



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
COORDENADORIA ESPECIAL DE OCEANOGRAFIA

Pedro Scheibe Wolff

Estudo da evolução da linha de costa da Praia das Rendeiras após o evento de rompimento da lagoa de evapoinfiltração da Lagoa da Conceição

Florianópolis
2023

Pedro Scheibe Wolff

Estudo da evolução da linha de costa da Praia das Rendeiras após o evento de rompimento da lagoa de evapoinfiltração da Lagoa da Conceição

Trabalho de conclusão de curso submetida à Coordenadoria Especial de Oceanografia da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Pedro de Souza Pereira, Dr.

Florianópolis

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Wolff, Pedro Scheibe

Estudo da evolução da linha de costa da Praia das Rendeiras após o evento de rompimento da lagoa de evapoinfiltração da Lagoa da Conceição / Pedro Scheibe Wolff ; orientador, Pedro de Souza Pereira, 2023.

35 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Graduação em Oceanografia, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Oceanografia. 2. Linha de costa. 3. VANT. 4. Depósito sedimentar. I. Pereira, Pedro de Souza . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Oceanografia. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família. À minha mãe, Cristina, e meus avós, Scheibe e Leda, pelo interesse que criei desde pequeno pelas ciências naturais e meio ambiente. Ao meu pai, Ruy, e minha avó Aurea agradeço pelo amor que cultivo pelo mar em todos os momentos da minha vida. À minha irmã Luiza eu agradeço pelo ombro amigo e os momentos de paz que ela me trouxe nas horas mais difíceis. À todos eles também agradeço pelo apoio e amor incondicional durante essa jornada.

Agradeço aos meus colegas da oceanografia, principalmente aos amigos Ronaldo, Letícia, Lucas, Henrique, Renan, Juliana, as Brunas, Lisa, Julia e Mariana, além de muitos outros que estiveram presentes na minha vida durante a graduação e que apesar da distância, são sempre presentes nos meus pensamentos.

Ao meu orientador Pedro agradeço por acreditar em mim até o fim, mesmo que o caminho tenha sido tortuoso. Às professoras Alessandra e Juliana agradeço pelo carinho e pela ajuda em diversos momentos. Também agradeço os professores e professoras Leonardo, Bárbara, Marinez e Paulo pelas aulas e ao Norberto pelos projetos.

RESUMO

No dia 25 de janeiro de 2021, por conta de fortes chuvas e falta de manutenção, ocorreu o rompimento da Lagoa de Evapoinfiltração (LEI) que faz parte da rede de tratamento de efluentes do Município de Florianópolis, SC, e é localizada no campo de dunas da Joaquina. O material que estava presente na LEI transbordou para dentro da laguna costeira chamada de Lagoa da Conceição, carregando também uma grande quantidade de sedimentos que se depositou na Praia das Rendeiras e formou um leque aluvial. Foi realizado o acompanhamento da evolução da linha de costa desta formação sedimentar através de imagens aéreas coletadas por Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), que mostraram um deslocamento do sedimento de oeste para leste, além da formação de barras transversais. Pela adição repentina de sedimento, o leque aluvial apresentou características e comportamento semelhantes a um alargamento de praia.

Palavras-chave: Linha de costa. VANT.

ABSTRACT

On January 25, 2021, due to heavy rains and lack of maintenance, the Evapoinfiltration Lagoon (LEI), which is part of the effluent treatment system of the Municipality of Florianópolis, SC, and is located in the Joaquina dune field, ruptured. The material present in the LEI overflowed into the coastal lagoon known as Lagoa da Conceição, carrying a large amount of sediment that deposited on Rendeiras Beach, forming an alluvial fan. The evolution of the coastline of this sedimentary formation was monitored through aerial images collected by Unmanned Aerial Vehicle (UAV), showing a west-to-east sediment displacement, along with the formation of transverse bars. Due to the sudden addition of sediment, the alluvial fan exhibited characteristics and behavior similar to a beach fill.

Keywords: Coastline. UAV.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Imagem aérea do local no dia 02 de fevereiro, 2021	11
Figura 2 – Batimetria e separação da Lagoa da Conceição.	14
Figura 3 – Área de estudo.	15
Figura 4 – Interpretação da linha de costa.	17
Figura 5 – Transectos desenhados sobre o recorte do mosaico para a área de interesse, do dia 22/06/2021.	18
Figura 6 – Mosaico inteiro e recorte com desenho da linha de corte para a área de interesse	19
Figura 7 – Medição do <i>fetch</i>	20
Figura 8 – Recortes da área de estudo para cada um dos mosaicos	25
Figura 9 – Transectos e intersecção com as linhas de costa.	26
Figura 10 – Rosa dos Ventos para o período entre janeiro e julho de 2021	26
Figura 11 – Rosa dos ventos para as direções que o <i>fetch</i> pode ser calculado. .	27
Figura 12 – Alturas das ondas para cada direção.	27
Figura 13 – Intensidade do vento (U) e altura de onda (H) ao longo do tempo de coleta de imagens, com marcações nos dias de coleta das imagens.	28
Figura 14 – Hidrodinâmica da Lagoa da Conceição.	29
Figura 15 – Comportamento da linha de costa após engorda de praia em formato retangular	30
Figura 16 – Perfil temporal dos transectos, com ordem crescente de oeste para leste.	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificidades dos mosaicos	21
Tabela 2 – Cálculo dos erros da mosaicagem	22
Tabela 3 – Ganho ou perda de espaço terrestre entre cada coleta de imagens, em cada transecto transecto (em metros)	23

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	OBJETIVOS	11
1.1.1	Objetivo Geral	11
1.1.2	Objetivos Específicos	11
2	METODOLOGIA	13
2.1	ÁREA DE ESTUDO	13
2.1.1	Lagoa de Evapoinfiltração	13
2.1.2	Evento Meteorológico	14
2.2	COLETA DE DADOS	15
2.2.1	Levantamento de imagens via VANT	15
2.2.2	Dados meteorológicos	16
2.3	MOSAICAGEM	16
2.4	GEORREFERENCIAMENTO	16
2.5	IDENTIFICAÇÃO DA LINHA DE COSTA	17
2.6	ANÁLISE DA LINHA DE COSTA	17
2.7	CÁLCULO DO <i>FETCH</i> E MODELAGEM DE DADOS DE ONDA	18
3	RESULTADOS	21
3.1	MOSAICAGEM E GEORREFERENCIAMENTO	21
3.2	LINHA DE COSTA	22
3.3	VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS E OCEANOGRÁFICAS	23
4	DISCUSSÃO	29
4.1	VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA	29
4.2	BARRAS TRANSVERSAIS	30
5	CONCLUSÃO	32
	REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

Historicamente a zona costeira têm sido um dos grandes focos de ocupação da população humana por conta da grande quantidade de serviços ecossistêmicos relacionados à proximidade ao oceano, como por exemplo a navegação, conforto térmico, recursos alimentares e paisagísticos. No Brasil estima-se que 58% da população habita em uma faixa de 200 quilômetros da costa, onde estão concentradas as maiores metrópoles do país (DISTRIBUIÇÃO... , 2018). Conseqüentemente, a evolução dos setores industriais e da urbanização nesses locais de ocupação tendem a aumentar a taxa de modificações antrópicas do ambiente (POLETTE; ASMUS, 2015).

O estado de Santa Catarina, localizado no sul do Brasil, tem uma linha de costa com aproximadamente 564 km de extensão. Nessa região costeira estão alguns dos maiores centros urbanos do estado, incluindo a região metropolitana da Grande Florianópolis que tem mais de um milhão de habitantes (ANDRÉS; BARRAGÁN; SCHERER, 2018).

O município de Florianópolis - SC é conhecido como um dos grandes destinos turísticos do sul do Brasil por conta de suas belezas naturais, qualidade de vida e segurança, além de possuir um dos maiores Índices de Desenvolvimento Humano (IDH) do Brasil (IBGE... , 2010). No entanto, a cidade vem sofrendo uma ocupação acelerada e sem planejamento que pouco se importa com a capacidade dos sistemas de locomoção, abastecimento e, sobretudo, de saneamento básico. O bairro da Lagoa da Conceição, que rodeia as margens de uma laguna costeira de mesmo nome, é contemplado por um Sistema de Esgotamento Sanitário (SES) integrado a uma Lagoa de Evapoinfiltração (LEI). Esta tem como objetivo evaporar e infiltrar os resíduos após as últimas etapas do tratamento de esgoto. De acordo com o Plano de Emergência e Contingência das Estações Elevatórias de Esgoto (CASAN-SC, 2017) desde 2013 já se sabia do risco de extravasamento da LEI, com uma probabilidade de ocorrência de 90% e com índice de impacto 0,8 (máximo 1,0). A LEI é adjacente ao Parque Municipal das Dunas da Lagoa da Conceição, uma unidade de conservação cuja competência cabe à Fundação Municipal do Meio Ambiente (FLORAM). A lagoa artificial fica a aproximadamente quatrocentos metros de distância da Lagoa da Conceição e são separadas por uma avenida e algumas residências.

