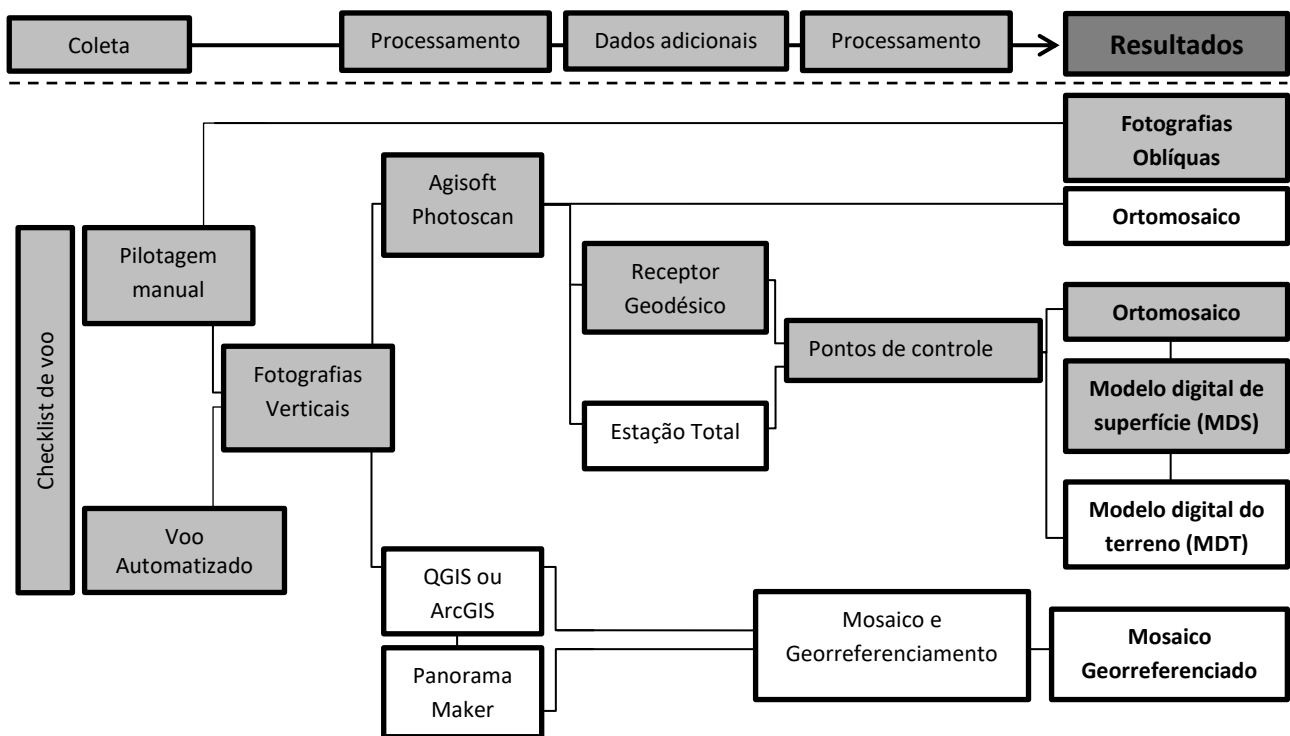


Figura 8. Fluxograma de trabalho com drones de pequeno porte

Checklist de voo

Ao longo dos diversos trabalhos de campo foi possível desenvolver um *Checklist*, que evoluiu à medida que os trabalhos foram realizados. Este

Checklist visa auxiliar tanto nos preparativos para a coleta de dados, como em campo no momento da coleta, e consiste em uma breve lista de itens os quais deve-se redobrar a atenção antes e durante a realização de cada trabalho com o equipamento utilizado. Anteriormente ao trabalho de campo, em

Simões, R. S., Oliveira, U. R., Espinoza, J. A., Albuquerque, M. G., Alves, D. C. L.

gabinete, deve-se estar atento aos seguintes aspectos:

- ✓ *Planejamento do voo a ser realizado a partir de softwares como o Google Earth, estimando a área e o número de baterias necessárias para cada levantamento no modo manual, ou em softwares como o Drone Deploy para voos automatizados;*
- ✓ *Atualização do firmware do drone;*
- ✓ *Calibração do rádio controle;*
- ✓ *Calibração da bússola e do IMU do drone;*
- ✓ *Carregamento total das baterias do drone;*
- ✓ *Carregamento total do rádio controle do drone;*
- ✓ *Carregamento total do tablet/smartphone;*
- ✓ *Impressão de um “croqui de voo” para voos em modo manual;*
- ✓ *Upload do plano de voo para o tablet/smartphone para voos em modo automatizado (tornar disponível off-line);*
- ✓ *Alvos para colocação em campo no caso de trabalho em conjunto com receptor Geodésico;*
- ✓ *Previsão do tempo detalhada;*

Já durante a realização do trabalho de campo, durante a coleta, deve-se ater aos seguintes aspectos:

- ✓ *Observação de aeronaves ou aves voando nas proximidades, não realizando ou prorrogando o voo no caso da presença destas na área do voo;*
- ✓ *Certificar-se se a direção e intensidade do vento é adequada para a realização do voo;*
- ✓ *Certificar-se se as especificações da câmera estão de acordo com os padrões previamente estabelecidos;*
- ✓ *Certificar-se que o drone gravou um homepoint antes de distanciar-se do operador;*
- ✓ *Certificar-se do correto funcionamento de todos os controles do rádio controle antes do drone distanciar-se do operador;*
- ✓ *Certificar-se da situação das baterias antes do drone distanciar-se do operador;*

No caso da gravação do *homepoint*, ressaltasse que caso o drone acione o *go home*, se o último *homepoint* salvo em sua memória não coincidir com o mesmo local onde o trabalho está sendo realizado, é possível que o equipamento tente retornar para o *homepoint* anterior, salvo em sua memória, que poderá estar localizado a dezenas ou centenas de km de distância do operador, resultando na queda do equipamento por falta de bateria.

