



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

Pedro Henrique Santos Machado

**Análise de sistemas de circulação secundários com foco na vorticidade na praia da
armação: uma análise através de imageamento remoto**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Florianópolis
2025

Pedro Henrique Santos Machado

**Análise de sistemas de circulação secundários com foco em vorticidade na praia da
armação: uma análise através de imageamento remoto**

Trabalho de Conclusão de Curso do curso de Oceanografia do Centro de Ciências Físicas e Matemáticas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Pedro Pereira de Souza, Dr.

Florianópolis

2025

Machado, Pedro Henrique Santos

Análise de sistemas de circulação secundários com foco em vorticidade na praia da armação: uma análise através de imageamento remoto / Pedro Henrique Santos Machado ; orientador, Pedro Pereira de Souza, 2025.

47 p.

Monografia (especialização) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Curso de Bacharelado em Oceanografia, Florianópolis, 2025.

Inclui referências.

1. imageamento remoto. 2. monitoramento costeiro. 3. vorticidade. 4. sistemas de circulação secundários. I. Souza, Pedro Pereira de . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Bacharelado em Oceanografia. III. Título.

Pedro Henrique Santos Machado

**Análise de sistemas de circulação secundários com foco em vorticidade na praia da
armação: uma análise através de imageamento remoto**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de oceanógrafo e aprovado em sua forma final pelo Curso bacharelado em oceanografia.

Defesa remota, 30 de janeiro de 2025.

Coordenação do curso

Banca examinadora

Prof. Pedro Pereira de Souza, Dr
Orientador

Prof. Jarbas Bonetti Filho, Dr
Instituição UFSC

Prof. Felipe M. Pimenta, Dr
Instituição UFSC

Florianópolis, 2025

Dedico este trabalho ao meu tio Ricardo que me ensinou a multiplicar as frações e as matrizes.

AGRADECIMENTOS

Tantas pessoas.

Não poderia começar sem agradecer aos meus pais, Rosângela e Álvaro por sempre terem me apoiado e me inspirado a estudar os mares, respectivamente, obrigado por acreditar em mim mesmo quando eu não acreditei e por me amar mesmo quando eu não merecia, agradeço também ao meu avô Antônio por ter sido um pai e uma mãe, quando os mesmos não puderam ser e agradeço ao meu tio Ricardo cujo sem as aulas eu não teria nem saído do ensino médio.

Agradeço ao meu orientador, o Prof. Pedro Pereira por me introduzir à oceanografia física-geológica, por me apresentar uma nova forma de olhar para os mares e praias, pela orientação neste trabalho e sobretudo por não ter me expulsado do laboratório depois de inúmeras gafes.

Também quero agradecer aos meus colegas do laboratório de oceanografia costeira, Ajarimba, Rafaela, Gillian, Rafael, Lili, Manuela e sobretudo Gabriela e Lígia que me auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho do início ao fim, sou grato à vocês não apenas ao auxílio prestado nas muitas vezes que precisei, mas também pelos bolos, cafés, papos, discussões sobre o nome de um possível roedor e tardes silenciosas onde trabalhávamos na companhia uns dos outros.

Sou grato a todos os meus amigos que fiz na oceano e que me acompanharam pela graduação, se tivesse que citá-los todos este trabalho ficaria demasiado longo, entretanto dois nomes se destacam: Erots e Gabriel, nos tornamos amigos no primeiro dia de aula quando tivemos que encarar o famigerado trote (embora que de lados opostos), passamos uma semana no mar praticando ciência juntos sobre o atlântico azul num barco que nos parecia na época o ápice das embarcações oceanográficas, dentre as inúmeras tardes jogando conversa fora, enfrentando adversidade seja nos videogames ou em cálculo, dando prejuízo no rodízio de pizza, construímos algo que espero que dure pelas nossas vidas.

Agradeço a UFSC e ao contribuinte por me proporcionar essa experiência, e pela oportunidade de adquirir uma educação superior, mesmo com todos os seus defeitos eu não escolheria outra instituição para minha formação. Agradeço aos professores que mesmo lidando com uma instituição precarizada sempre deram o seu melhor e tentaram nos proporcionar uma graduação mais completa, seja com palestras, saídas de campo ou contato com entidades a parte do meio acadêmico, para sempre nos lembrar que existe um mundo fora da universidade.

Para as nossas anjas da oceanografia Núbia e Mariangela, seja por encaixar uma matéria depois do prazo ou por não me deixar desistir do curso, eu tenho apenas a agradecer.

Sou grato a casa de retiros Vila Fátima por terem permitido o uso de suas instalações para a coleta de dados deste usada nesta investigação, este trabalho não teria sido possível sem vocês.

Para os meus (muitos) companheiros de república que tiveram a sorte ou infortúnio de morar comigo eu só tenho a agradecer, João, Agatha, Rafa, Mateus, Mari e Cícero de uma forma ou de outra vocês todos fizeram minha passagem pela graduação ser mais enriquecedora.

As mulheres da minha vida, Serena, Tuli e Bruna agradeço pelo despertar que me causaram, por me ensinar a amar e por me ensinar a seguir em frente.

Ao Criador eu agradeço por tudo

“Se às vezes digo que as flores sorriem
E se eu disser que os rios cantam,
Não é porque eu julgue que há sorrisos nas flores
E cantos no correr dos rios...
É porque assim faço mais sentir aos homens falsos
A existência verdadeiramente real das flores e dos rios.”

(PESSOA, 2016, p. 110)

RESUMO

Este estudo apresenta uma investigação sobre sistemas de circulação secundários, com enfoque na análise de vorticidade e classificação morfodinâmica, tendo como objeto de estudo a praia da Armação, localizada na região sul da Ilha de Santa Catarina, durante o mês de maio de 2024. A classificação morfodinâmica foi realizada por meio da análise de imagens médias e de média móvel, as quais permitiram caracterizar as feições morfológicas da praia ao longo do período estudado. A metodologia empregada baseou-se na técnica de velocimetria por imageamento de partículas (PIV), a qual permite determinar a velocidade e a direção de um escoamento por meio da correlação de partículas em uma sequência de quadros extraídos de vídeos capturados em intervalos de tempo pré-estabelecidos. Para a aquisição dos dados, foi utilizada uma câmera Mobotix M24, instalada no telhado de um edifício no bairro da Armação, posicionada de modo a garantir um campo de visão abrangente de toda a extensão da praia. Os vídeos, com duração aproximada de dez minutos, foram posteriormente convertidos em uma série de quadros, os quais foram submetidos a tratamentos específicos para a geração de imagens de brilho máximo, imagens de média móvel e imagens médias. Esses procedimentos visaram identificar morfologias na linha de praia e fornecer subsídios para a análise subsequente por PIV. Além dos dados obtidos por imageamento, foram analisados dados de ondas provenientes do banco de dados ERA5, os quais permitiram delimitar um intervalo de cinco dias durante os quais a praia da Armação experimentou um ciclo de alta energia de ondas, seguido por um período de baixa energia. As imagens de média móvel, geradas a partir dos quadros capturados nesse intervalo, foram processadas por meio de um software especializado em operações matriciais para a realização da análise PIV. Os resultados obtidos foram representados graficamente e correlacionados com os dados de ondas e com as imagens da praia. Essa análise comparativa evidenciou uma possível relação entre o aumento da vorticidade e as variações no regime de ondas, sugerindo que os sistemas de circulação secundários na praia da Armação podem ser influenciados diretamente pelas condições de energia das ondas.