No dia 25 de janeiro de 2021 as fortes chuvas que ocorreram em Florianópolis causaram o rompimento da LEI, que derramou uma grande quantidade de água, resíduos e sedimento dentro da Lagoa da Conceição. A enxurrada passou por várias das casas da Servidão Manoel Luiz Duarte e Avenida das Rendeiras e provocou a perda de bens materiais e deixou feridos (artigo jornalístico do G1). Após a enxurrada foi possível observar uma deposição de sedimentos na beira da Lagoa da Conceição, na Praia das Rendeiras, formando um leque aluvial que será estudado neste trabalho.

Figura 1 – Imagem aérea do local no dia 02 de fevereiro, 2021



Fonte: (2021).

O objetivo deste trabalho é estudar a evolução da linha de costa do depósito sedimentar através das imagens aéreas obtidas por Veículos Aéreos Não-Tripulados (VANTs), relacionando as mudanças às variáveis hidrodinâmicas da Lagoa da Conceição. Também se busca discutir as causas desse incidente, assim como o impacto que o depósito de sedimentos causou na área de estudo.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Estudar a evolução da linha de costa da Praia das Rendeiras após o incidente de rompimento da lagoa de evapoinfiltração (LEI) das dunas da Joaquina.

1.1.2 Objetivos Específicos

1. Caracterizar a evolução da linha de costa após o incidente.
2. Relacionar a evolução da linha de costa com a hidrodinâmica do local.

3. Avaliar o impacto do rompimento da lagoa de infiltração sobre a linha de costa local.

2 METODOLOGIA

2.1 ÁREA DE ESTUDO

A Lagoa da Conceição é uma laguna costeira localizada na porção leste da Ilha de Santa Catarina (27,5°S e 48,5°W), no município de Florianópolis – SC, litoral sul do Brasil, como mostra a Figura 3. A laguna é dividida em três grandes áreas por Odreski *et al.* (2012), Lagoa de Cima, Lagoa do Meio e Lagoa de Baixo, como mostra a Figura 2.

O Rio João Gualberto deságua no extremo norte da Lagoa de Cima e é a principal fonte de água doce do sistema e é onde ocorre o maior fluxo dentro da laguna. Também é responsável por uma carga grande de nutrientes, pois passa em áreas de urbanização irregular e sem sistema de esgotamento sanitário. A Lagoa de Baixo é a menor das seções e é a que tem a menor circulação, por isso lá ocorrem eventos de eutrofização e hipoxia (SILVA *et al.*, 2017) evidenciados pelo mau odor em diversas ocasiões.

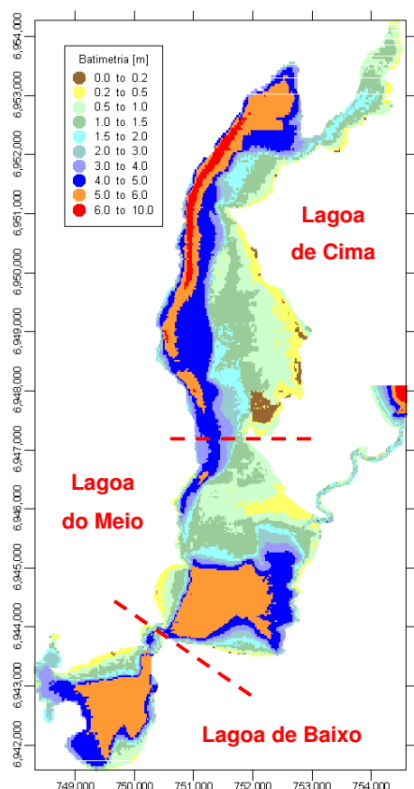
Na Lagoa do Meio é onde está localizado o Canal da Barra, que é a única ligação da Lagoa ao oceano, portanto é onde a salinidade e a circulação são maiores. O tempo de residência da água na região central é menor de toda a Lagoa, mesmo com o canal servindo de filtro para a onda de maré, a reduzindo em aproximadamente 99% (GODOY, 2009). O limite sul dessa parte da Lagoa é conhecida como Praia das Rendeiras, que apresenta regiões emersas cobertas por gramíneas na maior parte de sua extensão e algumas regiões com sedimento arenoso. Também estão presentes barreiras sólidas, na forma de muros e calçadas, construídas para proteger a avenida que passa logo acima da praia (LÉLIS, 2006). A orla da Avenida das Rendeiras passou por um processo de revitalização finalizado em 2023. A praia apresenta sedimento arenoso fino a médio que tem origem nas dunas da Joaquina ao sul (HORN FILHO, 2006), que atualmente encontra-se imerso na maior parte do tempo.

Logo ao sul da Lagoa do Meio existe um campo de dunas eólicas que se estendem até a Praia da Joaquina, estas que fazem parte de uma unidade de conservação (UC) chamada Parque Municipal das Dunas da Lagoa da Conceição, delimitada em roxo na Figura 3. Dentro do parque é possível observar em rosa a Lagoa de Evapoinfiltração (LEI).

2.1.1 Lagoa de Evapoinfiltração

A LEI (3), localizada dentro do Parque Municipal das Dunas da Lagoa da Conceição, é um corpo de água que faz parte da última etapa do sistema de esgotamento sanitário do bairro. Após passar por todo o tratamento químico e físico necessário, a CASAN-SC utiliza a LEI para depositar o resíduo líquido para que este retorne ao am-

Figura 2 – Batimetria e separação da Lagoa da Conceição.



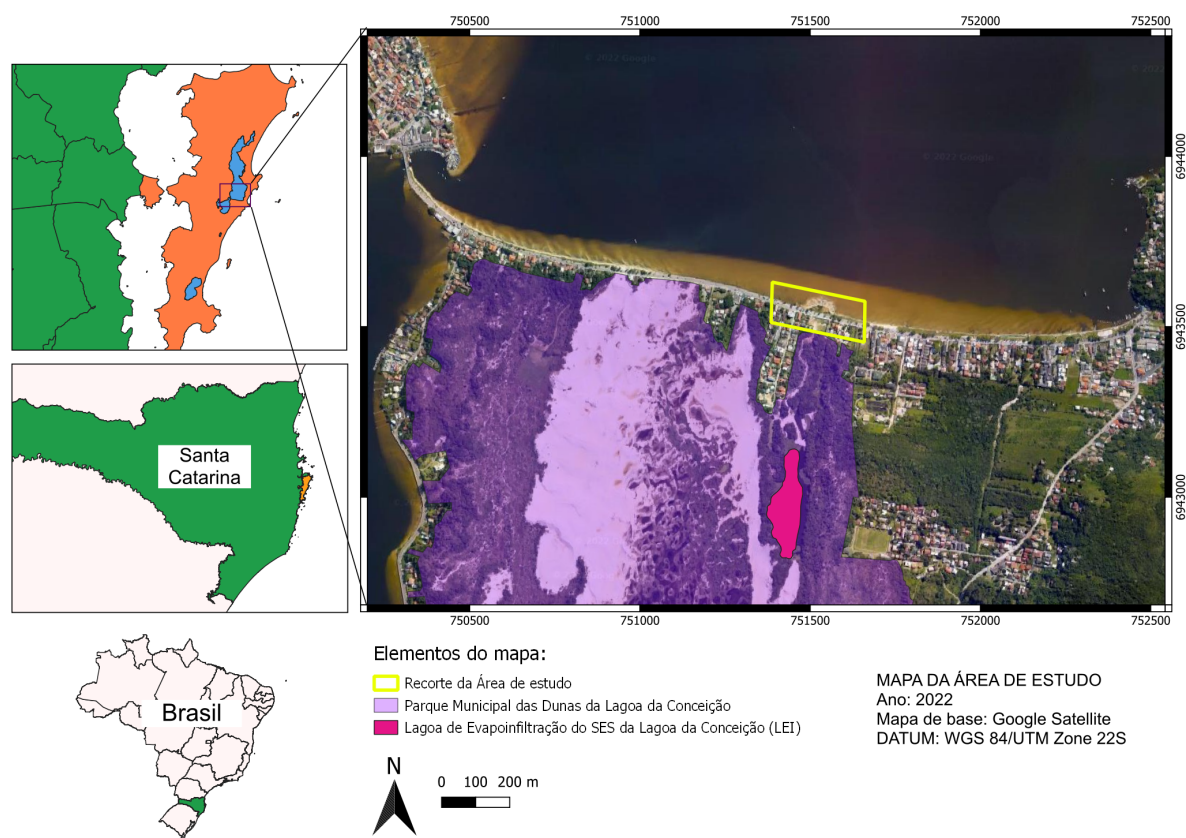
Fonte: Retirado de Odreski *et al.* (2012).

