

APLICAÇÕES DO SATÉLITE ICESAT-2 PARA ESTIMATIVAS DE PROFUNDIDADE DE SUPERFÍCIE PARA A LAGOA DA CONCEIÇÃO

Data de submissão: 10/01/2024

Data de aceite: 01/03/2024

Renato Ramos da Silva

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Departamento de Física
Florianópolis – SC
<http://lattes.cnpq.br/9733821952821123>
<https://orcid.org/0000-0002-3714-0870>

Camila Rafaela Barg

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Departamento de Física
Florianópolis – SC
<http://lattes.cnpq.br/2330224914444497>

Yoshiaki Sakagami

Instituto Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis – SC
<http://lattes.cnpq.br/0110697228360120>

Reinaldo Haas

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Departamento de Física
Florianópolis – SC
<http://lattes.cnpq.br/0514296503573709>

Wendell Rondinelli Gomes Farias

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Departamento de Física
Florianópolis – SC
<http://lattes.cnpq.br/6987580244748088>

Vinícius José Dias

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Departamento de Física
Florianópolis – SC
<http://lattes.cnpq.br/8996461911902151>

Natacha Pires Ramos

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Departamento de Física
Florianópolis – SC
<http://lattes.cnpq.br/2877857558976701>

Gabriel Goulart Rosa

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Departamento de Física
Florianópolis – SC
<http://lattes.cnpq.br/9291758676797054>

RESUMO: O satélite ICESAT-2 possui um sistema altimétrico que permite estimativas de superfícies. Este sistema possui um LIDAR na banda de 532 nanômetros que permite estimar altura de superfícies como icebergs, vegetação e também altura de superfícies aquáticas. Enquanto fótons emitidos com baixa energia permitem estimativas da altura de uma superfície aquática, fótons de maior energia permitem estimativas da batimetria destas superfícies. Dados do ICESAT-2 foram aplicados à região da Lagoa da Conceição, localizada na Ilha de Santa Catarina. Os resultados mostraram que estes dados permitem estimar estas alturas de superfície e batimetria para os dias particulares onde o

satélite teve sua órbita sobre a região de estudo. Em particular, permitiu avaliar as regiões de maior e menor profundidades da lagoa. Os resultados mostraram que esta ferramenta pode ser uma importante opção para monitoramento da lagoa e suas possíveis mudanças em função de eventos meteorológicos extremos e tendências.

PALAVRAS-CHAVE: ICESAT-2; Batimetria; Lagoa da Conceição

APPLICATIONS OF THE ICESAT-2 SATELLITE FOR ESTIMATES OF SURFACE DEPTH FOR LAGOA DA CONCEIÇÃO

ABSTRACT: The ICESAT-2 satellite has an altimetric system that allows surface estimations. This system has a LIDAR in the 532 nanometer band that allows estimating the height of surfaces such as icebergs, vegetation and also the height of water surfaces. While photons emitted with low energy allow estimates of the height of a water surface, higher energy photons allow estimates of the bathymetry of these surfaces. In this study, the ICESAT-2 data were applied to the Lagoa da Conceição region, located on Santa Catarina Island. The results showed that these data allow estimating these surface heights and bathymetry for the particular days where the satellite had its orbit over the study region. In particular, it allowed the evaluation of regions having deeper and lower levels of the lagoon. The results show that this tool can be an important option for monitoring the lagoon and its possible changes due to extreme meteorological events and trends.

KEYWORDS: ICESAT-2; Bathymetry; Lagoa da Conceição.

INTRODUÇÃO

A Lagoa da Conceição é uma lagoa tropical que está localizada na Ilha de Santa Catarina a leste do continente sul americano. A lagoa possui uma área aproximada de 24 km² e um volume estimado de 66,6 x 10⁶ m³ (AEROCONSULT, 2000). A lagoa possui um canal de ligação com o Oceano Atlântico que permite trocas de águas entre os dois sistemas.

Medidas de batimetria da Lagoa da Conceição têm sido feitas no passado (Rudorff et al., 2005) e sua profundidade média estimada é de aproximadamente 1,7m a 8,9m (Godoy & Franco, 2007). No entanto, devido ao aporte constante de sedimentos, sua profundidade pode ser alterada periodicamente (Barbosa & José, 1998).

A região costeira do sul do Brasil é constantemente afetada por marés de tempestade e marés meteorológicas (Melo Filho, 2017). A maré de tempestade pode ser definida como a provocada por ventos perpendiculares à costa que empilham as águas na interface com o continente (*storm surges*). Por outro lado, marés meteorológicas são variações do nível da água do oceano sobre a plataforma continental causadas por fenômenos meteorológicos. Estes fenômenos podem induzir tensões na superfície associadas à pressão atmosférica e ventos ao nível do mar que provocam variações no nível da água oceânica.