Palavras-chave: imageamento remoto; monitoramento costeiro; sistemas de circulação secundários; vorticidade.

ABSTRACT

This study presents an investigation into secondary circulation systems, focusing on the analysis of vorticity and morphodynamic classification, with the study object being Armação Beach, located in the southern region of Santa Catarina Island, during May 2024. The morphodynamic classification was carried out through the analysis of mean and moving average images, which allowed the characterization of the morphological features of the beach over the studied period. The methodology employed was based on the Particle Image Velocimetry (PIV) technique, which determines the velocity and direction of a flow through the correlation of particles in a sequence of frames extracted from videos captured at predefined time intervals. For data acquisition, a Mobotix M24 camera was used, installed on the rooftop of a building in the Armação neighborhood, positioned to ensure a comprehensive field of view of the entire beach. The videos, approximately ten minutes long, were subsequently converted into a series of frames, which underwent specific treatments to generate maximum brightness images, moving average images, and mean images. These procedures aimed to identify beachline morphologies and provide input for subsequent PIV analysis. In addition to the data obtained through imaging, wave data from the ERA5 database were analyzed, which allowed the delimitation of a five-day period during which Armação Beach experienced a cycle of high wave energy, followed by a period of low energy. The moving average images, generated from the frames captured during this interval, were processed using specialized matrix operations software for PIV analysis. The results obtained were graphically represented and correlated with wave data and beach images. This comparative analysis revealed a possible relationship between increased vorticity and variations in the wave regime, suggesting that secondary circulation systems at Armação Beach may be directly influenced by wave energy conditions.

Keywords: remote sensing; Armação beach; secondary circulation systems; vorticity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área de estudo - praia da Armação, Florianópolis, SC, Brasil.....	19
Figura 2 - Organograma descrevendo a metodologia usada neste trabalho.	21
Figura 3 - Primeira imagem coletada pela câmera Mobotix M24, após sua instalação, parte do conjunto de quadros do dia 16/03/2024, às 16h	22
Figura 4 -Exemplos dos tratamentos de imagens realizados a) timex e b) imagem de média móvel. Fonte: Elaboração própria (2024).....	23
Figura 5 - Exemplo de imagem utilizada para calibração da câmera.	24
Figura 6 - Imagens a) e b) coletas de pontos de GCPs imagem c) localização dos GCPs nas imagens capturadas.....	25
Figura 7- Exemplo de imagem retificada.	27
Figura 8 - Ilustração da geração de campo de vetores pelo método PIV.	28
Figura 9 - Imagem de brilho máximo retificada usada como base para geração de máscara ..	29
Figura 10 - Diferentes estágios de análise por PIV: a) Imagem de média móvel sobre o efeito da máscara (ROI); b) Imagem pós processada demonstrando o campo vetorial da área de estudo; c) Gradiente de magnitude de velocidade; d) Gradiente de vorticidade	31
Figura 11 - Exemplos de imagens timex da área de estudo em diversos momentos: a) 25/05/2024 08:00; b) 26/05/2024 08:00; c) 27/05/2024 08:00; d) 28/05/2024 08:00; e) 29/05/2024 08:00Fonte: Elaboração própria (2024).....	33
Figura 12 - Imagem timex de 24/03/2024 com ilustração indicando a morfologia praial.	34
Figura 13 - Linhas de fluxo no dia 25/05/2024	35
Figura 14 - Distribuição de vetores de velocidade pela área de estudo durante: a) 25/05 08:00; b) 26/05 08:00; c) 27/05 08:00; d) 28/05 08:00; e) 29/05 08:00	36
Figura 15 - Gráfico de altura, direção e período de onda durante o dia 26/05/2024 Fonte: Elaboração própria (2024)	37
Figura 16 - Gradiente de vorticidade na praia da Armação durante o dia 25/05 às 08:00Fonte: Elaboração própria (2024)	38
Figura 17- Gráfico descrevendo a vorticidade ao longo da zona de interesse no sentido norte sul dia 25/05/2024 08:00	39
Figura 18 - Vorticidade na praia da Armação	40
Figura 19 - Gráficos de dispersão dos horários em diferentes dias e turnos: a) 26/05 08:00; b) 26/05 16:00; c) 27/05 08:00; d) 27/05 16:00; e) 28/05 08:00; f) 28/05 16:00; g) 29/05 08:00; h) 29/05 16:00.....	45

Figura 20 - Distribuição das linhas de fluxo ao longo da área de estudo às 08:00 nos dias: a) 26/05; b) 27/05; c) 28/05; d) 29/05 Fonte: Elaboração própria (2024)	46
Figura 21 - Gráficos de vorticidade ao longo da costa da área de estudo: a) vorticidade as 10:00 dia 26/05/2024; b) vorticidade as 12:00 dia 27/05/2024; c) vorticidade as 14:00 dia 28/05/2024; d) vorticidade as 16:00 dia 29/05/2024	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ECMW - European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (Centro Europeu de Previsões Meteorológicas de Médio Prazo)

FFT - Fast Fourier Transform (Transformada Rápida de Fourier)

GCPs - Ground Control Points (Pontos de Controle Terrestre)

GUI - Graphical User Interface (Interface Gráfica do Usuário)

NE - North-East (Nordeste)

PIV - Particle Image Velocimetry (Velocimetria por Imagem de Partículas)

ROI - Region of Interest (Região de Interesse)

S - Sul

SO - Sudoeste

UTM - Universal Transverse Mercator (Projeção Universal Transversa de Mercator)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	17
2.1	GERAIS.....	17
2.2	ESPECÍFICOS	17
3	ÁREA DE ESTUDO	18
4	METODOLOGIA	20
4.1	AQUISIÇÃO DE IMAGENS.....	21
4.2	TRATAMENTO DE IMAGENS	22
4.3	GEORRETIFICAÇÃO.....	23
4.3.1	Calibração	23
4.3.2	GCPs	24
4.3.3	Geração de retificação	26
4.4	ANÁLISE POR VELOCIMETRIA DE IMAGEAMENTO DE PARTÍCULA.....	27
4.4.1	Pré-processamento	28
4.4.2	Processamento	30
4.5	ANÁLISE DE DADOS DE ONDAS.....	32
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1	MORFOLOGIA	33
5.2	CONFIGURAÇÕES DE FLUXO.....	34
5.3	VORTICIDADE.....	37
6	CONCLUSÃO	41
	REFERÊNCIAS	42
	APÊNDICE A - Gráficos de dispersão dos horários	45
	APÊNDICE B - Linhas de fluxo na área de estudo (horário fixo)	46
	APÊNDICE C - Vorticidade na região costeira	47