biente por meio da infiltração ao lençol freático e pela evaporação. Apesar de ser um resíduo tratado, a lagoa ainda contém uma grande quantidade de matéria orgânica residual do processo. A CASAN-SC elabora periodicamente um Plano de Emergência e Contingência das Estações Elevatórias de Esgoto, onde os técnicos avaliam possíveis riscos que podem ser causados à e pelas suas instalações. No documento de 2017 (CASAN-SC, 2017) consta que desde 2013 já se sabia do risco de extravasamento da LEI em condições de fortes chuvas, com uma probabilidade de ocorrência de 90% e com índice de impacto de 0,8 (máximo 1,0).

2.1.2 Evento Meteorológico

O estado de Santa Catarina está localizado em uma região de clima subtropical, em uma região onde ocorrem encontros de massas de ar quentes, vindas do norte, e frias, vindas do sul. Este encontro junto com a alta taxa de evaporação que ocorrer no verão pode causar grandes tempestades, com ventos fortes, trovoadas e grande acumulação pluviométrica. Foi o que ocorreu na semana do dia 25 de janeiro de 2021, quando houve um acúmulo de mais de 250 milímetros de chuva. Durante a semana houveram diversos avisos da Defesa Civil do estado alertando sobre a possibilidade

Figura 3 – Área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

de desabamentos e enxurradas (ESTADO DE SANTA CATARINA, 2021).

Florianópolis é uma cidade onde o interesse turístico principal são as praias e aumenta sua população durante o verão, sobrecarregando o sistema de esgotamento sanitário. Combinado as fortes chuvas com a falta de manutenção e a sobrecarga do sistema de esgoto, a capacidade da LEI extravasou e a barreira de contenção foi rompida. O desastre afetou diretamente 105 pessoas, com prejuízos financeiros, perdas materiais e risco a saúde pública.

2.2 COLETA DE DADOS

2.2.1 Levantamento de imagens via VANT

Foram realizadas um total de oito tomadas de imagens com apoio de um VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) em um período de 5 meses, nas seguintes datas: 05/02, 19/02, 05/03, 19/03, 09/04, 23/04, 28/05 e 22/06. Para tal, utilizou um VANT modelo DJI Mavic Pro, equipado com sensor óptico CMOS (6.17 mm × 3.47 mm) com resolução de 12 megapixels e sistema de navegação GPS/GLONASS. O mapeamento e

planejamento dos voos foi realizado através do aplicativo DroneDeploy, e o controle pelo DJI GO 4. A captura das imagens foi efetuada a uma velocidade média de 10 m/s, com sobreposição de imagens frontal de 80% e lateral de 70%, conforme Araújo *et al.* (2021).

2.2.2 Dados meteorológicos

A partir da plataforma online do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET... , 2022) foram obtidos 5 meses de dados de intensidade e direção do vento medidos na estação A806, localizada na porção continental do Município de Florianópolis, a aproximadamente 10 quilômetros da área de estudo.

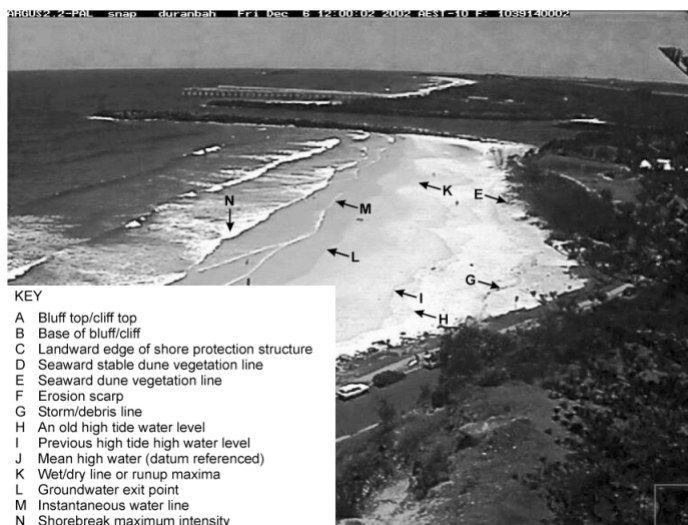
2.3 MOSAICAGEM

Mosaicagem é o nome do processo de sobreposição de todas as imagens obtidas durante um vôo de VANT para formar uma única imagem ampla com alta resolução (ARRUDA JÚNIOR, 2002). Esta permite uma análise mais detalhada das imagens, com pixels de tamanhos reduzidos se comparados a imagens de satélite. Nas imagens deste trabalho cada pixel representa um tamanho de em média 4 centímetros. As desvantagens do processo de mosaicagem é que as sobreposições de imagens necessitam ter dados de localização por GPS e algum aplicativo que faça as junções e correções do posicionamento das imagens, que podem ficar distorcidas em locais com elevações diferentes ou menor cobertura. Para realizar a mosaicagem foi utilizada a plataforma digital DroneDeploy, que realiza o processo de sobreposição através de uma inteligência artificial que detecta as semelhanças entre as imagens geradas pelo VANT e conecta elas de acordo com o seu posicionamento em relação aos dados de GPS (DRONEDEPLOY... , 2022).

2.4 GEORREFERENCIAMENTO

Devido à distorção das imagens de alguns dos mosaicos e a falta da coleta de pontos de checagem em campo foi necessária uma padronização dos pontos de referência. Isto foi realizado através do uso de ferramentas de georreferenciamento em um ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), especificamente no Quantum GIS (QGIS). Foram definidos 8 pontos de checagem ao longo do mosaico de número 2, com imagens do dia 09/02/2021, que apresentou o menor erro de acordo com o aplicativo de mosaicagem. Cada ponto escolhido era uma parte facilmente reconhecível e presente em todas as imagens, como por exemplo quinas de muros ou bueiros da rua. A distância dos pontos de checagem em relação ao ponto original (da imagem nº2) foi utilizada para calcular um erro médio da precisão das imagens.

Figura 4 – Interpretação da linha de costa.



Fonte: Modificado de Boak e Turner (2005)

2.5 IDENTIFICAÇÃO DA LINHA DE COSTA

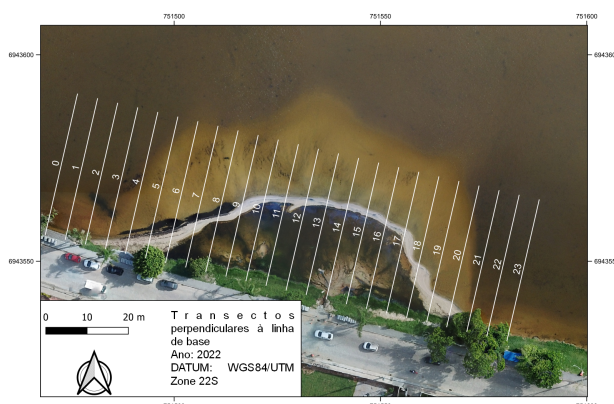
A identificação da linha de costa foi realizada visualmente pelo autor, utilizando como base a linha de interface entre a areia seca e molhada (*wet/dry line*) definida por (BOAK; TURNER, 2005), como indica o item **K** da **Figura 4**. À partir deste indicativo foram traçadas as linhas de costa para cada uma das imagens com a ferramenta de criação de polígonos do ambiente QGIS. Também foi traçada uma linha de base que indica a linha de costa antes do evento, esta que segue o contorno da área de gramado.