Estudos recentes mostram que a interação do nível da água da lagoa com a do Oceano Atlântico funciona como um filtro de alta frequência, onde a maré astronômica

é filtrada pelo canal de ligação (Godoy et al., 2008; Bier, 2018). Portanto, estes estudos mostram que a maré meteorológica tem importante impacto na variabilidade da superfície da lagoa. Como as projeções climáticas apontam para uma maior frequência e intensidade dos fenômenos meteorológicos extremos (IPCC, 2021), torna-se de grande importância entender os mecanismos de interação e impacto dos fenômenos atmosféricos.

O novo satélite Ice, Cloud and land Elevation Satellite-2 (ICESAT-2) colocado em órbita no final do ano de 2018, tem sido usado em várias análises, inclusive de altura de superfície e batimetria de lagos (Jasinski et al., 2024; Parrish et al., 2019; Markus et al., 2017). Este satélite possui um laser a bordo que permite avaliar a altura de superfícies, como relevo, prédios, vegetação, e superfícies aquáticas. O satélite estima estas alturas a partir do tempo de ida e retorno dos fótons emitidos por seu laser. Além de superfície de águas continentais como lagos e rios, os dados do sensor permitem também estimativas de nível da água e da batimetria de águas oceânicas costeiras (Xu et al., 2022). Portanto, este sensor pode ser usado como uma importante ferramenta para monitoramento de níveis de superfícies aquáticas, como é o caso da Lagoa da Conceição.

Este estudo teve como objetivo aplicar estas novas técnicas de análise por sensoriamento remoto para estimar a profundidade da superfície da água e da batimetria da Lagoa da Conceição por uso de dados do satélite ICESAT-2.

METODOLOGIA

Área de estudo

A área geográfica abrangida por esse estudo consiste na região sobre a Lagoa da Conceição, localizada na região leste da Ilha de Santa Catarina do município de Florianópolis (Figura 01).

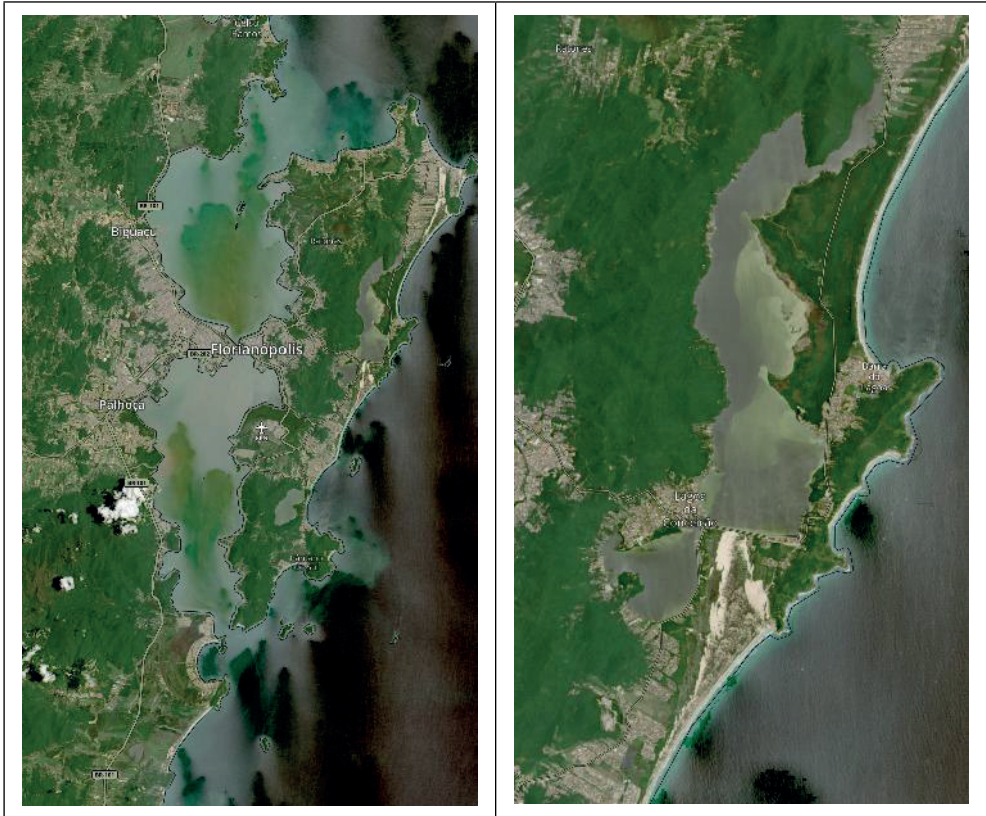


Figura 01 - Região de estudo, Ilha de Santa Catarina, Florianópolis e Lagoa da Conceição. Fonte: NASA, worldview, satélite sentinel-2.