1 INTRODUÇÃO

O ambiente praiado pode ser definido como um ambiente de interface entre terra e mar, constituído por sedimentos inconsolidados que são constantemente retrabalhados pelas forças oceânicas (SHORT, 1999). Independente da localidade o ambiente praiado está em constante estado de mudança (MUEHE, 1994), a interface mar terra se trata de um meio altamente dinâmico cuja morfologia é definida por um equilíbrio entre processos oceânicos e a evolução do relevo costeiro (MASSELINK; GEHRELS, 2015).

A erosão, transporte, deposição e retrabalhamentos de sedimento causada pelas forças hidrodinâmicas do mar é a maior responsável por mudanças do ambiente praiado que, por sua vez, exerce influência sobre as forças hidrodinâmicas (VOUSDOKAS et al., 2009), entre elas os sistemas de circulação secundária.

Entre as muitas forças oceânicas que moldam o ambiente marinho os sistemas de circulação secundária se encontram alguns dos fenômenos menos compreendidos na oceanografia física-geológica, frequentemente tidos como causadores de processos oceânicos, muitas vezes compreendidos apenas como consequências desses mesmos processos, dentre estes fenômenos se encontram os sistemas de vortacidade (SOUTHWICK et al., 2017).

A vortacidade costeira afeta o retrabalhamento de sedimentos marinhos (PEREGRINE e BOKHOVE, 1998), o regime de arrebentação (PADOVA et al., 2019) além de uma série de outros processos costeiros.

Definida como a tendência de um escoamento de apresentar rotação, ou de forma mais técnica a quantidade de rotação que um escoamento apresenta ($\omega = \nabla \times v$), vortacidade é uma grandeza física que pode ser caracterizada na oceanografia como planetária ou relativa. Devido ao tamanho deste campo de estudo a investigação apresentada neste trabalho irá se dedicar a analisar a vortacidade relativa (HARMAN, 1987). Na oceanografia costeira, a vortacidade é frequentemente associada aos sistemas de circulação secundária (JOHNSON et al., 2012).

Métodos tradicionais de coleta de dados a respeito da circulação costeira geralmente envolvem a instalação de derivadores, perfiladores, sensores eletromagnéticos entre outros tipos de equipamentos, estes métodos possuem no entanto uma série de limitações logísticas e financeiras (FREIRE, 2022), sobretudo, frente a dimensões das áreas de estudos da oceanografia costeira.

Considerando este contexto este trabalho tem como objetivo investigar sistemas de circulação secundários, em especial a vorticidade, utilizando o imageamento remoto e ferramentas de velocimetria por imageamento de partícula, com intuito de avaliar viabilidade desses métodos na análise de um processo com tanta relevância na dinâmica praial.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAIS

- Investigar os sistemas de circulação secundária, em especial a vorticidade da praia da Armação, Florianópolis, SC, através do imageamento remoto durante um evento de alta energia

2.2 ESPECÍFICOS

- Demonstrar o uso de câmeras e ferramentas PIV como uma maneira prática e eficaz de investigar sistemas de circulação secundários;
 - Investigar a vorticidade na praia da Armação e inferir sobre a sua causalidade no contexto do sistema de circulação local;
 - Utilizar dados sobre o regime de ondas para selecionar um período de alta oscilação de energia da área de estudo
 - Classificar morfologicamente a praia da Armação usando dados obtidos através de imagens.

3 **ÁREA DE ESTUDO**

A área de estudo está localizada na praia da Armação, no município de Florianópolis, estado de Santa Catarina, Brasil (Figura 1), possui cerca de 3.500 metros de extensão, sendo classificada como uma praia intermediária com um caráter mais refletivo na porção norte e dominada pela energia de ondas (CASTILHOS, 1995).

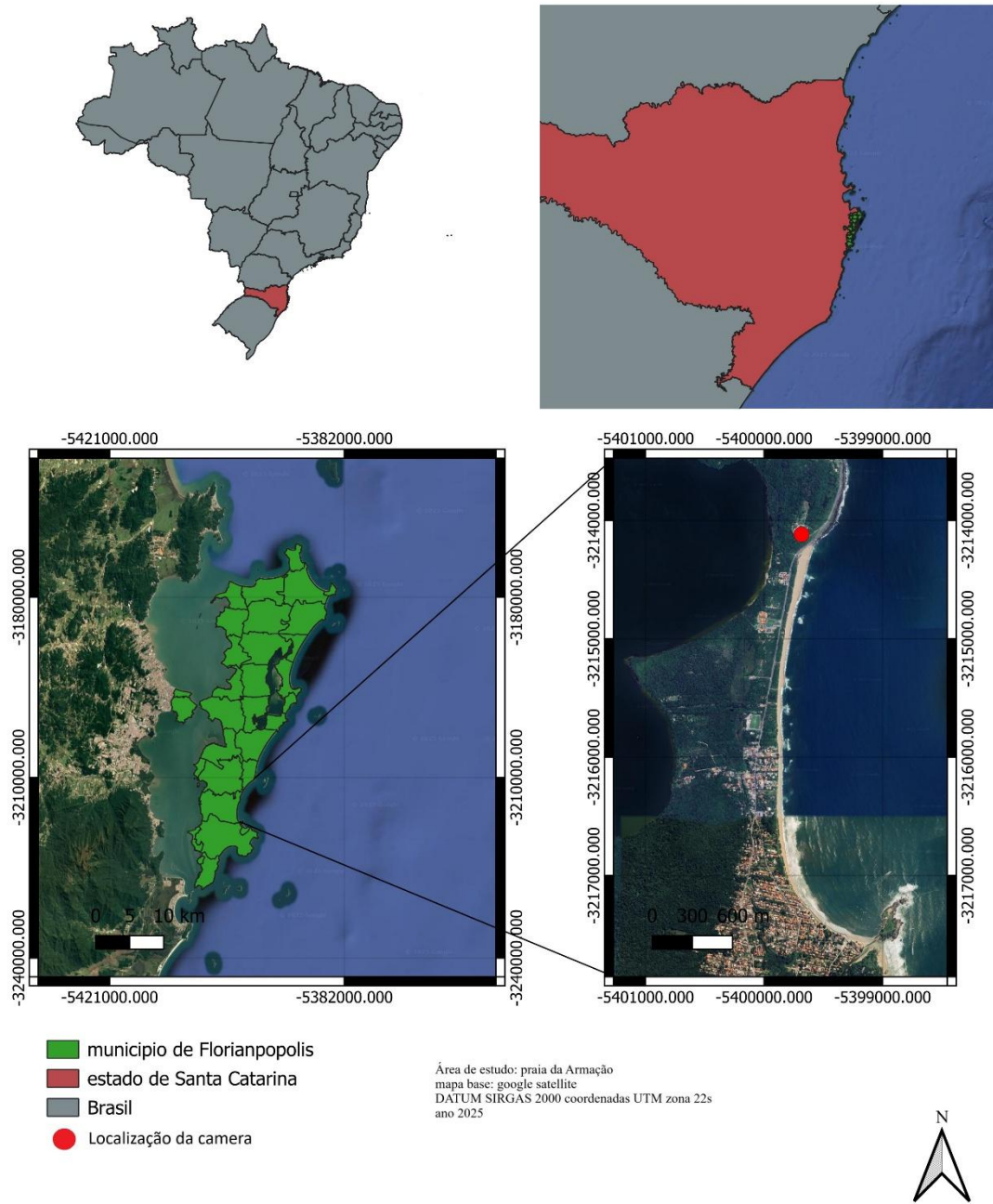
Os depósitos sedimentares da praia da Armação são compostos primariamente por areia grossa e quartzosa, resultando em uma face praial com elevada inclinação, típica de ambientes de sedimentação de laguna/barreira formados durante os períodos do pleistoceno e holoceno (KLEIN et al., 2006).