2.6 ANÁLISE DA LINHA DE COSTA

Como mostra a **Figura 5** foram desenhados transectos perpendiculares a linha de base com espaçamento regular de 5 metros ao longo de todo o depósito de sedimentos. Estes transectos são um *shapefile*, um arquivo de imagem com posição geográfica fixa no ambiente de SIG. A intersecção destes transectos com os polígonos das linhas de costa traçadas para cada mosaico gerou uma série de pontos. Então foram calculadas as distâncias entre os pontos de cada transecto para estimar a evolução da linha de costa.

A **Figura 6** mostra o resultado final das últimas etapas citadas anteriormente. Abaixo está o mosaico inteiro de toda a extensão da Praia das Rendeiras. A seta então indica uma aproximação para o recorte da área estudada, que está georreferenciada para coincidir com os outros recortes. Por fim, a imagem mostra em azul o desenho da linha de costa.

Figura 5 – Transectos desenhados sobre o recorte do mosaico para a área de interesse, do dia 22/06/2021.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

2.7 CÁLCULO DO *FETCH* E MODELAGEM DE DADOS DE ONDA

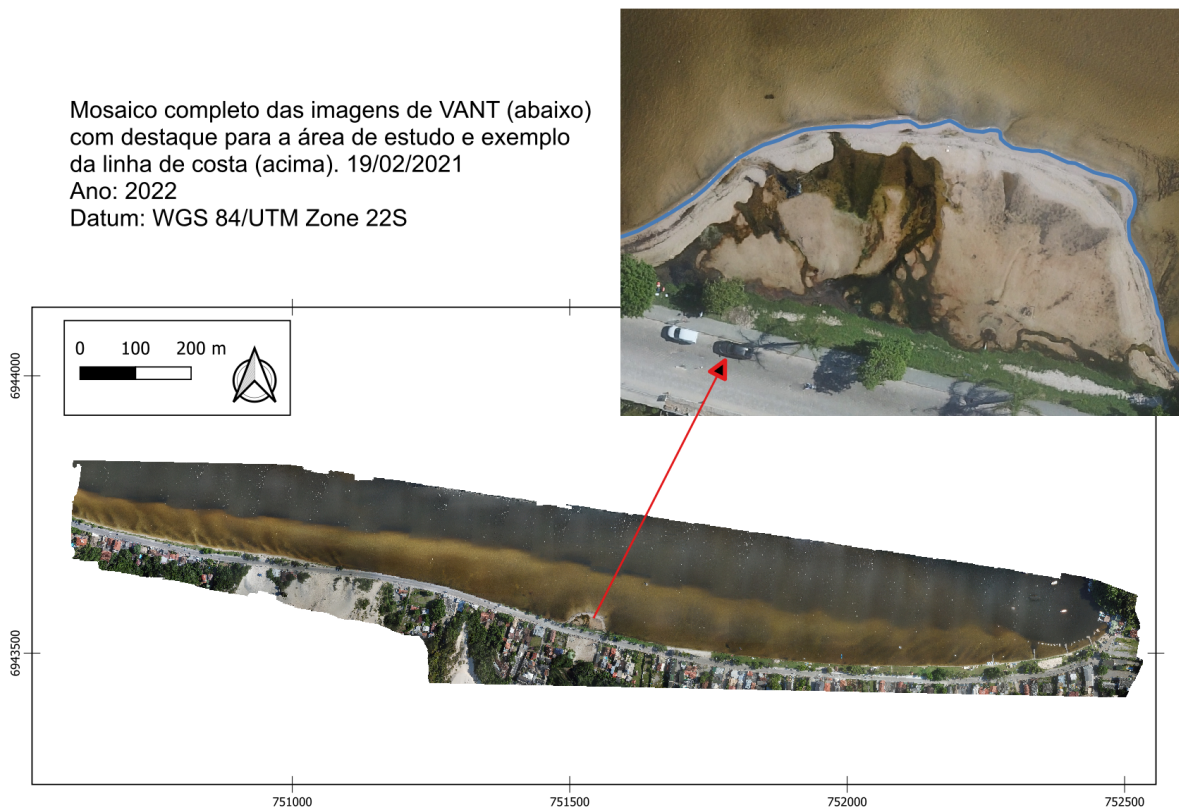
O *fetch* representa o comprimento da pista de vento que sopra por cima de um corpo d'água e serve como um dos principais fatores considerados para os cálculos de formação de ondas de gravidade. Foi definido um ponto logo a frente da área de estudo e medida a distância dele até a borda da Lagoa da Conceição a cada 15 graus, conforme mostra a **Figura 7**. O vento é a principal forçante para a formação de ondas em sistemas fechados e áreas abrigadas, que não sofrem interferência de ondas oceânicas. Então sabendo a intensidade do vento e a distância que ele viaja por cima da água é possível estimar a altura das ondas com a seguinte fórmula. Smith (1991) usou algumas diferentes fórmulas para estimar a altura de ondas em sistemas aquáticos fechados como grandes lagos, incluindo esta que utiliza somente parâmetros conhecidos dentro do presente estudo:

$$H = 0,0016 * g^{-0,5} * X^{0,5} U$$

Onde H é altura de onda significativa em metros, g é a gravidade, X é o comprimento da pista de vento em metros (também conhecido como *fetch*) e U é a intensidade do vento em metros por segundo. Como os dados de vento foram retirados de uma estação meteorológica que fica a alguns quilômetros de distância da Lagoa, o modelo não descreve com precisão, mas serve como uma referência.

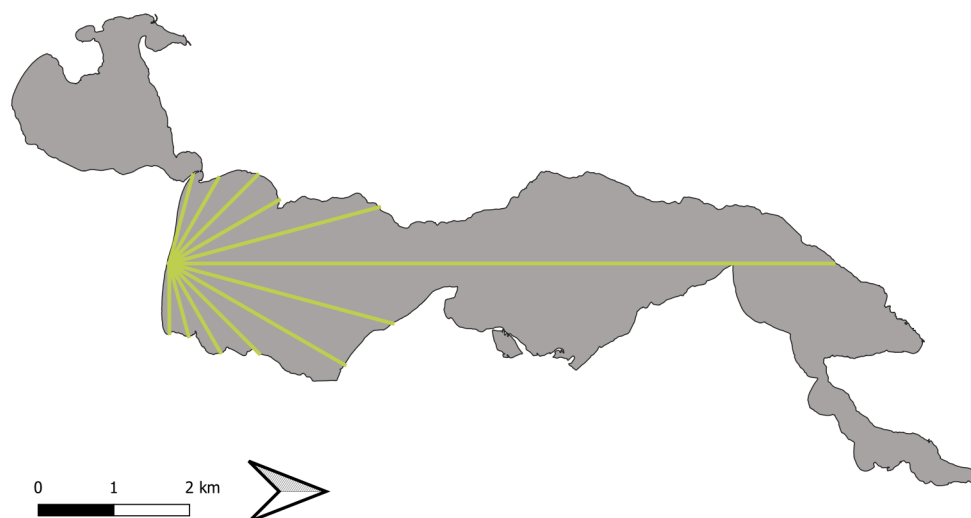
Os dados foram trabalhados no ambiente de programação *Python* chamado *Jupyter Notebook*, utilizando as bibliotecas de matemática, representação gráfica e análise de dados *matplotlib*, *pandas*, *geopandas*, *WindRose* e *numpy*.

Figura 6 – Mosaico inteiro e recorte com desenho da linha de corte para a área de interesse



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 7 – Medição do *fetch*



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

3 RESULTADOS

A partir da observação das imagens e do contexto de formação do depósito sedimentar pode-se caracterizar a feição estudada como semelhante a um **leque aluvial**, caracterizado por Mather (2007) como “[...]corpo com formato de leque dominado por sedimento grosseiro transportado de bacias elevadas. Eles necessitam da proximidade de uma área-fonte elevada e uma área de acumulação de sedimento, onde o leque irá se desenvolver.”(traduzido pelo autor). Neste caso o leque foi formado por um único evento de grande fluxo, que transportou o sedimento por um canal meandrante (observado na **Figura 2**) até encontrar a área de depósito da Lagoa da Conceição. Sabe-se também que o sedimento que teve como fonte o Campo de Dunas da Joaquina é arenoso (médio a fino) e bem selecionado (PEIXOTO, 2010). Houve uma carga de matéria orgânica que estava em processo de decantação na LEI que extravasou e também se depositou no leque aluvial. Este pode ser observado nas imagens, mas não foram realizados estudos de granulometria e composição do sedimento neste trabalho.