Satélite IceSat-2

O satélite ICESat-2 possui um lidar a bordo que envia fótons para a superfície da Terra e assim estima as alturas da superfície a partir do tempo de viagem desses fótons de volta ao seu receptor (Newmann et al., 2019). Em suas aplicações, o satélite estima altura de superfícies como de relevo, vegetação florestal, gelo, ondas oceânicas, nuvens, camadas de aerossóis e superfícies aquáticas (Neuenschwander et al., 2020; Ramos-da-Silva et al., 2017). Além de superfície de águas continentais como lagos e rios, os dados do sensor permitem também estimativas de nível da água e da batimetria de águas oceânicas costeiras (Xu et al., 2022).

O satélite ICESAT-2 possui uma órbita polar a 500 km de altura. Os dados de altura da superfície e batimetria são obtidos através do sensor ATLAS (*Advanced Topographic Laser Altimeter System*) a bordo do satélite. Este sistema de altímetro a laser usa um lidar na banda de 532 nm para medir o tempo de voo dos fótons e, portanto, a altura da superfície amostrada por seus seis feixes de laser (Neumann et al., 2019). Seus feixes de

fótons emitidos estão distantes 30 m dos três pares, que por sua vez estão espaçados de 3 km (Fig. 2). O laser envia cerca de 20 trilhões de fótons por pulso e apenas cerca de uma dúzia retorna ao seu telescópio. Estimativas da altura podem ser obtidas comparando o dado com o elipsóide WGS84 (Neuenschwander et al., 2020).

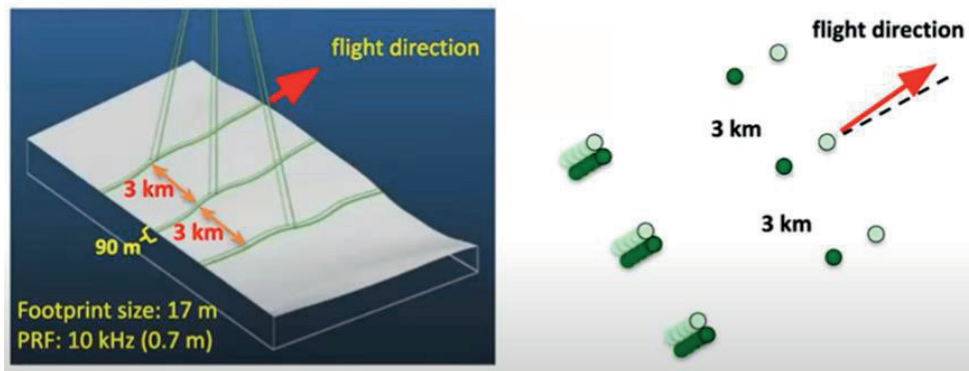


Figura 02 - Características dos feixes de fótons do satélite IceSat-2. Três pares de feixes são emitidos que possuem distância aproximada de 3 km. Fonte: NASA.

Dados ICESAT-2

Dados do satélite ICESAT-2 foram usados para estimar a profundidade do nível da água e da batimetria da Lagoa da Conceição. As passagens deste satélite de órbita polar pela região da lagoa ocorrem aproximadamente a cada 16 dias permitindo assim estimativas periódicas das alturas de superfície e batimetria. Os dados disponíveis foram usados para avaliar a variabilidade destas alturas. Estes dados de satélite são de livre acesso e podem ser obtidos do portal da NASA ou em <https://nsidc.org/data/>.

O portal da NASA <https://openaltimetry.earthdatacloud.nasa.gov/data/icesat2/> foi usado para acessar os dados e verificar a possível passagem sobre a região da Lagoa da Conceição. A Figura 03 apresenta um exemplo de estimativa da passagem do satélite com uso deste portal.