Na planície costeira, encontra-se uma vegetação do tipo arbustiva, com uma orla natural composta por praia e restinga, ambas bem preservadas (OLIVEIRA, 2009). A zona de surf apresenta uma linha de arrebentação costumeiramente mergulhante (PACHECO, 2013).

Os processos costeiros da região da área de estudo estão sujeitos a influência primariamente de ventos do quadrante nordeste (NE) durante a primavera e verão e de ventos do quadrante sul (S) e sudoeste (SO) durante o inverno, o sistema de maré é caracterizado como misto apresentando componentes diurnas e semidiurnas (PACHECO, 2013).

Devido ao aumento da ocupação urbana no sul da ilha de forma desordenada, da alta procura das praias Catarinenses por banhistas e a ausência de políticas públicas a respeito do gerenciamento costeiro (KLEIN et al., 2006) considerando a avaliação realizada por Karen Pazini a respeito de inundações causadas por eventos extremos na costa de Santa Catarina (PAZINI, 2021), a praia da Armação pode ser considerada como um foco de vulnerabilidade costeira.

Figura 1 - Área de estudo - praia da Armação, Florianópolis, SC, Brasil



Fonte: Elaboração própria (2024)

4 METODOLOGIA

Visto os objetivos deste trabalho, é possível traçar um plano de ação para esta investigação, este plano será definido em: aquisição de imagens (seção 4.1, p. 20), tratamento de imagens (Seção 4.2, p. 21), georretificação (Seção 4.3, p. 22), análise PIV (Seção 4.5, p. 26) e análise de dados de onda (Seção 4.4, p. 31). Cada uma dessas etapas terá um número de subseções que também serão discutidas aqui.

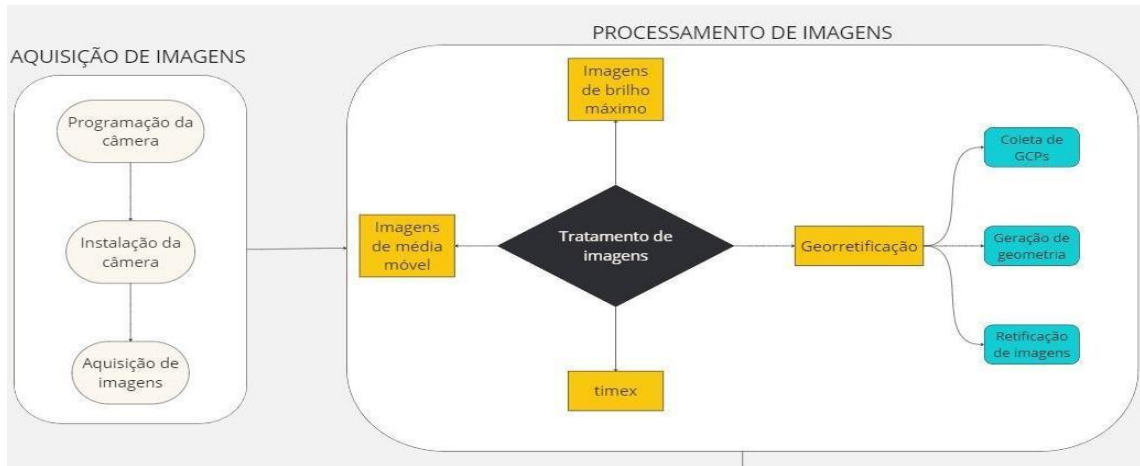
Este trabalho propõe investigar sistemas de circulação secundários em especial a vorticidade através do imageamento remoto, para tanto este trabalho irá replicar boa parte da metodologia utilizada por Holman e pesquisadores associados (HOLMAN; STANEY, 2007), ambos os trabalhos cuja metodologia serviram como base para este fizeram uso de sistemas de imageamento remoto para análise de processos costeiros.

Após a programação, instalação e ativamento do sistema de captura de vídeos, será realizada fragmentação desses vídeos em quadros gerando uma série de imagens, este tratamento inicial será realizado in situ, após a conversão dos vídeos em imagens elas serão copiadas para um diretório em um sistema de armazenamento em nuvem para que eles possam ser acessados remotamente, as imagens então passarão por uma série de tratamentos que servirão duas funções: transformar o alto volume de imagens em um número mais manejável para análise e tornar as feições morfológicas da praia mais evidentes.

Paralelamente ao tratamento de imagens, a área de estudo foi mapeada por uma série de pontos cuja localização é conhecida tanto no mundo real por coordenadas (x,y,z) como na imagem por coordenadas (x,y). Tais pontos são conhecidos como pontos de controles no solo, ou na língua inglesa de *Ground Control Points* (GCPs), e serão utilizados para a retificação das imagens tratadas, onde a perspectiva oblíqua das imagens é transformada em uma perspectiva planificada cujas dimensões são proporcionais a escala real da área de estudo.

Adicionalmente uma série de dados referentes ao período, altura e direção de ondas foram analisados para fins de selecionar um espaço de tempo cuja investigação poderia atingir os objetivos definidos por este trabalho, após realizada a retificação os conjuntos de imagens foram submetidos à análise de velocimetria por imagem de partículas ou PIV (do inglês *Particle Image Velocimetry*). A análise PIV gera campos vetoriais da circulação costeira na área de estudo. Estes campos foram utilizados por sua vez para gerar dados a respeito da magnitude de velocidade e vorticidade da área de estudo. A metodologia usada nesta pesquisa está ilustrada no organograma da Figura 2.