3.1 MOSAICAGEM E GEORREFERENCIAMENTO

A partir das imagens obtidas em campo foram gerados um total de oito mosaicos, cujas especificidades são mostradas na **Tabela 1**. Nota-se a resolução das imagens, que resultou em um pixel de aproximadamente 4 centímetros. O Erro Quadrático Médio (EQM) entre a posição das imagens após o processo e mosaicagem e a posição dada pelo *GPS* foi menor no mosaico do dia 19/02/2021, por isso este foi utilizado como base para o georreferenciamento. A **Tabela 2** mostra o erro calculado para cada um dos pontos de checagem. Somando erros da posição da imagem no mosaico em relação ao *GPS* e os do georreferenciamento pode-se concluir que as imagens deste trabalho descrevem a realidade com um erro médio de 0,68 metros.

Tabela 1 – Especificidades dos mosaicos

Campo	Data	Resolução do mosaico (cm/pixel)	EQM mosaico – GPS (m)	Area de cobertura (m ²)
1	05/02/21	3,9	1	1093147,62
2	19/02/21	3,9	0,6	804455,69
3	05/03/21	3,9	0,7	1148373,46
4	19/03/21	3,9	0,9	973691,96
5	09/04/21	4,1	1,1	895549,54
6	23/04/21	3,8	1,1	894324,89
7	28/05/21	4	1,8	891288,82
8	22/06/21	3,9	1,7	83320,09

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Tabela 2 – Cálculo dos erros da mosaicagem

Campo	Erro P1 (m)	Erro P2 (m)	Erro P3 (m)	Erro médio (m)	Erro Georef + Erro mosaico - GPS (m)
1	0,04	0,03	0,02	0,03	0,63
2	0	0	0	0	0,60
3	0,05	0,09	0,05	0,07	0,67
4	0,01	0,13	0,08	0,07	0,67
5	0,07	0,06	0,05	0,06	0,66
6	0,04	0,07	0,08	0,06	0,66
7	0,08	0,11	0,20	0,13	0,73
8	0,12	0,15	0,08	0,12	0,72

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

A **Figura 6** mostra o exemplo de um dos mosaicos completos, que reuniram imagens de toda a extensão da Praia e da Avenida das Rendeiras, assim como o recorte da imagem que foca apenas no leque aluvial. A **Figura 8** mostra a sequência de recortes focados na área de estudo, onde já é possível observar a diminuição do depósito sedimentar ao longo do tempo.

3.2 LINHA DE COSTA

Foi testado um método de detecção automática da linha de costa. Este utilizava a diferença da coloração entre a água e a areia, mas por conta da coloração escura da água e da grande quantidade de matéria orgânica depositada na costa não foram obtidos bons resultados. Por conta disso as linhas de costa foram desenhadas manualmente conforme descrito na sessão de Metodologia. A Figura 9 mostra todas as linhas de costa traçadas e as suas intersecções com os transectos de intervalo regular. A linha de base foi desenhada utilizando o limite aproximado das gramíneas que já ocupavam a região antes do depósito de sedimentos.

A Tabela 3 indica a variação da linha de costa em cada um dos transectos. As células pintadas de verde representam um ganho de espaço terrestre em relação a data anterior, enquanto aquelas em rosa representam uma perda naquele transecto. As cores mais escuras representam variações mais significativas, enquanto as mais fracas indicam uma variação de menor escala. As células em branco são locais onde a regressão ou transgressão foi menos expressiva que o erro médio de georreferenciamento e mosaicagem de 0,67 metros.

Tabela 3 – Ganho ou perda de espaço terrestre entre cada coleta de imagens, em cada transecto transecto (em metros)

	19-02-21	05-03-21	19-03-21	09-04-21	23-04-21	28-05-21	22-06-21
0	0.006	-0.225	0.085	0.930	-0.040	-1.066	0.000
1	-0.365	-0.112	0.144	1.748	-0.245	-1.645	0.006
2	-0.697	-0.373	0.050	1.361	0.860	-1.921	-0.299
3	-0.115	-0.322	0.193	1.246	1.347	-2.533	-0.624
4	0.873	-0.232	0.293	2.409	-0.060	-2.465	-0.986
5	0.976	-0.879	0.280	2.562	-0.127	-2.047	-2.819
6	0.512	-2.969	0.375	2.215	0.410	-1.668	-3.663
7	-0.652	-6.083	0.462	1.217	0.140	-2.591	-3.345
8	-1.321	-5.392	-2.562	0.510	0.285	-3.213	-3.445
9	-0.608	-5.583	-1.397	-0.667	0.135	-3.405	-5.012
10	-0.897	-4.731	-0.794	0.097	-1.439	-2.163	-5.982
11	-0.561	-5.037	-1.150	-0.370	0.089	-3.702	-4.297
12	-1.020	-5.080	-0.723	2.016	-1.051	-5.162	-6.873
13	-0.381	-4.527	-1.310	-0.525	-0.243	-4.081	-4.596
14	-0.795	-4.031	-1.420	-0.317	0.247	-4.283	-4.871
15	-0.002	-4.089	-1.392	0.585	0.163	-4.067	-5.077
16	-0.066	-4.529	-1.700	-1.317	-0.941	-3.162	-2.136
17	0.609	-6.687	-0.349	-1.657	-0.372	-5.352	-4.830
18	-2.604	-5.037	-0.862	-0.064	0.930	-5.234	-2.274
19	4.721	-5.418	0.875	4.574	-0.762	-4.629	-2.224
20	0.463	-0.474	2.106	1.412	-0.185	-2.975	-1.647
21	-0.220	-0.037	0.626	1.461	-0.907	-0.712	-1.031
22	-0.009	0.075	-0.038	1.808	0.061	-1.329	-0.500

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

3.3 VARIÁVEIS METEREOLÓGICAS E OCEANOGRÁFICAS

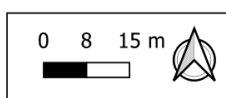
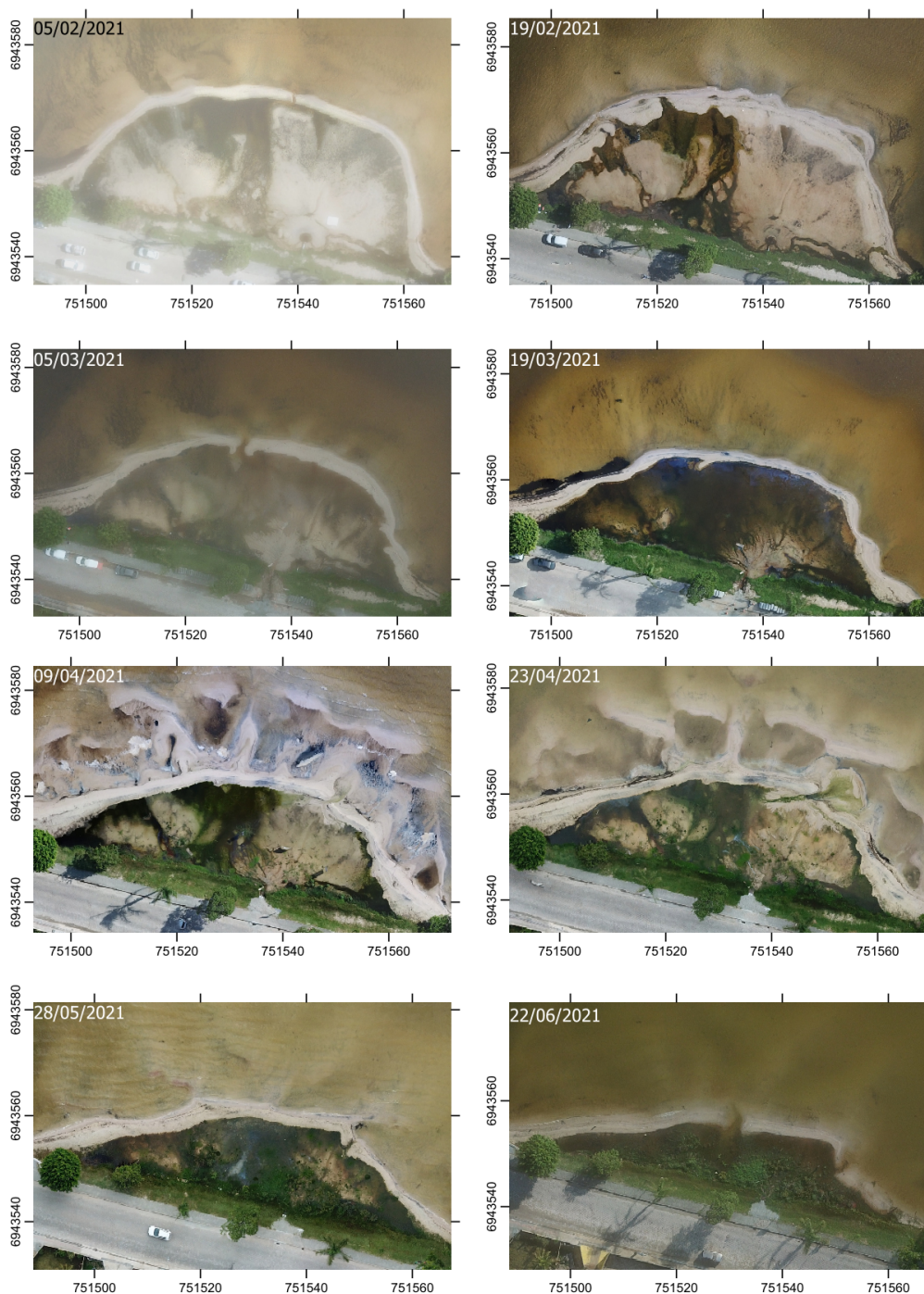
A Figura 10 é uma rosa dos ventos que mostra as intensidades dos ventos e as suas direções após o período do incidente até a última coleta de imagens por VANTs. A rosa dos ventos serve para destacar o quanto as intensidades dos ventos se repetem para cada direção. Para realizar os cálculos de altura de onda, foram utilizados somente os dados de vento dos quadrantes do norte, já que a face praial é voltada para o norte e a pista de vento sobre a água dos quadrantes sul é inexistente. A Figura 11 mostra apenas os ventos das direções de 285° até 90° de uma bússola, sendo 0° (ou 360°) o norte e 90° o leste.