Processamento de fotografias verticais

Com base nas duas metodologias de coleta de dados com o drone *DJI Phantom 3 Professional*, foram avaliados *softwares* para o processamento das fotografias verticais, sejam elas coletadas através de voos com pilotagem manual ou automatizada. O *software* utilizado para o tratamento dos dados neste trabalho foi o *Agisoft Photoscan*. Este *software* de origem russa é utilizado para o tratamento de imagens obtidas por drone e permite a criação de mosaicos ortorretificados a partir de fotografias aéreas, além

da possibilidade da criação de modelos digitais de superfície e do terreno.

Salienta-se ainda que é possível se realizar este processo de construção de mosaicos manualmente no *software* livre QGIS reduzindo os custos inerentes a pesquisa, ou ainda de forma automática no *software Panorama Maker*, dentre outros. Porém os mosaicos de fotografias de drone gerados pelo *software Panorama Maker* e também os gerados manualmente em *softwares GIS*, apresentaram distorções significativas, dificultando a análise de parâmetros morfométricos. Todavia se o objetivo for de uma análise com caráter qualitativo estes são uma alternativa, pois são gratuitos.

A partir das fotografias verticais obtidas, seja em voos com pilotagem manual, seja em voos no modo automatizado, foram criados mosaicos ortorretificados utilizando o *software Agisoft Photoscan*. Este *software* possui ferramentas que facilitam o processo de criação dos ortomosaicos e modelos digitais de superfície, permitindo ao operador controlar cada etapa do processo desde o alinhamento das fotografias, a construção de

Simões, R. S., Oliveira, U. R., Espinoza, J. A., Albuquerque, M. G., Alves, D. C. L.

nuvem de pontos de correlação, a realização do mosaico das imagens, a elaboração de texturas, construção de um modelo 3d, do modelo digital de superfície, a ortorretificação das imagens e por último a criação do ortomosaico. Cabe salientar que o GPS do drone *DJI Phantom 3 Professional* é um GPS de navegação, que possui uma margem de erro significativa no eixo Z (altimétrico), além disso o valor de Z registrado nas fotografias também leva em consideração os dados do sensor barométrico inserido no drone, resultando em imprecisões do eixo Z bastante significativas.

Portanto, para a realização de trabalhos que visem a topografia, para o caso de trabalhos realizados com o drone *Phanton 3 Professional*, é necessária a aquisição de pontos de controle em solo com um receptor geodésico, aferindo os dados altimétricos, para tornar possível a realização da comparação entre modelos digitais de superfície de uma mesma área, para compreender por exemplo, variações de volume em dunas frontais. Neste caso, a utilização de alvos no pós-praia e dunas, com coordenadas coletadas por receptor geodésico, sobretudo em áreas não urbanizadas, onde não há pontos facilmente identificáveis na paisagem, pode

resultar em um aumento significativo da precisão do projeto.

O voo realizado em 15 de junho de 2016 no balneário Mostardense (figura 9) foi o primeiro onde o drone foi utilizado para cobrir uma área contínua e relativamente extensa, com cerca de 2000 m por 500 m, julgando-se as pequenas dimensões do equipamento. Os resultados foram satisfatórios uma vez que o drone a partir da pilotagem manual, foi utilizado para obter fotografias verticais e oblíquas de toda a área de estudo, com a utilização de uma bateria e um único voo com duração de apenas 9 minutos. Este fato deve ser destacado uma vez que este procedimento de coleta não requer uma grande equipe e dispende muito pouco tempo dos pesquisadores envolvidos, o que permite a realização da coleta de dados de diversas áreas de estudo em um único dia de trabalho, sendo o tempo de deslocamento entre uma área e outra, inevitavelmente maior, do que o tempo gasto para a coleta de dados. Ressalta-se que é aconselhável que os dados de drone de uma mesma área, sejam obtidos em um período de tempo relativamente curto (minutos) para evitar alteração significativa na angulação solar e constelação de satélites.