Figura 2 - Organograma descrevendo a metodologia usada neste trabalho



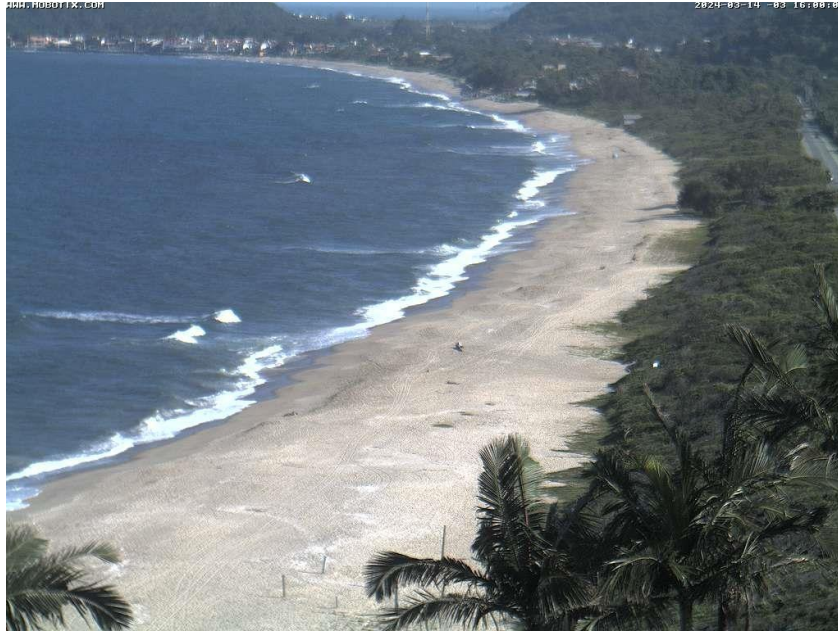
Fonte: Elaboração própria (2024)

4.1 AQUISIÇÃO DE IMAGENS

A coleta de imagens para esta pesquisa foi realizada utilizando uma câmera IP da marca mobotix modelo m24, operada por um computador e controlada remotamente. A câmera foi programada para gravar vídeos de dez minutos durante todas as horas do dia com iluminação natural (das 7 às 17 horas). Após a captura os vídeos foram imediatamente fragmentados em uma série de quadros e essas imagens (Figura 3) foram armazenadas em um arquivo contendo a data e a hora do início da filmagem de cada vídeo.

A instalação da câmera ocorreu no dia 14 de março de 2024 no telhado da casa de retiros vila Fátima, rodovia Francisco Thomas dos Santos 2210, a câmera foi posicionada de tal forma para obter uma visão de toda extensão da praia, a zona de surf, zona de arrebentação e o perfil praiado de toda a praia da Armação com a menor interferência de atores que não são interessantes a investigação deste trabalho. Paralelamente a instalação da praia uma série de coordenadas de foram coletadas, inclusive as coordenadas x,y,z (no parâmetro UTM) da posição da câmera, estas coordenadas serão utilizadas posteriormente durante a retificação das imagens.

Figura 3 - Primeira imagem coletada pela câmera Mobotix M24, após sua instalação, parte do conjunto de quadros do dia 16/03/2024, às 16h



Fonte: Elaboração própria (2024)

4.2 TRATAMENTO DE IMAGENS

Dado o volume de imagens e ao longo espaço de tempo observado, foi necessário realizar uma série de tratamentos de imagens (Figura 4) para ser possível extrair dados úteis à investigação proposta por este trabalho, estes tratamentos foram:

- imagem média ou timex;
- imagens de brilho máximo;
- imagem de média móvel.

As imagens médias ou timex são geradas obtendo o valor médio de cada pixel específico ao longo de um grupo de imagens e então gerando uma imagem final com todos os valores de luminosidade média, a imagem final (Figura 4a) é uma imagem de longa exposição que reflete todas as características recorrentes do vídeo de dez minutos capturado.

Imagens de brilho máximo são o resultado da seleção do maior valor de luminosidade de cada pixel ao longo do vídeo de dez minutos, resultando em uma imagem onde as áreas de maior claridade se encontram destacadas.

As imagens de média móvel (Figura 4b) são imagens médias geradas usando intervalos de tempo menor dentro de um espaço de tempo maior, as imagens de média móvel geradas para este trabalho são o resultado da média de 16 segundos de captura de imagens dentro de um

espaço de tempo de 10 minutos de captura de imagens por hora. Dois grupos de imagens de média móvel foram geradas por vídeo a fim de gerar uma sobreposição de 50% resultando em um degrau de 8 segundos, este intervalo e sobreposição foram delimitados levando em conta as recomendações de Anderson et al. (2021) de que o intervalo deve ter o dobro do valor do período das ondas dominantes.

Figura 4 -Exemplos dos tratamentos de imagens realizados a) timex e b) imagem de média móvel



Fonte: Elaboração própria (2024)

4.3 GEORRETIFICAÇÃO

Para ser possível extrair dados de distância condizentes com a realidade das imagens coletadas é necessário realizar o procedimento de georreferenciamento conhecido como retificação de imagem. A retificação transforma a imagem original em uma imagem corrigida onde as relações espaciais são mais coerentes com a realidade, corrigindo as distorções causadas originalmente pela câmera (PEREIRA, 2005).

Este procedimento é realizado através de duas operações matemáticas onde as coordenadas bidimensionais da imagem (x, y) são transformadas em coordenadas tridimensionais (x, y, z), essas operações são efetuadas utilizando uma série de 11 coeficientes compostos pelos valores intrínsecos da calibração da câmera assim como a distância de n pontos cujas coordenadas são conhecidas tanto na imagem quanto no mundo real, o valor desses coeficientes será referido neste trabalho como geometria (PEREIRA, 2005).

4.3.1 Calibração

A construção de uma geometria capaz de realizar uma retificação satisfatória requer um georreferenciamento das imagens oblíquas assim como um percepção acurada da distorção da resolução

nas imagens de acordo com a profundidade, esta percepção será referido neste trabalho como calibração da câmera (PEREIRA, 2005).

O procedimento para se obter a calibração da câmera envolve a captura de uma série de fotos, usando a câmera em questão, de uma imagem semelhante a um tabuleiro de xadrez impresso (Figura 5) de dimensões previamente conhecidas, as imagens do tabuleiro precisam ser capturadas em uma série de posições para que seja possível obter os coeficientes de distorção com a profundidade (PEREIRA, 2005).