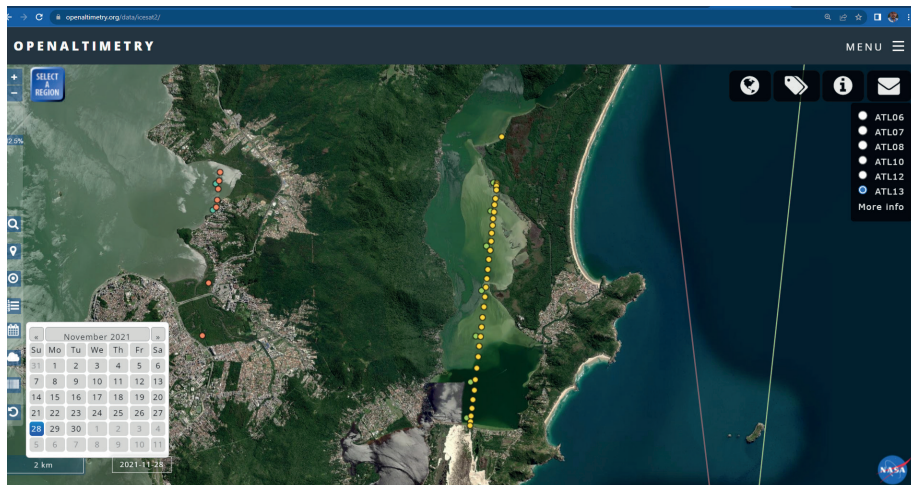


Figura 03 - Exemplo de análise do portal *openaltimetry* para download dos dados de altura da superfície com foco na Lagoa da Conceição. Fonte: NASA.

A Tabela 01 apresenta as datas em que o satélite sobrevoou a região da superfície da Lagoa da Conceição. Estas datas correspondem apenas aos dias em que foi possível estimativas pelo satélite, pois em caso de cobertura de nuvens fica impossível aos fótons chegarem até a superfície.

Data - passagem ICESAT-2			
17/01/2019	15/04/2020	13/07/2021	11/01/2022
18/04/2019	14/10/2020	28/11/2021	

Tabela 01 - Datas de passagem do satélite ICESAT-2 sobre a região da Lagoa da Conceição.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados resultados de estimativas de altimetria da superfície da Lagoa da Conceição para vários casos em que houve a passagem do satélite.

Altura de superfície e batimetria

Inicialmente, após a pré-seleção dos casos através do portal *openaltimetry* foram feitas análises de algumas regiões sobre a Lagoa da Conceição. São apresentados vários casos baseados na Tabela 01. As figuras 4 a 11 apresentam os locais de passagem do satélite e estimativas amostradas nas regiões destacadas. Os resultados mostram que o satélite permite estimar as alturas superficiais da lagoa quando comparados com o elipsóide de referência. As várias regiões amostradas apresentam grande diversidade de alturas. Em várias ocasiões é possível também verificar a profundidade da batimetria da região.

Na passagem do dia 17/01/2019, que ocorreu mais próximo da interface a leste da lagoa, é possível notar alturas de profundidade da ordem de 1 metro (Fig. 4). Esta profundidade é mais rasa nestes locais. No entanto, nas passagens que ocorreram mais no centro da lagoa (e.g. dias 18/04/2019, 15/04/2020, 13/07/2021), as profundidades são da ordem de 2 metros (Figs. 5, 6, 8). Na passagem do dia 28/11/2021 é possível notar a transição das regiões de águas mais profundas para as mais rasas (Fig. 9).

Na passagem do dia 11/01/2022 não foi possível avaliar a batimetria (Fig. 10). No entanto, uma amostragem para a região oceânica próxima mostra importantes aspectos da natureza ondulatória da superfície (Fig. 11). Este tipo de avaliação marítima pode ser importante, pois variações do nível oceânico próximo, pode afetar os fluxos de água entre a lagoa e o oceano.