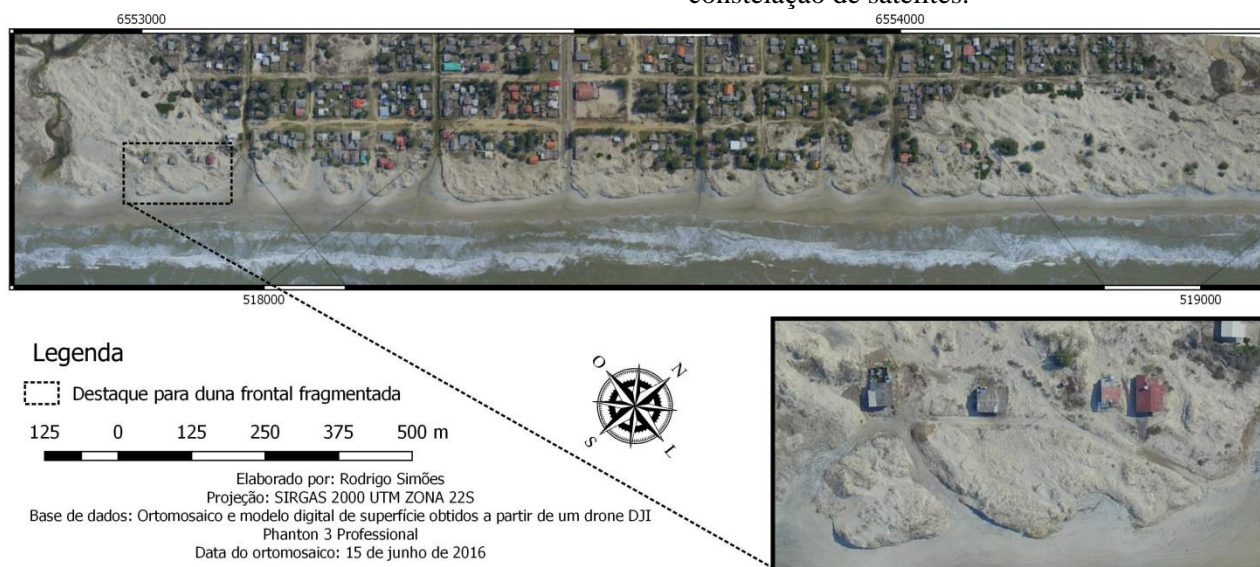


Figura 9. Balneário Mostardense em 15 de junho de 2016. Neste local a ocupação encontra-se muito próxima da linha de costa. Dunas frontais estão confinadas entre as edificações e a praia. As ocupações deste balneário começam a sofrer os efeitos da remobilização eólica e da erosão costeira, com soterramento de edificações e fragmentação das dunas frontais, ocasionada pelos arruamentos que permitem o acesso à praia e pela própria erosão costeira.

Este procedimento também foi realizado em outros balneários da costa central e sul do Rio Grande do Sul. Neste contexto o mosaico que contemplou o balneário Hermenegildo, realizado

em 19/11/2016 (figura 10) demonstra com altíssima resolução espacial (pixel de 8cm) os efeitos da passagem de um forte ciclone que causou degradação da orla.

Simões, R. S., Oliveira, U. R., Espinoza, J. A., Albuquerque, M. G., Alves, D. C. L.



Figura 10. Mosaico realizado a partir de pilotagem manual do drone DJI Phantom 3 Professional no balneário Hermenegildo em 19/11/2016. Este balneário apresenta urbanização junto a faixa de praia, tendo um histórico de erosão costeira e danos a edificações. Neste local, em outubro de 2016, após a passagem de um evento hidrodinâmico extremo, ocorreu a degradação de cerca de 80 casas que estavam na linha de frente da urbanização por ação direta das ondas, além de acentuada degradação ambiental proveniente dos depósitos tecnogênicos que ficaram no pós-praia.

Análise de parâmetros morfométricos

A partir das imagens obtidas com o drone *DJI Phantom 3 Professional* e processamentos supracitados, torna-se viável explorar a obtenção de parâmetros morfométricos. Os mosaicos podem ser utilizados para avaliação e quantificação de diversos parâmetros inerentes a urbanização da orla oceânica bem como parâmetros naturais de variação da morfologia dunar e da linha de costa. Já os modelos digitais de superfície, depois de devidamente aferidos com coordenadas de receptor geodésico, podem ser utilizados para estudos que considerem a altimetria e cálculos de volumes. Uma vez que dados GNSS (GPS-RTK) foram utilizados para ajustar o conjunto de imagens após o alinhamento, este procedimento “força” a *tie points* a incorporar a referência espacial dos pontos de controle. Todos os produtos derivados (*dense cloud*, DEM-DSM e ortomosaico) serão registrados com os novos valores impostos pelos

pontos de controle, elevando a precisão do projeto/modelo. Após esta etapa, vários procedimentos podem ser realizados, no intuito de calcular a variação de parâmetros morfométricos, como por exemplo a variação da linha de costa ou dunas costeiras.

Um exemplo de aplicação é o uso do método Polígono de Mudança (Smith & Crownley, 2012), utilizados por Albuquerque, 2013; Albuquerque *et al.* 2013, Leal 2016; Leal *et al.* 2018, para análises em imagens orbitais.

Fotografias de altíssima resolução de drone, ortoretificadas e georreferenciadas podem ser usadas para a aplicação deste método. Simões *et al.* 2017; Simões & Oliveira, 2017; Simões 2017, realizaram estudos de morfodinâmica em diversas localidades da costa do Rio Grande do Sul a partir de imagens de drone e do método do polígono de mudança. Simões 2018, realizou um

Simões, R. S., Oliveira, U. R., Espinoza, J. A., Albuquerque, M. G., Alves, D. C. L.

acompanhamento mensal da variação da linha de costa e da morfologia das dunas frontais com alta precisão no balneário Mostardense, localizado no litoral central da planície costeira do Rio Grande do Sul, utilizando-se como indicador de linha de costa a base das dunas frontais. Como exemplo deste monitoramento, foram extraídos dois mosaicos

para demonstrar a variação da linha de costa ocorrida no balneário Mostardense entre junho/2016 e junho/2017 (Figura 11). Esta localidade perdeu uma área de dunas de 27500 m² com uma variação média (recuo) do limite superior da praia de 13,9 m no período analisado.