Figura 5 - Exemplo de imagem utilizada para calibração da câmera.



elaborado por: Pereira (2022)

Após capturadas as fotos elas serão processadas por uma ferramenta (Camera caibrator do toolbox da computer vision) operada por um programa de análises matriciais para obtenção de calibração de dispositivos de captura de imagens, o resultado final será um arquivo.mat contendo os valores intrínsecos de distorção da câmera (DIAS, 2015).

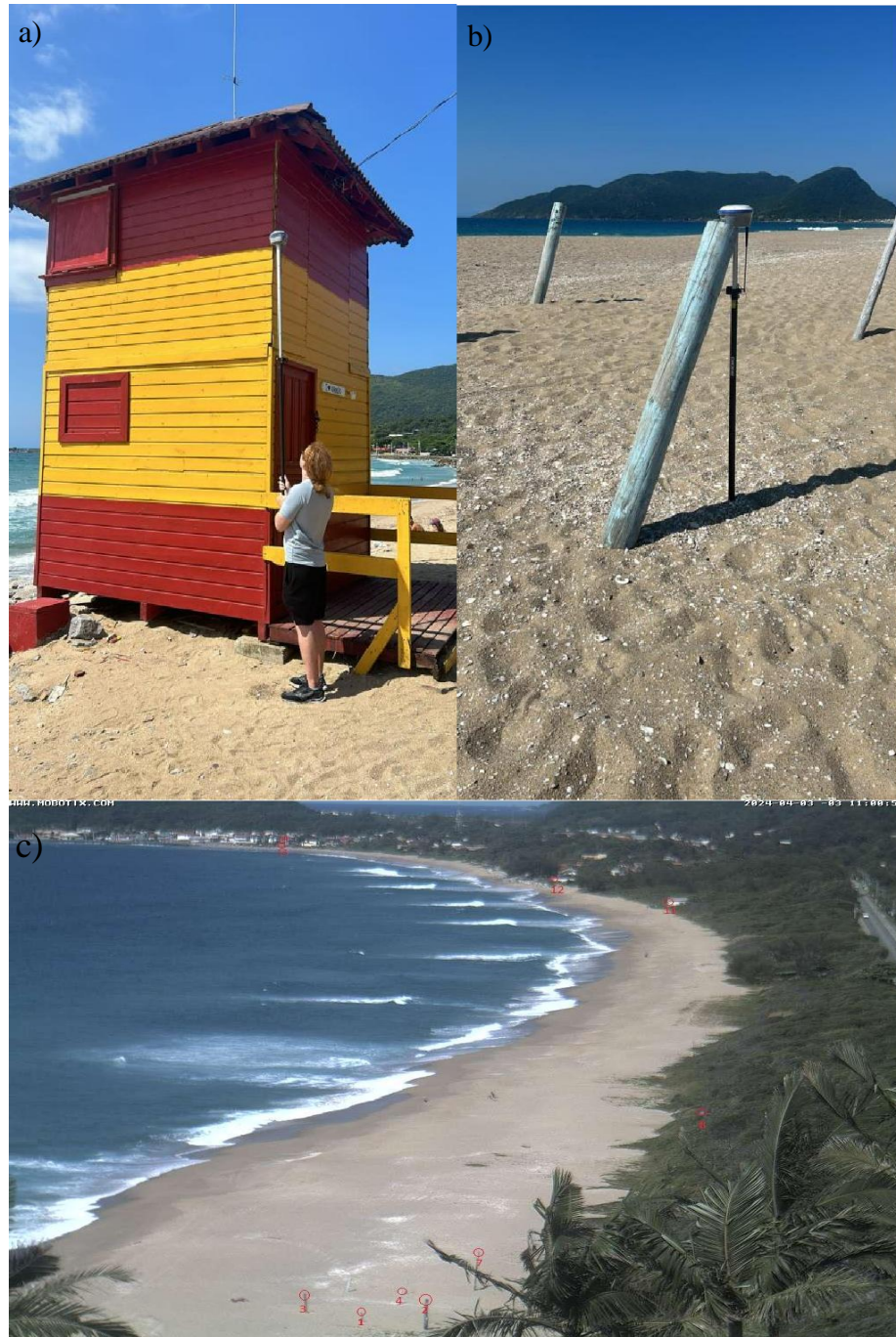
4.3.2 GCPs

O processo para transformar uma imagem oblíqua em uma imagem plana cujas proporções representem a área de estudo real necessita de uma série de pontos de fácil identificação nas imagens e de coordenadas (x,y,z) conhecidas (GCPs). Os GCPs (Figura 6) tem a função de estabelecer a relação entre as coordenadas tridimensionais do mundo real e as coordenadas bidimensionais (u,v) das imagens coletadas.

A coleta de GCPs ocorreu no dia 03 de abril de 2024 Utilizando um GPS RTK modelo i90 da marca CHNAV, composto de duas antenas rastreadoras e uma controladora remota, onde uma das antenas denominada base foi posicionada sob um marco geodésico com coordenadas

conhecidas e a outra unidade foi utilizada para registrar as coordenadas x,y,z de cerca de 17 pontos espalhados ao longo da praia da Armação (Figura 6c) que poderiam ser identificados nas imagens capturadas pela câmera.

Figura 6 - Imagens a) e b) coletas de pontos de GCPs imagem c) localização dos GCPs nas imagens capturadas



Fonte: Elaboração própria (2024)

Os pontos coletados foram planilhados utilizando o programa libre office calc. Posteriormente, a tabela gerada (Tabela 1) foi exportada no formato .xls para ser utilizada no processo de retificação.

Tabela 1 - Coordenadas das GCPs coletadas.

	Northing (N)	Easting (E)	Altura (m)
Ponto 1	745845.34	6930722.79	4.32
Ponto 2	745840.74	6930726.24	6.14
Ponto 3	745849.53	6930718.63	5.28
Ponto 4	745841.26	6930712.10	4.51
Ponto 5	745845.06	6930706.37	4.79
Ponto 6	745840.34	6930706.97	4.70
Ponto 7	745834.24	6930703.44	7.08
Ponto 8	745791.97	6930571.63	6.67
Ponto 9	745728.63	6930235.07	5.17
Ponto 10	745741.83	6930245.32	4.45
Ponto 11	745697.56	6930025.87	5.22
Ponto 12	745655.03	6929717.51	6.97
Ponto 13	745654.89	6929388.41	6.30
Ponto 14	745658.50	6928574.08	7.79
Ponto 15	745729.58	6928395.15	4.08
Ponto 16	745729.61	6928395.12	6.34
Ponto 17	746122.82	6931548.96	7.38

Fonte: Elaboração própria (2024).