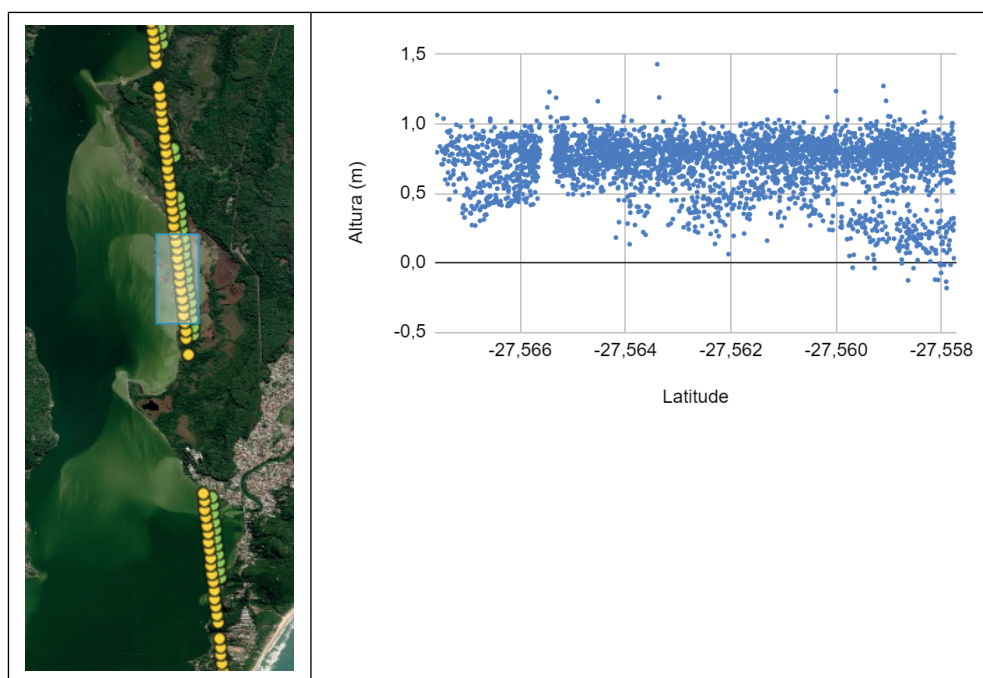


Figura 4 - Local de passagem do satélite ICESAT-2 e profundidades estimadas para o dia 17/01/2019.

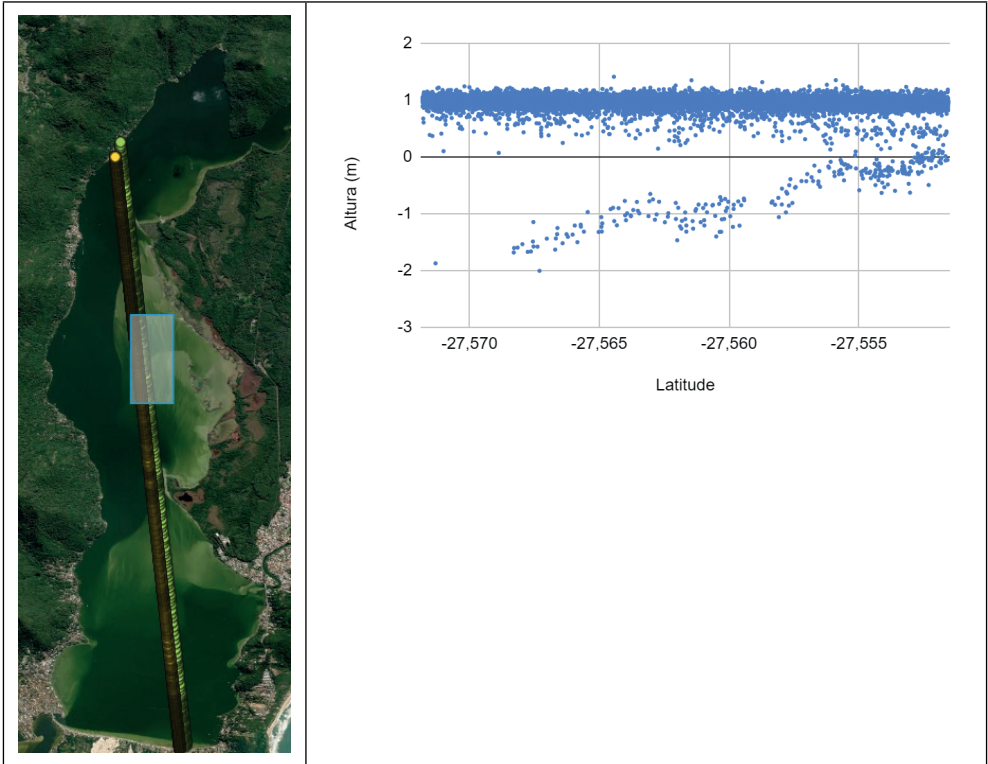


Figura 5 - Local de passagem do satélite ICESAT-2 e profundidades estimadas para o dia 18/04/2019.