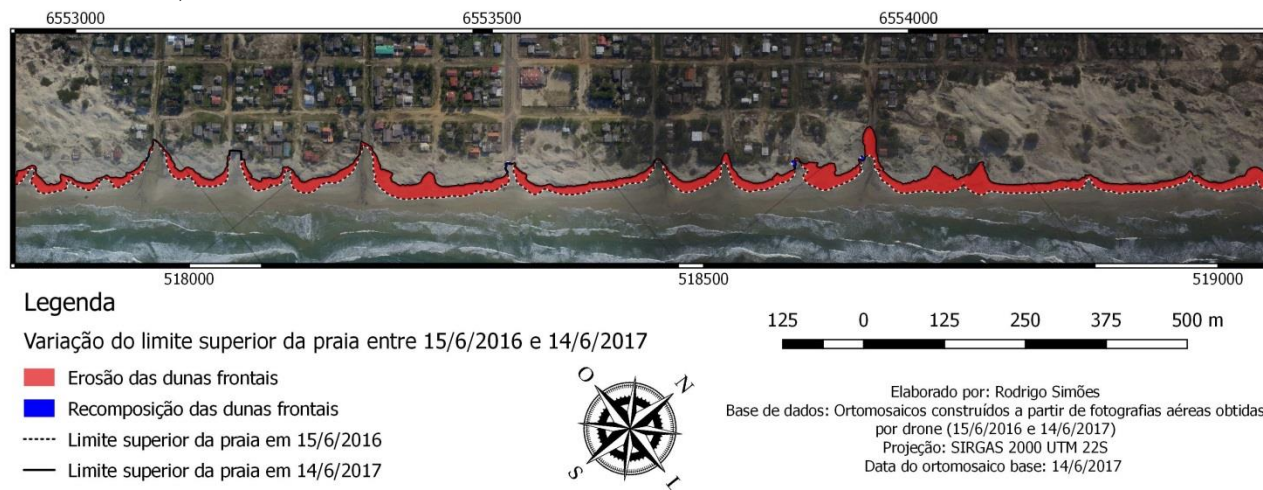


Figura 11. Variação de linha de costa no balneário Mostardense entre 15 de junho de 2016 a 14 de junho de 2017 a partir do método do polígono de mudança. Esta localidade perdeu uma área de dunas de 27500 m² com uma variação média do limite superior da praia de 13,9 m no período analisado.

Já Oliveira *et al.* 2017 e Albuquerque *et al.* 2018, utilizaram-se da mesma metodologia com mosaicos construídos a partir de fotografias extraídas por drones, e do método do polígono da mudança, para caracterizar os impactos de um evento extremo de alta energia de onda que assolou a costa do Rio Grande do Sul no final de outubro de 2016, analisando a variação do limite superior da praia antes e depois da passagem de um ciclone em balneários da costa central e sul do Estado do Rio Grande do Sul.

Topografia com drone

A partir de um conjunto robusto de fotografias verticais extraídas por drone, e o auxílio de pontos de controle coletados em campo por

receptor geodésico (figura 12a), foi possível obter-se a topografia, permitindo não apenas a análise de parâmetros morfométricos em planta, mas também em três dimensões, considerando o eixo Z (altimétrico). Dessa forma, no que concerne ao estudo da geomorfologia e morfodinâmica costeiras, este tipo de dado possibilita extrair diversos parâmetros que auxiliam no estudo de feições, sobretudo no estudo das dunas costeiras. Essa metodologia foi aplicada no balneário Mostardense, na costa central do RS em 22/11/2017. Para tal foram utilizados pontos coletados no vértice de edificações além das coordenadas do centroide de alvos confeccionados em lona (antigos banners reaproveitados), inseridos no pós-praia e dunas, conforme ilustrado na figura 12 (b).



Figura 12. (a) Coleta de pontos de controle por receptor geodésico no vértice de uma ocupação. (b) Alvos confeccionados a partir de antigos banners reaproveitados, utilizados nas dunas e pós-praia.

As coordenadas (X, Y, Z) do centroide desses alvos foram coletadas por receptor geodésico de marca Leica Viva® GS15 GNSS. Este equipamento recebe as frequências L1 e L2 e L2C, com 120 canais, operando com uma tolerância na precisão em 3D (X, Y, Z) de 0,05m. O equipamento possui um rádio *Pacific Crest ADL* acoplado que lhe dá um alcance operacional de 12 km, podendo receber sinal dos sistemas GPS L2, GPS L5, *Glonas*, *Galileo* e *BeiDou*. Também foram coletadas coordenadas dos vértices das construções da área urbana do balneário, construindo uma malha com mais de 60 pontos de controle, que foram utilizados para melhorar a precisão do modelo digital de superfície gerado. Para a confecção deste mosaico e modelo digital de superfície, foram coletadas 103 fotografias verticais com pixel de 8 cm que recobriram uma área de aproximadamente 2500mX500m. As fotografias foram processadas no *software Agisoft*