4.3.3 Geração de retificação

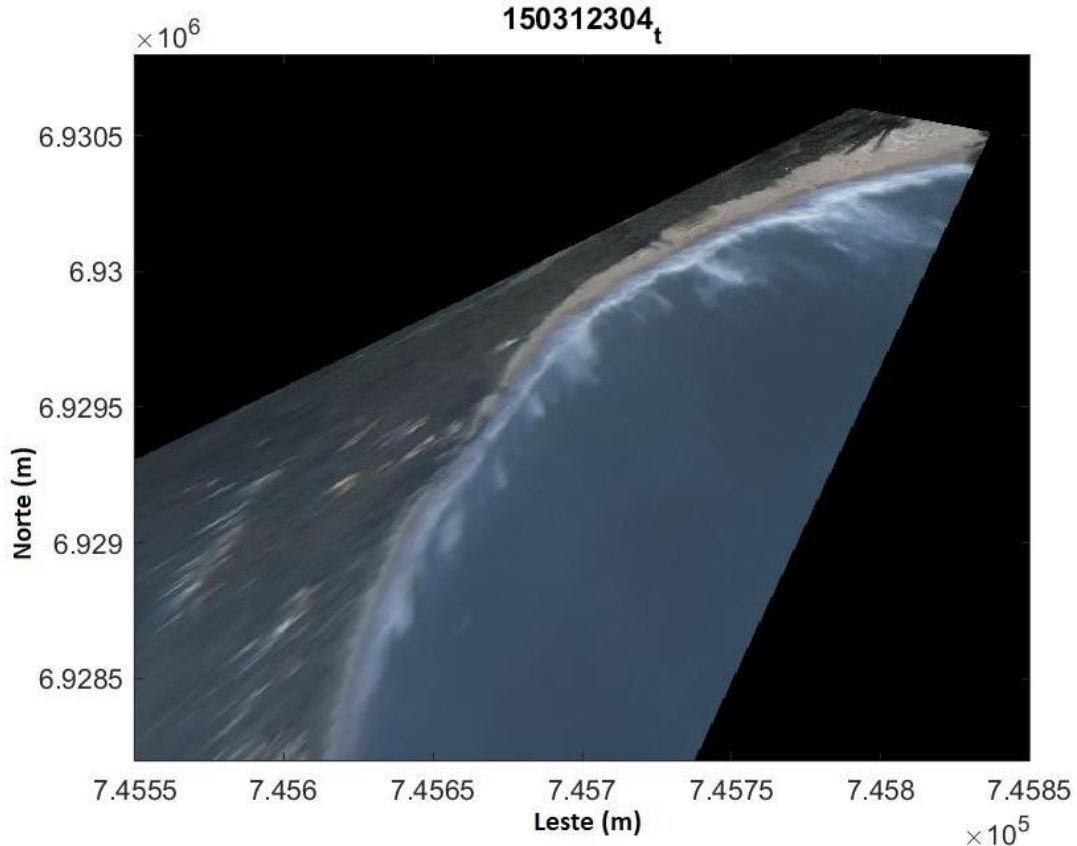
Para obter uma geometria de retificação utilizamos uma GUI (*Graphical User Interface* ou interface gráfica de usuário em inglês) desenvolvida pelo pesquisador Michaelis Vousdoukas para o sistema Orasis (VOUSDOUKAS, 2013).

- Para gerar a geometria é necessário fornecer os seguintes dados de entrada:
- Imagem capturada pela câmera, na qual os GCPs serão identificadas
- Data da captura da imagem
- Limites de retificação
- Dados de calibração da câmera
- Coordenadas das GCPs

Após a inserção dos dados necessários para geração da geometria na GUI e

identificação das GCPs em uma imagem capturada pela câmera na posição desejada a GUI gerou uma imagem retificada, além de parâmetros de geometria para uma retificação em larga escala, esta ferramenta também nos possibilitou selecionar pontos a fim de obter uma geometria mais precisa (Figura 7).

Figura 7- Exemplo de imagem retificada



Fonte: Elaboração própria (2024)

Após obter uma geometria satisfatória, utilizamos um script do sistema Orasis para retificar imagens em larga escala, além de parâmetros de geometria (VOUSDOUKAS, 2013). O funcionamento deste script necessita que todas as imagens a serem retificadas estejam nomeadas de acordo com um determinado padrão yyyyymmdd--hh (ano, dia, mes, hora), para tanto, outro script foi elaborado a fim de renomear as imagens a fim de torna-las compatíveis com o script de retificação em larga escala.

Após a renomeação das imagens resultantes dos tratamentos de imagens timex e de médias móveis foram retificadas, além delas um número de imagens de brilho máximo também foram retificadas a fim de se obter uma melhor visualização e identificação de certas morfologias.

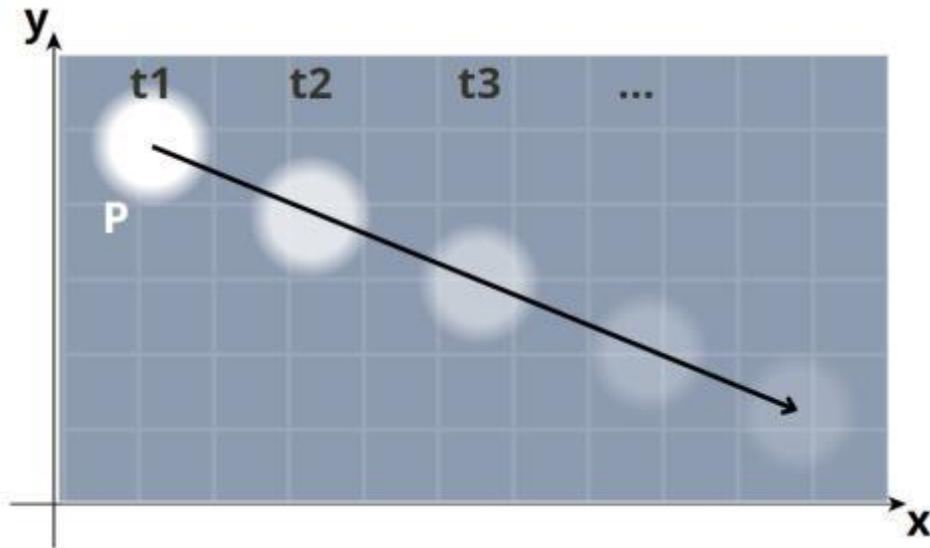
4.4 ANÁLISE POR VELOCIMETRIA DE IMAGEAMENTO DE PARTÍCULA

Para identificar e quantificar os sistemas de circulação secundária, em especial a

vorticidade, utilizamos o método de velocimetria por imageamento de partícula, também conhecido como PIV.

O método PIV calcula o campo de velocidade em fluidos através da descrição do deslocamento médio de partículas inseridas nesse líquido. Partículas, neste caso pixels de tom mais claro oriundo da espuma das ondas e da espuma residual, são identificadas ao longo de uma série de imagens provenientes de um vídeo cujo intervalo de tempo é conhecido, definido como t_1 , t_2 , t_3 na Figura 8, o deslocamento desses pixels juntamente com o intervalo de tempo entre as imagens foi usado para gerar um campo de vetores de, descrevendo a circulação na região de interesse.