A Figura 12 mostra a modelagem da altura das ondas para as mesmas direções da Figura 11, que vai de acordo com o modelo utilizado por Jane Smith (1991). Este modelo em específico faz o uso de dados sem variação de direção, ou seja, considera que a direção das ondas seja a mesma que a dos ventos. Em seu artigo, Smith (1991) compara modelos e conclui que aqueles que se utilizam da diferença entre as direções

de vento e onda são mais efetivos, mas como o presente estudo foi realizado apenas após as coletas de imagem via VANT, não foi possível coletar dados de direção das ondas.

A Figura 13 mostra em amarelo a intensidade dos ventos e em vermelho a altura de ondas vindas de qualquer direção ao longo do período de coleta de imagens. As linhas verdes representam os dias de coleta de imagens através dos VANTs. A partir das figuras 12 e 13 pode-se observar que altura de onda máxima encontrada foi de aproximadamente 16,5 centímetros, durante o vento norte-nordeste.

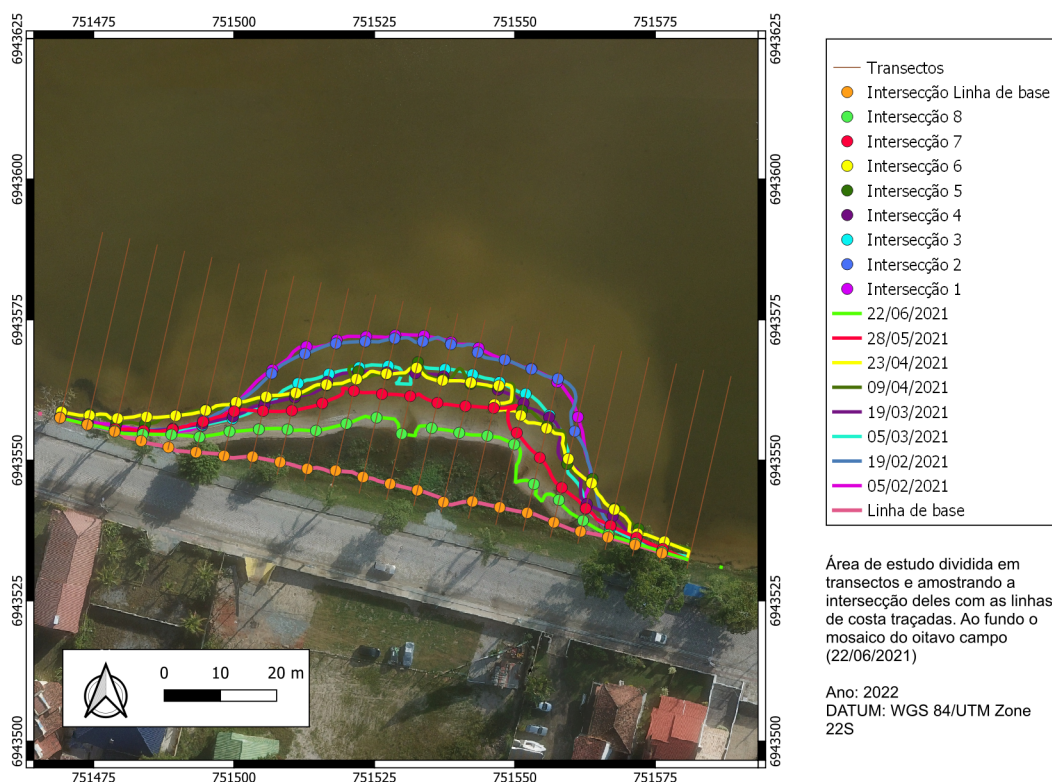
Figura 8 – Recortes da área de estudo para cada um dos mosaicos



Recorte dos mosaicos com foco na região de estudo
Ano: 2022
DATUM: WGS 84/UTM Zone 22S

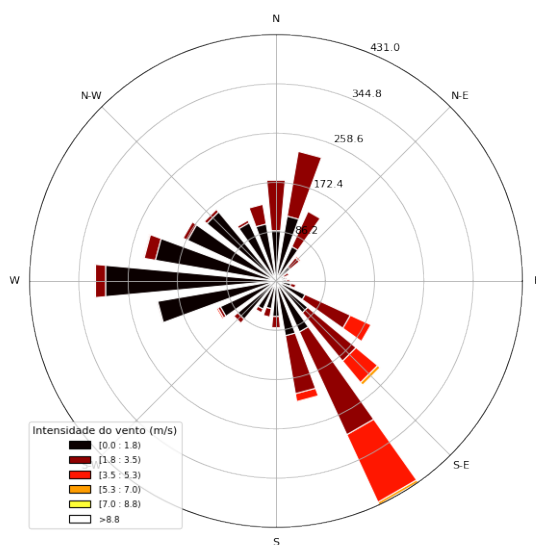
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Figura 9 – Transectos e intersecção com as linhas de costa.



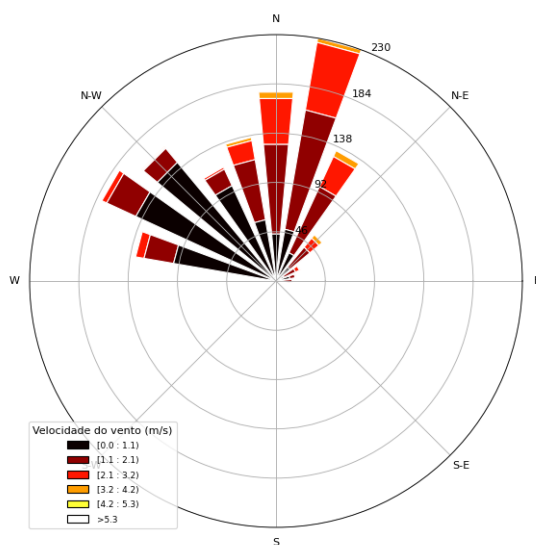
Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Figura 10 – Rosa dos Ventos para o período entre janeiro e julho de 2021



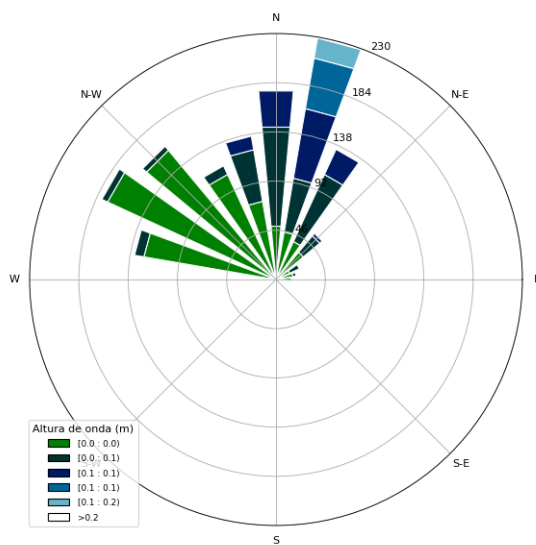
Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Figura 11 – Rosa dos ventos para as direções que o *fetch* pode ser calculado.