PhotoScan, com alinhamento das mesmas a partir de mais de 90 mil pontos homólogos. A partir deste produto inicial foi construída uma nuvem densa de pontos, com mais de oito milhões de pontos. As coordenadas dos pontos coletados em campo foram inseridas, aumentando a precisão do modelo. 10% dos pontos coletados em campo foram utilizados como controle, não fazendo parte do modelo, mas servindo para gerar uma estatística do erro absoluto (total X, Y e Z). Este erro foi de 0,12 m, bastante satisfatório quando consideradas as especificações da plataforma aérea utilizada. É muito provável, que em trabalhos futuros, com voos a alturas inferiores essa margem de erro seja significativamente reduzida. A figura 13 (a) ilustra um fragmento da malha de mais de oito milhões de pontos criada a partir das fotografias aéreas permitindo a interpretação da topografia local e (b) a mesma malha com a sobreposição das fotografias.

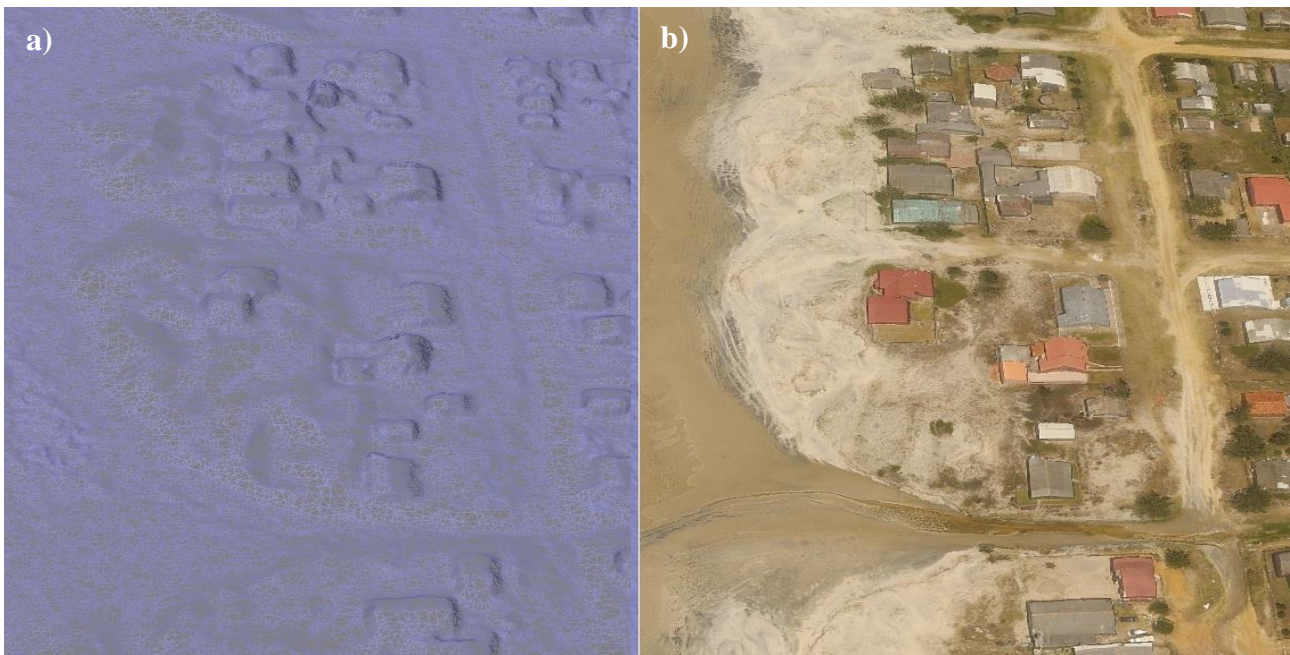


Figura 13. (a) Fragmento da malha de pontos elaborada no *software Agisoft Photoscan*. (b) Malha de pontos com sobreposição das fotografias obtidas.

Já a figura 14 (a e b) demonstra dois perfis topográficos traçados em um fragmento do modelo digital de superfície gerado no *software Agisoft Photoscan*, permitindo interpretar a morfologia das

dunas frontais situadas entre as ocupações e o limite superior da praia (a) e as próprias feições eólicas (b).