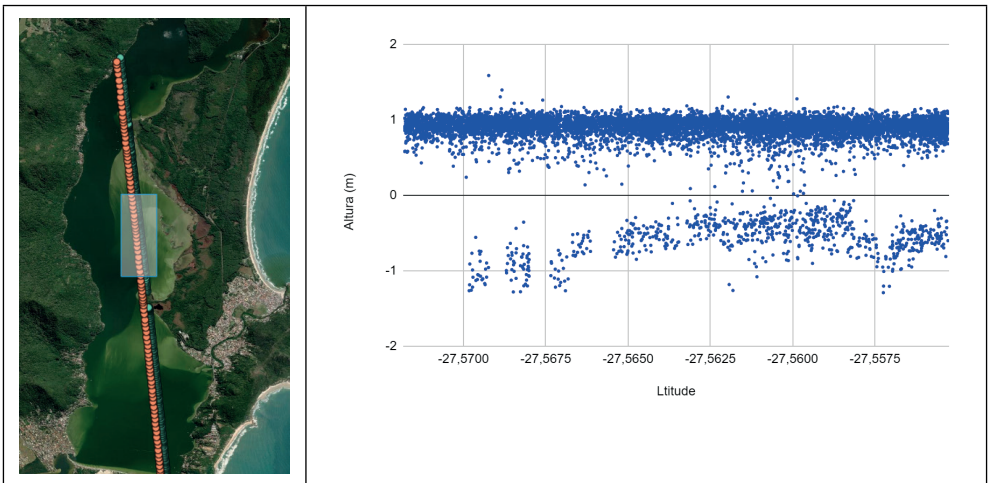


Figura 6 - Local de passagem do satélite ICESAT-2 e profundidades estimadas para o dia 15/04/2020.

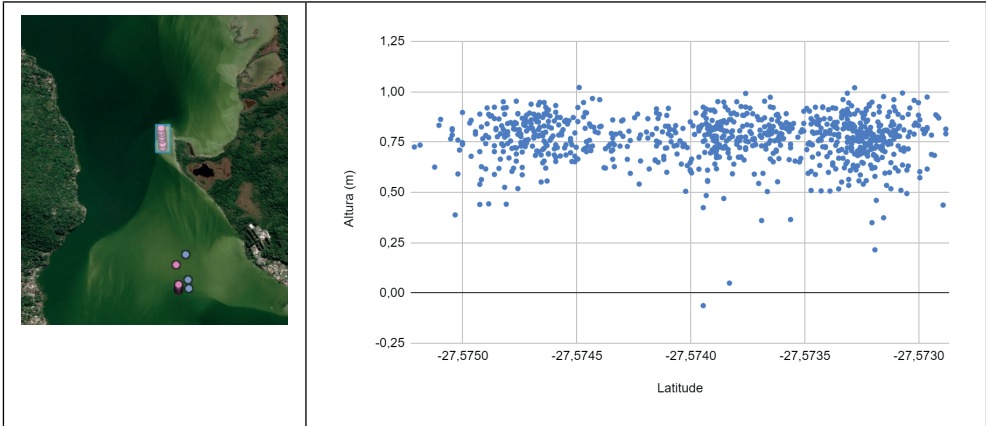


Figura 7 - Local de passagem do satélite ICESAT-2 e profundidades estimadas para o dia 14/10/2020.

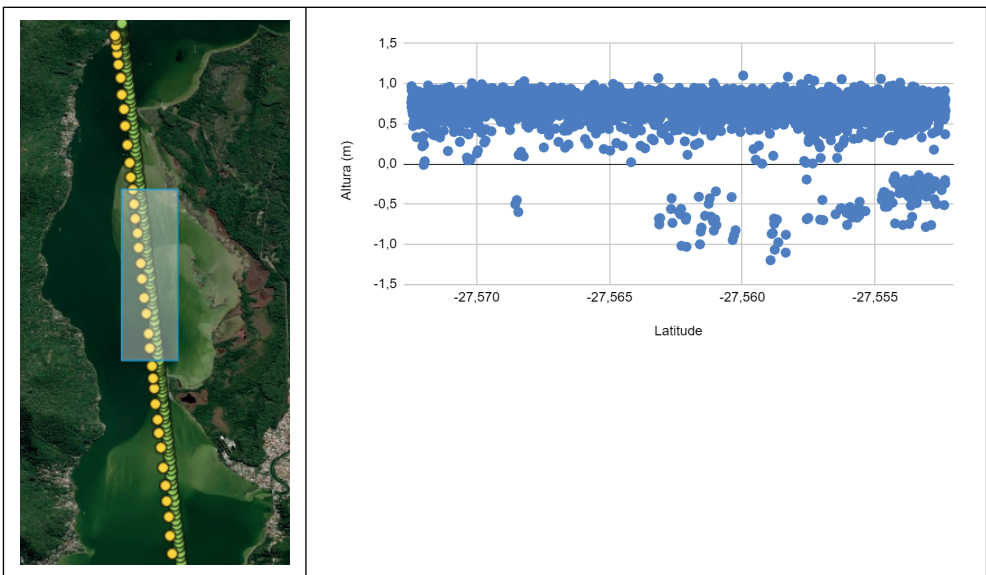


Figura 8 - Local de passagem do satélite ICESAT-2 e profundidades estimadas para o dia 13/07/2021.