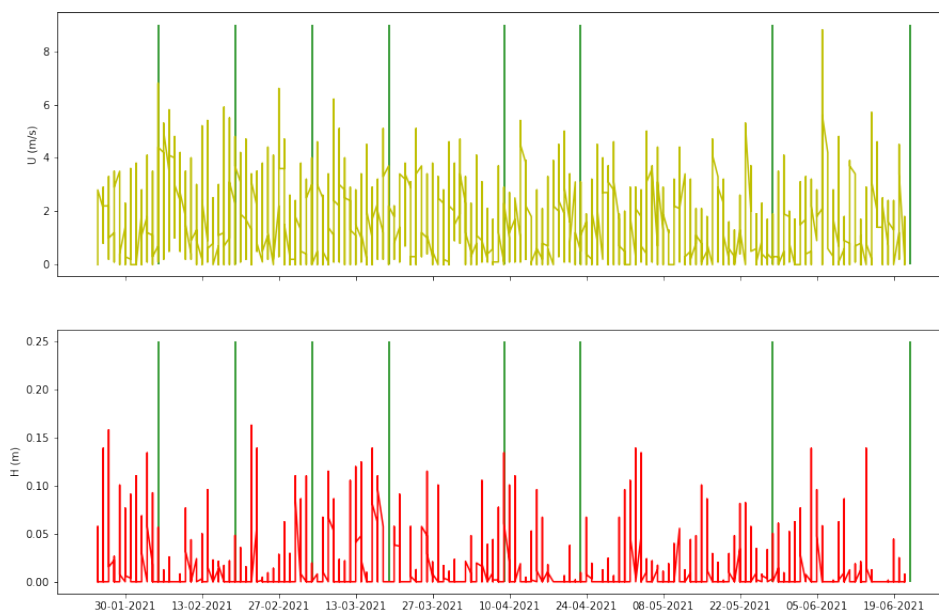
Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Figura 12 – Alturas das ondas para cada direção.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Figura 13 – Intensidade do vento (U) e altura de onda (H) ao longo do tempo de coleta de imagens, com marcações nos dias de coleta das imagens.

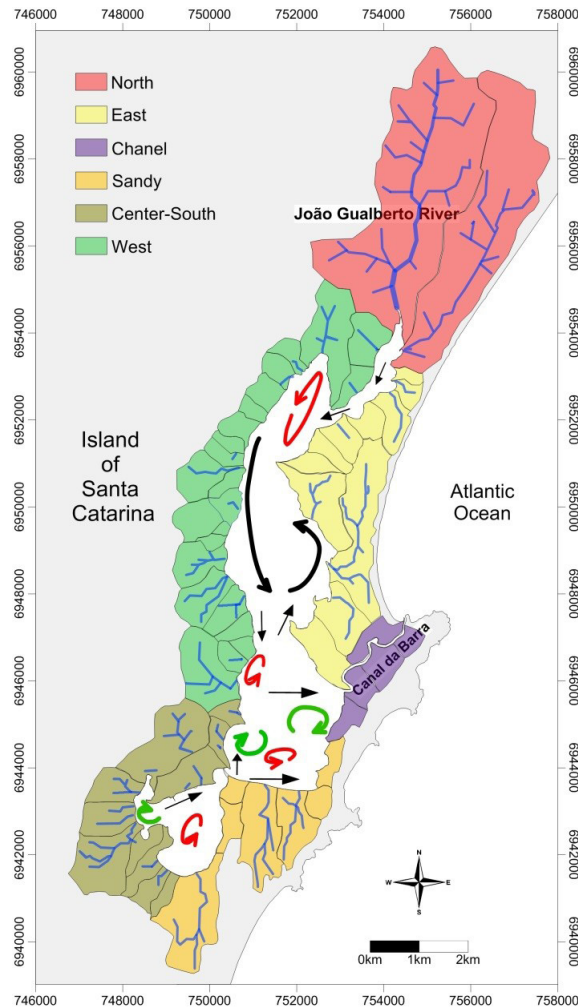


Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

4 DISCUSSÃO

4.1 VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA

Figura 14 – Hidrodinâmica da Lagoa da Conceição.



Fonte: Retirado de Silva, *et al.* (2017)

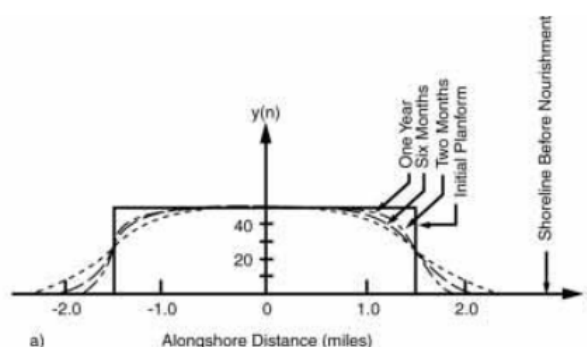
A Figura 16 e Tabela 3 indicam uma perda de espaço terrestre maior do lado oeste do depósito sedimentar, principalmente entre os transectos de número 13 até 19, que apresentam as perdas mais significativas nos dias 05/03, 25/05 e 22/06. Ao longo dos meses após a deposição do leque aluvial, o sedimento foi sofrendo um transporte pela da hidrodinâmica local e é possível observar isso nas imagens aéreas. De acordo com a Figura 14, além dos estudos feitos por Odreski *et al.* (2012) e Godoy (2009), há uma predominância de correntes litorâneas vindas do oeste para leste ao longo da Praia das Rendeiras. Lélis (2006) considera que essa corrente litorânea que está a transportar o sedimento é formada pelo vento sudeste e coincide com momentos

em que não há pista de vento para formar ondas nesta praia, conforme foi descrito no capítulo anterior.

A formação do leque aluvial na Praia das Rendeiras, apesar de ter ocorrido de forma incidental, é uma adição de sedimentos a um sistema de praia arenosa e pode ser estudado da mesma forma que um alargamento de praia (também conhecido como "engorda" ou *beachfill*, em inglês). Dean e Dalrymple (2004) mostram na Figura 15 que um depósito de sedimento de formato retangular tende a evoluir para uma forma trapezoidal, tal que o centro permanece do mesmo tamanho enquanto as arestas que tem contato direto com a ação das ondas vão se arredondando e se espalhando para as laterais.

Como é observado nas Figuras 8 e 9, o depósito em forma de leque evoluiu para uma forma trapezoidal, mas com uma menor angulação do lado oeste do que no lado leste. Isto leva a afirmar que existe um transporte sedimentar direcionado a leste ao longo da Praia das Rendeiras. Este que foi capaz de reduzir consideravelmente o volume de sedimento do depósito na duração dos 5 meses de estudo.