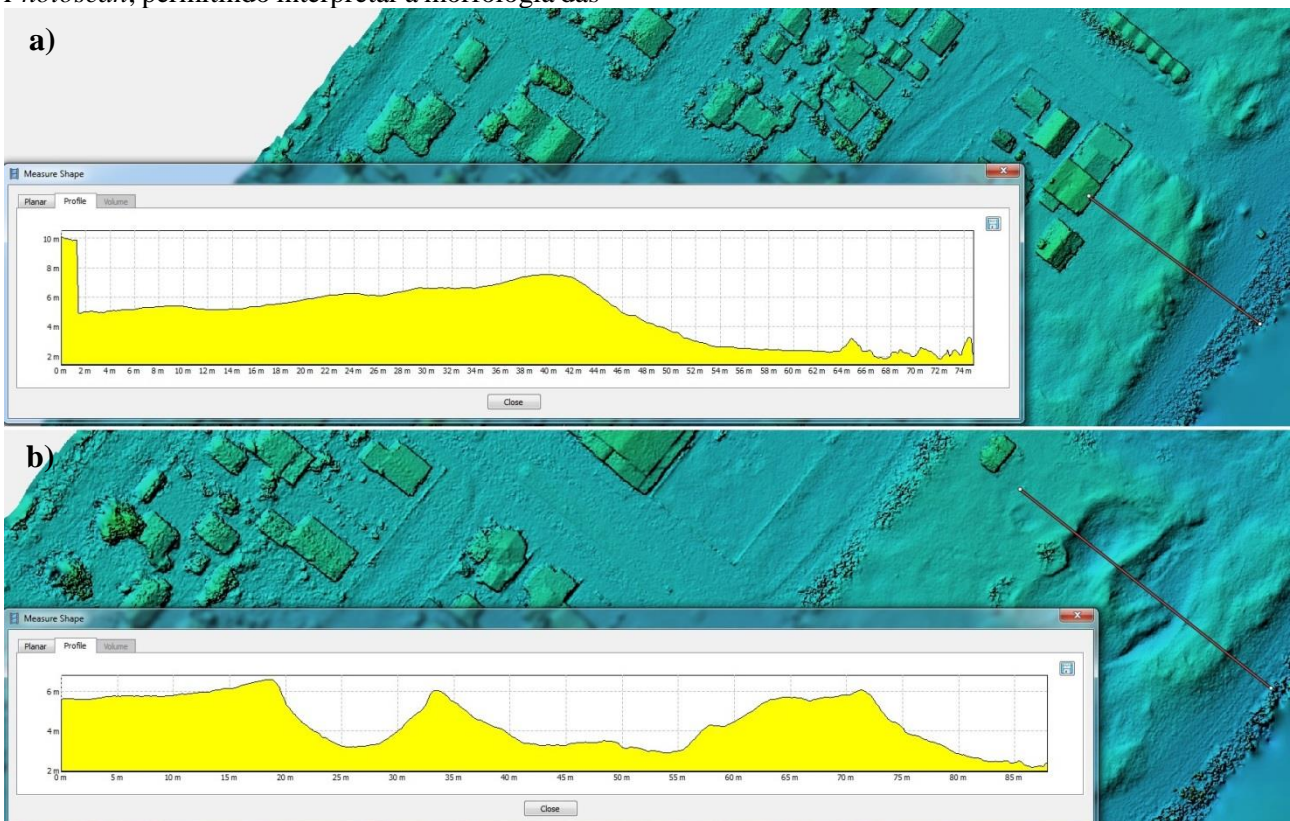


Figura 14. Exemplos de aplicação e medição no modelo digital de superfície realizado no *software Agisoft Photoscan*. (a) Perfil entre uma das ocupações e o limite superior da praia. (b) Perfil demonstrando corredores de deflação no reverso das dunas frontais.

Simões, R. S., Oliveira, U. R., Espinoza, J. A., Albuquerque, M. G., Alves, D. C. L.

Há de se salientar que especificamente na linha d'água deste modelo há sinais não condizentes com a altimetria local, fruto da reflectância diferencial ocasionada pela água do mar e da dificuldade em encontrar pontos homólogos já que a água estava em deslocamento pela ação das ondas. Por este motivo os dados produzidos foram aferidos e são confiáveis apenas

até a linha d'água no instante da captura das imagens. Este modelo digital de superfície foi exportado e processado no *software* livre QGIS, permitindo a elaboração de um produto cartográfico do balneário Mostardense, onde digitalmente foi possível extrair perfis topográficos das dunas frontais como ilustrado na figura 15.