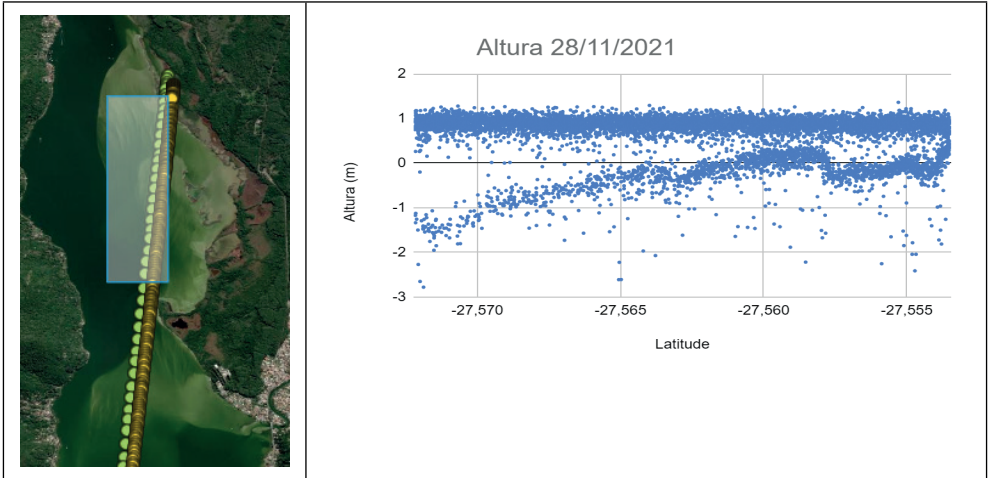


Figura 9 - Local de passagem do satélite ICESAT-2 e profundidades estimadas para o dia 28/11/2021.

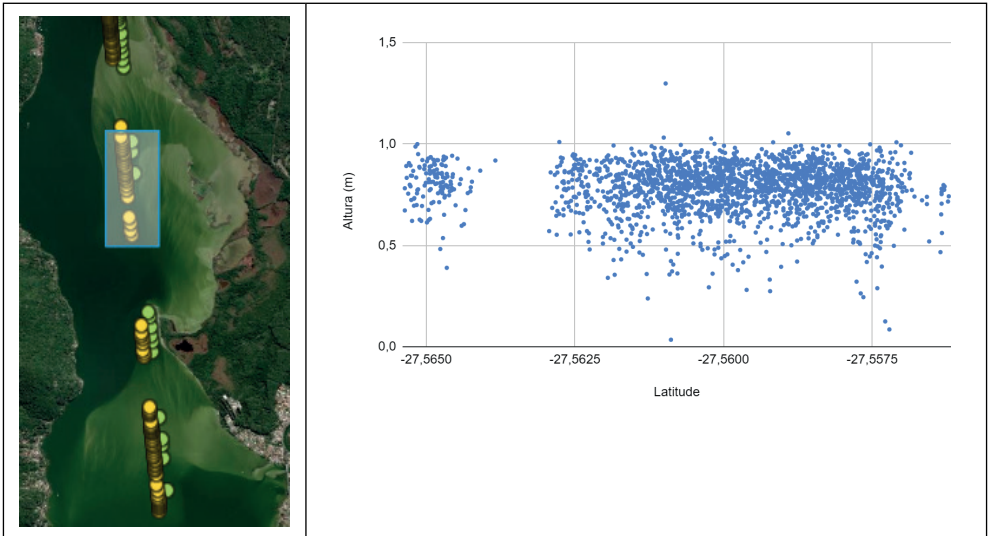


Figura 10 - Local de passagem do satélite ICESAT-2 e profundidades estimadas para o dia 11/01/2022.

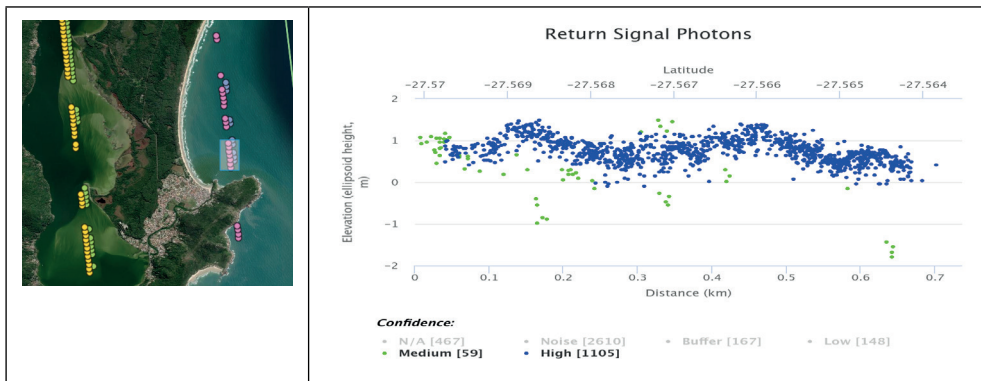


Figura 11 - Local de passagem do satélite ICESAT-2 e profundidades estimadas para o dia 11/01/2022, sobre o oceano próximo.