Figura 15 – Comportamento da linha de costa após engorda de praia em formato retangular

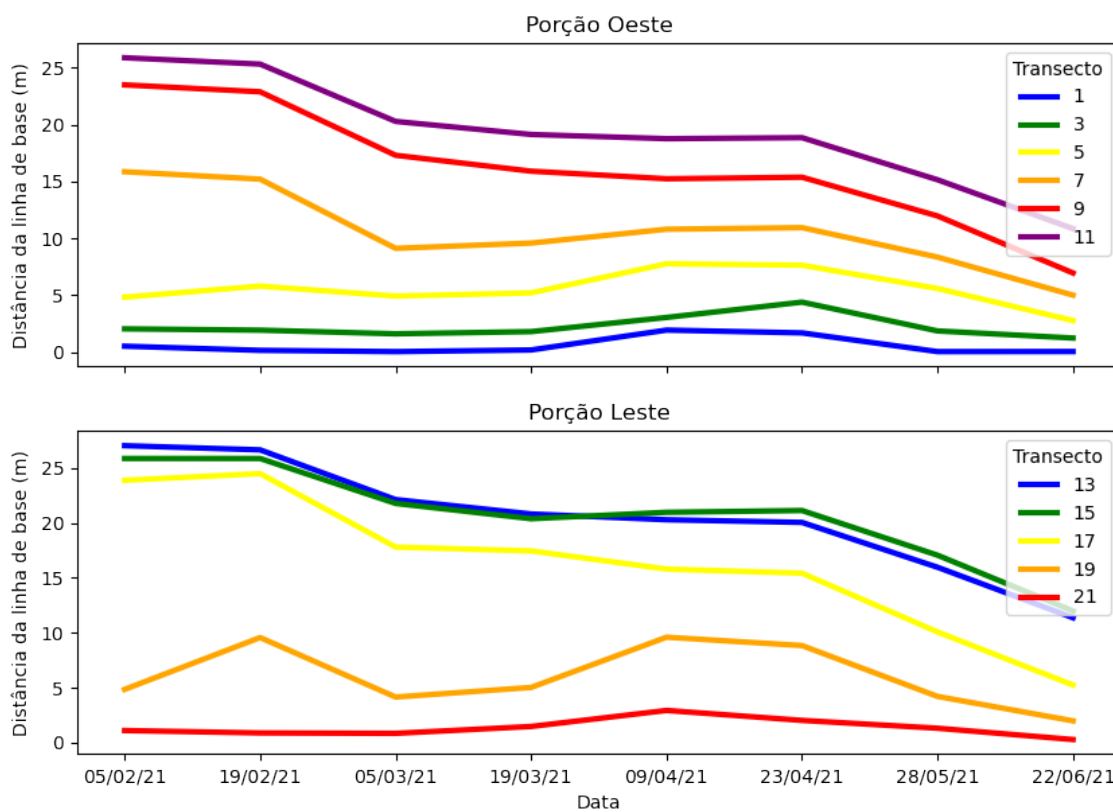


Fonte: Retirado de Dean e Dalrymple (2004).

4.2 BARRAS TRANSVERSAIS

As imagens geradas nos dias 09/04 e 23/04 mostram a presença de barras transversais arenosas expostas, que de acordo com Lelis Lélis (2006) eram encontradas normalmente nas extremidades leste e oeste da Praia das Rendeiras. Porém desta vez foram observadas na região central. Elas são formadas pela interação das ondas de gravidade e suas reflexões, podendo formar ondas estacionárias que formam essas estruturas arenosas. Em outras imagens também é possível observar estar mesmas feições rítmicas, mas elas se encontram abaixo da linha da água. Outra diferença das observações de Lélis é que além de estarem localizadas na região central da Praia

Figura 16 – Perfil temporal dos transectos, com ordem crescente de oeste para leste.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

das Rendeiras, as barras transversais arenosas estão orientadas de forma radial ao leque aluvial.

5 CONCLUSÃO

O rompimento da Lagoa de Evapoinfiltração da ETE Lagoa da Conceição no dia 25 de janeiro de 2021, por conta das fortes chuvas e falta de manutenção, gerou um deslizamento que provocou a formação de um leque aluvial na Praia das Rendeiras.

Através da coleta de imagens via Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) foi possível formar oito mosaicos ao longo de aproximadamente cinco meses. Para cada mosaico foi descrita uma linha de costa. Observou-se que houve um decréscimo de sedimento maior na região oeste da área de estudo, o que levou a concluir que há um transporte sedimentar significativo originado das ondas e correntes locais.

Como houve uma grande adição de sedimento concentrado em um lugar, o evento estudado têm características semelhantes a um alargamento de praia e pôde ser tratado como uma engorda incidental da Praia das Rendeiras. Este estudo pode ser utilizado em projetos futuros pois ajuda a entender a dinâmica do sedimento no local. Vale ressaltar que o principal método utilizado no trabalho foi a coleta de imagens via VANT, que se demonstra um processo rápido de coleta de dados e que pode ser utilizado com sucesso para o acompanhamento da morfodinâmica de praias.

Por fim, o leque aluvial formado teve um grande impacto na paisagem da Praia das Rendeiras, tanto que foi retirado pela Prefeitura de Florianópolis no mês de dezembro de 2021, impossibilitando a continuação deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ANDRÉS, María de; BARRAGÁN, Juan M; SCHERER, Marinez. Urban centres and coastal zone definition: Which area should we manage? **Land use policy**, Elsevier, v. 71, p. 121–128, 2018.

ARAÚJO, Rodolfo V; PEREIRA, Pedro S; LINO, Anderson P; ARAÚJO, Tereza M; GONÇALVES, Rodrigo M. Morphodynamic study of sandy beaches in a tropical tidal inlet using RPAS. **Marine Geology**, Elsevier, v. 438, p. 106540, 2021.

ARRUDA JÚNIOR, Elias Ribeiro de. Mosaicagem de imagens digitais. Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2002.

BOAK, Elizabeth H; TURNER, Ian L. Shoreline definition and detection: a review. **Journal of coastal research**, v. 21, n. 4, p. 688–703, 2005.

CASAN-SC. **Plano de Emergência e Contingência das Estações Elevatórias de Esgoto - SRM**. [S.l.], 2017. Último acesso em 20/11/2022. Disponível em: <https://www.aresc.sc.gov.br/index.php/documentos/plano-emergencial/plano-emergencial-agua/plano-de-emergencia-2017/1362-plano-de-emergencia-e-contigencia-operacional-das-estacoes-de-elevatoria-de-esgoto-e-ses-lagoa-da-conceicao/file>.

DEAN, Robert G; DALRYMPLE, Robert A. **Coastal processes with engineering applications**. [S.l.]: Cambridge University Press, 2004.

DISTRIBUIÇÃO da população. [S.l.]: IBGE, 2018. Disponível em: https://atlascolar.ibge.gov.br/images/atlas/mapas_brasil/brasil_distribuicao_populacao.pdf.

DRONEDEPLOY. [S.l.: s.n.], 2022. Último Acesso em 20/11/2022. Disponível em: <https://www.dronedeploy.com/>.

ESTADO DE SANTA CATARINA, Defesa Civil do. **ATUALIZAÇÃO AVISO METEOROLÓGICO DC/SC**. [S.l.: s.n.], 2021. Disponível em: <https://www.defesacivil.sc.gov.br/avisos-meteorologicos/atualizacao-aviso-meteorologico-dc-sc-risco-de-deslizamentos-e-temporais-isolados-neste-domingo-24-e-inicio-de-semana/>.

GODOY, Fabio Bertini. **Modelagem hidrológico-hidrodinâmica da Lagoa da Conceição - SC**. Florianópolis: [s.n.], 2009.

HORN FILHO, NO. Granulometria das praias arenosas da Ilha de Santa Catarina, SC. **Gravel**, v. 4, p. 1–21, 2006.

IBGE Cidades. [S.l.]: IBGE, 2010. Disponível em:

<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/florianopolis/panorama>.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. [S.l.: s.n.], 2022. Último acesso em 20/11/2022. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>.

LÉLIS, Renato José Furigo. **Aspectos morfossedimentares da praia das Rendeiras, Laguna da Conceição (Ilha de Santa Catarina-SC)**. Florianópolis: [s.n.], 2006.

MATHER, Anne. Arid environments. *In*: **Environmental Sedimentology**. [S.l.]: Blackwell Publishing Oxford, 2007. P. 144–189.

ODRESKI, Luis Felipe Rissetti *et al.* **Influência hidrológica nos processos hidrodinâmicos da Lagoa da Conceição-Florianópolis-SC**. [S.l.: s.n.], 2012.

PEIXOTO, Janice Rezende Vieira. **Modelagem Hidrológico-Hidrodinâmica da Lagoa Da Conceição - SC**. 2010. Florianópolis.

POLETTE, Marcus; ASMUS, Milton L. Meio Ambiente Marinho e impactos antrópicos. *In*: **INTRODUÇÃO às ciências do mar**. [S.l.]: Textos, 2015. P. 500–520.

SILVA, Victor Eduardo Cury; FRANCO, Davide; FONSECA, Alessandra Larissa; FONTES, Maria Luiza; DONNANGELO, Alejandro Rodolfo. Space time evolution of the trophic state of a subtropical lagoon: Lagoa da Conceição, Florianópolis Island of Santa Catarina, Brazil. **RBRH**, SciELO Brasil, v. 22, 2017.

SMITH, Jane M. **Wind-wave generation on restricted fetches**. [S.l.], 1991.