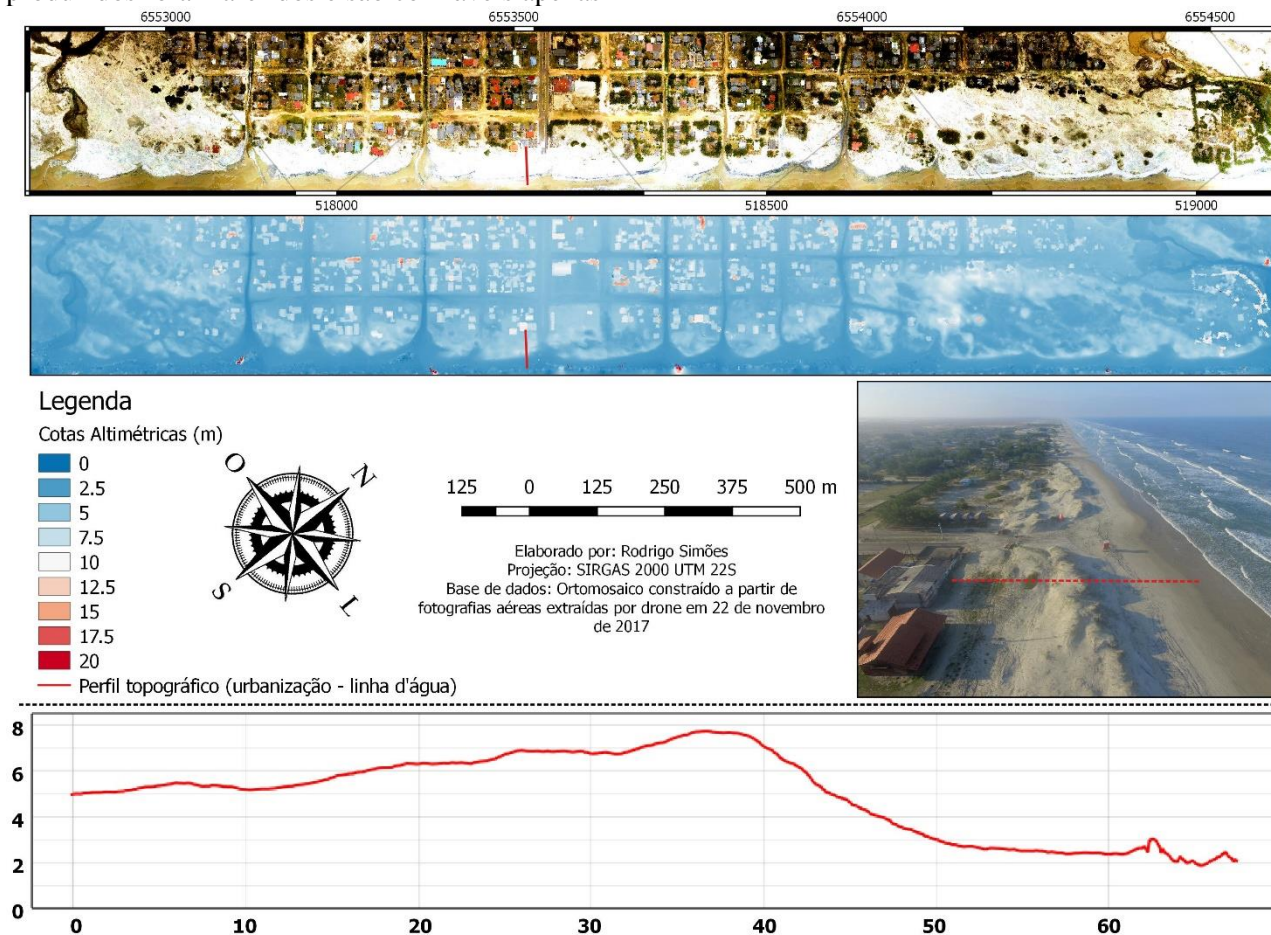


Figura 15. Mosaico e modelo digital de superfície do Balneário Mostardense, com destaque para perfil praiial com valores em (m) extraídos digitalmente a partir do modelo digital de superfície.

Com a obtenção de dados de elevação (Z), com precisão, foi possível obter-se a topografia, permitindo não apenas a análise de parâmetros morfométricos em planta, mas também em três dimensões considerando o eixo Z (altimétrico), como ilustrado nas figuras 13, 14 e 15. Os modelos digitais de superfície e do terreno produzidos por drone, depois de devidamente aferidos com coordenadas de receptor geodésico, podem ser utilizados para estudos que considerem a altimetria e cálculos de volumes.

Considerações finais

A ferramenta drone possibilita inúmeros estudos, podendo contemplar muitas variáveis. Drones de pequeno porte e baixo custo, como o drone *DJI Phantom 3 Professional*, possuem limitações quando comparados a drones de maior porte e evidentemente muito mais onerosos. No entanto, este equipamento apresentou resultados bastante significativos dado o investimento realizado, obtendo-se fotografias verticais,

oblíquas e vídeos, com as quais é possível realizar tratamentos e usos variados.

Os resultados obtidos neste trabalho usando voos com pilotagem manual e automatizada apontam para potencialidades e limitações de ambos, sendo o ideal que o pesquisador domine os dois métodos e utilize-se de qual se adequar mais a sua pesquisa. Voos manuais permitem a obtenção de fotografias verticais e oblíquas conjuntamente, além da alteração de configurações da câmera em movimento. Já os voos automatizados não requerem habilidades de pilotagem, mas domínio dos softwares envolvidos e das características e funcionamento do drone, e tendem a produzir dados mais precisos devido a homogeneidade na sobreposição das imagens.

Uma das limitações do equipamento é o curto tempo de duração das baterias (cerca de 23 min). Este não é um problema apenas do *DJI Phantom 3 Professional*, e sim de todos os drones de pequeno porte e baixo custo operacional. Esta curta duração da bateria do drone, exige dos pesquisadores um planejamento detalhado antes da realização de cada voo, seja a partir de “croquis de voo” no caso do método de pilotagem manual, seja a partir do planejamento de voo realizado em softwares como o *DroneDeploy* para voos automatizados. No entanto, as experiências adquiridas neste trabalho mostraram que o tempo de duração de uma única bateria, é suficiente para realizar uma longa série de fotografias verticais e oblíquas de toda a linha de urbanização defrontante ao oceano de segmentos com mais de 2 km de largura. Isto também depende da altura do voo e da intensidade dos ventos.

Os resultados apresentados neste trabalho, demonstram-se satisfatórios, pois com um equipamento de baixo custo de aquisição e fácil operação, é possível produzir um volume robusto de dados, que, quando bem processados, podem ser utilizados para a obtenção de diversos parâmetros morfométricos para análise ambiental, corroborando com as pesquisas no âmbito da geomorfologia costeira, morfodinâmica de praias ou análise da paisagem, dentre outras áreas da ciência que podem beneficiar-se das metodologias e experiências descritas no presente estudo.