CONCLUSÕES E DISCUSSÃO

Estimativas da profundidade da superfície e batimetria da região da Lagoa da Conceição foram estimadas com dados do altímetro do satélite ICESAT-2. Os resultados mostraram que estes dados permitem estimativas da altura da superfície da lagoa nos momentos da passagem do satélite. Regionalmente, os dados permitem avaliar a profundidade da superfície aquática e assim monitorar suas possíveis mudanças. No futuro, sugere-se que sejam feitas medidas in situ para assim ter uma melhor comparação com estes dados. Esta nova ferramenta pode tornar-se um importante instrumento de monitoramento desta lagoa, pois é de grande interesse da sociedade.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC), à Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN) e à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) pelo suporte ao projeto.

REFERÊNCIAS

- AEROCONSULT. Relatório final da batimetria do distrito administrativo da Lagoa da Conceição e Barra da Lagoa. Florianópolis, 2001.
- BARBOSA, T. C. & JOSÉ A. C. Lagoa da Conceição: um ecossistema lagunar. Usos e legislação ambiental. Revista de Ciências Humanas, v. 16, 23, 145-156, 1998. <https://periodicos.ufsc.br/index.php/revistacfh/article/view/23580>.
- BIER, F. B. Aspectos hidrodinâmicos e sedimentológicos em um canal de maré: estudo de caso do Canal da Barra da Lagoa, Florianópolis-SC, Dissertação de mestrado, 2018. <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/198623>

GODOY, F. B.; FRANCO, D. Análise Batimétrica por Imagens Landsat-5 na Lagoa da Conceição Florianópolis - SC. In: VII OMARSAT, 2007, Arraial do Cabo-RJ, 2007.

GODOY, F. B.; FRANCO, D.; MARIO, H. F. S. . O Canal da Barra da Lagoa Florianópolis, SC. In: III SEMENGO, Seminário de Engenharia Oceânica, 2008, Rio Grande, RS. ANAIS III SEMENGO, 2008.

IPCC, 2021: Summary for Policymakers. Climate Chang. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, L. Masson-Delmotte, e co-autores, Eds., Cambridge University Press, 2021.

JASINSKI, S., & co-autores. ICESat-2 Inland Water ATBD, https://icesat-2.gsfc.nasa.gov/sites/default/files/page_files/ICESat2ATL13ATBD002mj12202019.pdf , 2024, visitado em 08/Janeiro/2024.

MARKUS, T. et al. The Ice, Cloud, and land Elevation Satellite-2 (ICESat-2): Science requirements, concept, and implementation. *Remote Sensing of Environment*, 190, 260–273, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.12.029>.

MELO FILHO, E. Maré meteorológica na costa brasileira, Tese Professor Titular, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Rio Grande, 328 p, 2017. <http://repositorio.furg.br/handle/1/7212?show=full> ,

NEUMANN, T. A. and co-authors. The Ice, Cloud, and Land Elevation Satellite – 2 mission: A global geolocated photon product derived from the Advanced Topographic Laser Altimeter System. *Remote Sensing of Environment*, v. 233, 111325, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111325>.

PARRISH, C.E. and co-authors. Validation of ICESat-2 ATLAS Bathymetry and Analysis of ATLAS's Bathymetric Mapping Performance. *Remote Sens*, 11, 1634, 2019. <https://doi.org/10.3390/rs11141634>

RAMOS DA SILVA, R., SAKAGAMI, Y., & HAAS, R. ICESAT-2 Lidar retrievals for a smoke and and clouds case estimates for the South America Region. *Holos Environment*, 21(4), 445–456, 2022 . <https://doi.org/10.14295/holos.v21i4.12458>.

RUDORFF, F. M. e co-autores. Sectorization of the Conceição Lagoon's southern sector. *Braz. J. Aquat. Sci. Technol.* 9(2):49-56. ISSN 1808-7035, 2005.

XU e co-autores, Deriving Tidal Flat Topography Using ICESat-2 Laser Altimetry and Sentinel-2 Imagery, *Geophysical Research Letters*, 2022, <https://doi.org/10.1029/2021GL096813> .