Agradecimentos: Ao CNPq pelo financiamento do Projeto a qual este trabalho está inserido (CNPq Edital Universal 2014-3, processo 446963/2014-3). A Capes pela bolsa de Mestrado do primeiro autor. Ao grupo de pesquisa Geotecnologias e

Meio Ambiente (GEOMA) do IFRS - Rio Grande pelo auxílio em diversas etapas.

Referências

- Albuquerque, M.G. 2013. Análise espaço-temporal das causas da variabilidade da linha de costa e erosão na praia do Hermenegildo – RS. Tese de doutorado apresentada à Universidade Federal do Rio Grande do Sul para obtenção do título de Doutor em Geociências. Porto Alegre – RS, pp127.
- Albuquerque, M.G.; Espinoza, J.M.A.; Oliveira, A.; Corrêa, I. & Calliari, L.J. 2013, Erosion or Coastal Variability: an evaluation of the DSAS and the Change Polygon methods for the determination of erosive processes on sandy beaches. Florida: Journal of Coastal Research. Special Issue 65, 1710-1714.
- Albuquerque, M. G.; Leal Alves, D. C.; Espinoza, J. M. A.; Oliveira, U.R.; Simoes, R. 2018, Determining Shoreline Response to Meteorological Events Using Remote Sensing and Unmanned Aerial Vehicle (UAV): Case Study in Southern Brazil. Journal of Coastal Research, 85, 766-770.
- Disperatti, A.A. 1995, Fotografias aéreas inclinadas. Curitiba: Editora UFPR, 113.
- Gonçalves, G. R.; Santos, S.; Duarte, D.; Duarte, J.; Gomes, J. 2016, Utilização de geotecnologias na monitorização topográfica da erosão costeira. Lisboa: I Seminário Internacional UAV.
- Gonçalves, G.; Duarte, D.; Pérez, J.A.; Atkinson, A.D.; Sánchez-Fernández, M. & Duarte, J. 2016. Avaliação da qualidade e adequabilidade de mds obtidos por drones low-cost na monitorização topográfica de dunas primárias.
- Jensen, J.R. 2009. Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução de J.C.N. Epiphany. São José dos Campos: Parênteses, 598.
- Leal, K. B. 2016. Análise da variação da linha de costa nos balneários Mostardense, Mar Grosso, Cassino e Barra do Chuí - RS a partir de geotecnologias. Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de bacharelado em Geografia. Universidade Federal do Rio Grande – FURG, 80.
- Leal, K. B.; Oliveira, U. R.; Espinoza, J. M. A. 2018, Variação do limite praia duna nos

Simões, R. S., Oliveira, U. R., Espinoza, J. A., Albuquerque, M. G., Alves, D. C. L.

- Balneários Mostardense, Mar Grosso, Cassino e Barra do Chuí - RS no intervalo entre 2003-2015. *Quaternary and Environmental Geosciences* 9, 25-37.
- Longhitano, G.A. 2010. Vants para sensoriamento remoto: Aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas. Dissertação de mestrado apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de mestre em Engenharia. São Paulo, 163
- Lopes, M.F.A.A. 2015. Aplicação de VANT em estudos geomorfológicos dos litorais rochosos: o exemplo de S. Paio, Vila do Conde. Dissertação de mestrado apresentada ao programa de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território. Faculdade de Letras da Universidade do Porto. Portugal, 105.
- Oliveira, U.R.; Simões, R.S.; Espinoza, J.M.A.; Gautério, B.C. 2017. Impactos do ciclone extratropical de outubro de 2016 sobre localidades costeiras do litoral médio e sul do Rio Grande do Sul. *Anais do X Encogerco*, p 262-264.
- Oliveira, U.R & Simoes, R.S. 2018. Geomorfologia da costa central e sul do Rio Grande do Sul a partir de fotografias oblíquas de drone. Editora da Furg. 83.
- Rodrigues, A.A. 2016. Uso de veículos aéreos não tripulados para mapeamento e avaliação de erosão urbana. Dissertação de mestrado apresentada ao programa de pós graduação em Geografia, do instituto de estudos sócioambientais da Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 140.
- Scarelli, F.M. 2016. Integração de geotecnologias como subsídio a gestão integrada de zonas costeiras, Capão Novo (RS-Brasil) e Ravenna (ER-Itália). Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. 184.
- Simões, R.S.; Oliveira, U.R. 2017, Análise da variação do limite superior da praia no balneário Mostardense - RS, com auxílio de diferentes geotecnologias. *Anais do Congresso da Abequa*.
- Simões, R.S.; Oliveira, U.R.; Espinoza, J.M.A. 2017. Balneário Mostardense – RS: Da transgressão eólica sobre edificações à erosão costeira. *Anais do X Encogerco*, 261-262.
- Simões, R.S. 2017. Monitoramento mensal da morfologia das dunas frontais no balneário Mostardense com auxílio de um drone. *Anais do XII Encontro Nacional da Anpege – enanpege*.
- Simões, R.S. 2018, Mobilidade do limite praia duna no balneário Mostardense – RS: Monitoramento por drone. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Geografia. Universidade Federal do Rio Grande – FURG. 129.
- Smith, M.J. & Cromley, R.G. 2012. Measuring historical coastal change using GIS and the change polygon approach. *Transactions in GIS* 16, 3-15
- Viles, H. 2016. Technology and geomorphology: Are improvements in data collection techniques transforming geomorphic science? *Geomorphology* 270, 121-133.