Figura 8 - Ilustração da geração de campo de vetores pelo método PIV.



Fonte: Adaptado de FREIRE (2022)

A ferramenta utilizada para a análise PIV é um repositório de rotinas operado por uma GUI executada em um *software* de análise matricial, tanto o repositório como a GUI estão disponíveis gratuitamente na internet.

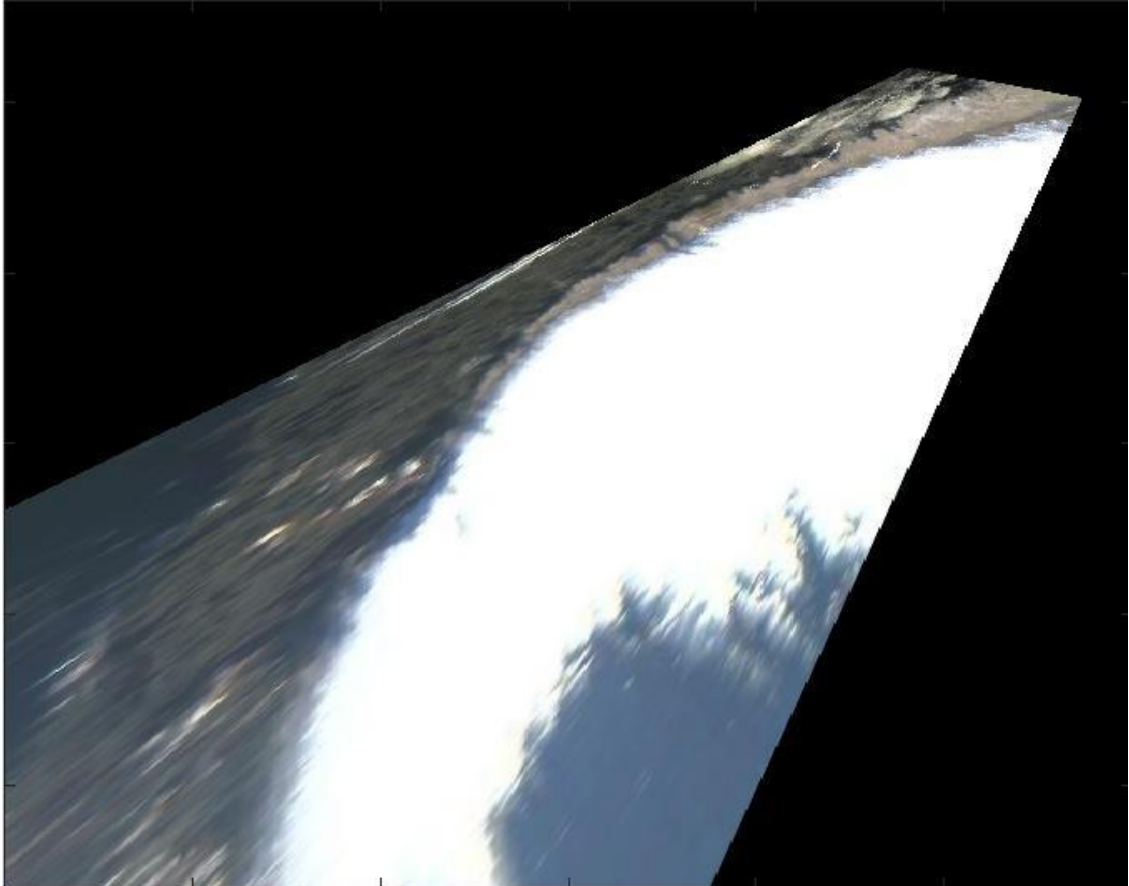
Após a retificação, as imagens de média móvel estão prontas para serem processadas pela ferramenta PIV, a ferramenta PIV utilizada já foi demonstrada como capaz de processar altas quantidades de dados geofísicos previamente (BÖHM et al., 2015).

4.4.1 Pré-processamento

Antes de realizar a análise, foi necessário definir uma Região de Interesse (ROI - Region of Interest), onde foi calculada a velocimetria das partículas. Para isso, foi escolhida, entre as imagens de brilho máximo, a que apresentava a maior extensão de movimento das partículas, ou seja, a imagem onde a espuma branca cobria a maior área. Esta imagem (Figura

9) foi utilizada para determinar a área da região de estudo que será analisada pela ferramenta PIV. Uma máscara foi delimitada ao redor da área da imagem onde a coloração branca estava presente. Esse procedimento é essencial para selecionar a área na imagem com circulação capaz de ser detectada pela análise PIV.

Figura 9 - Imagem de brilho máximo retificada usada como base para geração de máscara



Fonte: Elaboração própria (2024)

Após a criação de uma máscara, que abranja a área onde há movimentos visíveis nas imagens retificadas, a mesma é aplicada para todo o conjunto de imagens de média móvel.

Antes de processar as imagens é necessário definir uma série de parâmetros de análise, eles são: o algoritmo de correlação, a área de interrogação e o passo, o algoritmo de correlação escolhido foi o FFT por ser o indicado pelo desenvolvedor do repositório PIV como o mais eficiente para este tipo de análise (THIELICKE et al., 2021).

O tamanho da janela determina a resolução de vetores e a razão sinal/ruído, quanto maior a área de interrogação menor será a proporção de ruído para sinal e menor será a resolução de vetores detectados pela análise, para esta análise foi escolhida uma área de interrogação de 128 pixels, levando em conta o tamanho da imagem.

O step determina a distância que a janela irá se mover de uma foto para outra, para esta análise usamos um step de 32 a fim de obter uma sobreposição de 50% na nossa análise.

4.4.2 Processamento

Após definida uma máscara e definidos os pontos de interesse é possível realizar a análise PIV para toda uma sequência de imagens de média móvel. Considerando a grande quantidade de dados utilizamos apenas cinco sequências de imagens por dia, utilizando as sequências de imagens resultantes de vídeos gravados nas horas 08, 10, 12, 14 e 16 considerando que cada vídeo resulta em cerca de 82 imagens de média móvel e que nosso espaço de tempo é de 5 dias (25 a 29 de maio) isso resulta em um volume total de imagens a serem analisadas de $5 \times 5 \times 82 = 2.050$ imagens.

O produto da análise PIV será um campo de vetores para cada uma das 82 imagens analisadas. Para se obter um dado de velocidade condizente com a realidade é necessário realizar uma calibração onde a distância em pixels da imagem é igualada a distância real da área de estudo em milímetros e ao espaço de tempo entre cada imagem em milissegundos, após realizada a calibração, é possível obter um gradiente de magnitude de velocidade e de vorticidade em uma escala real (Figura 10).

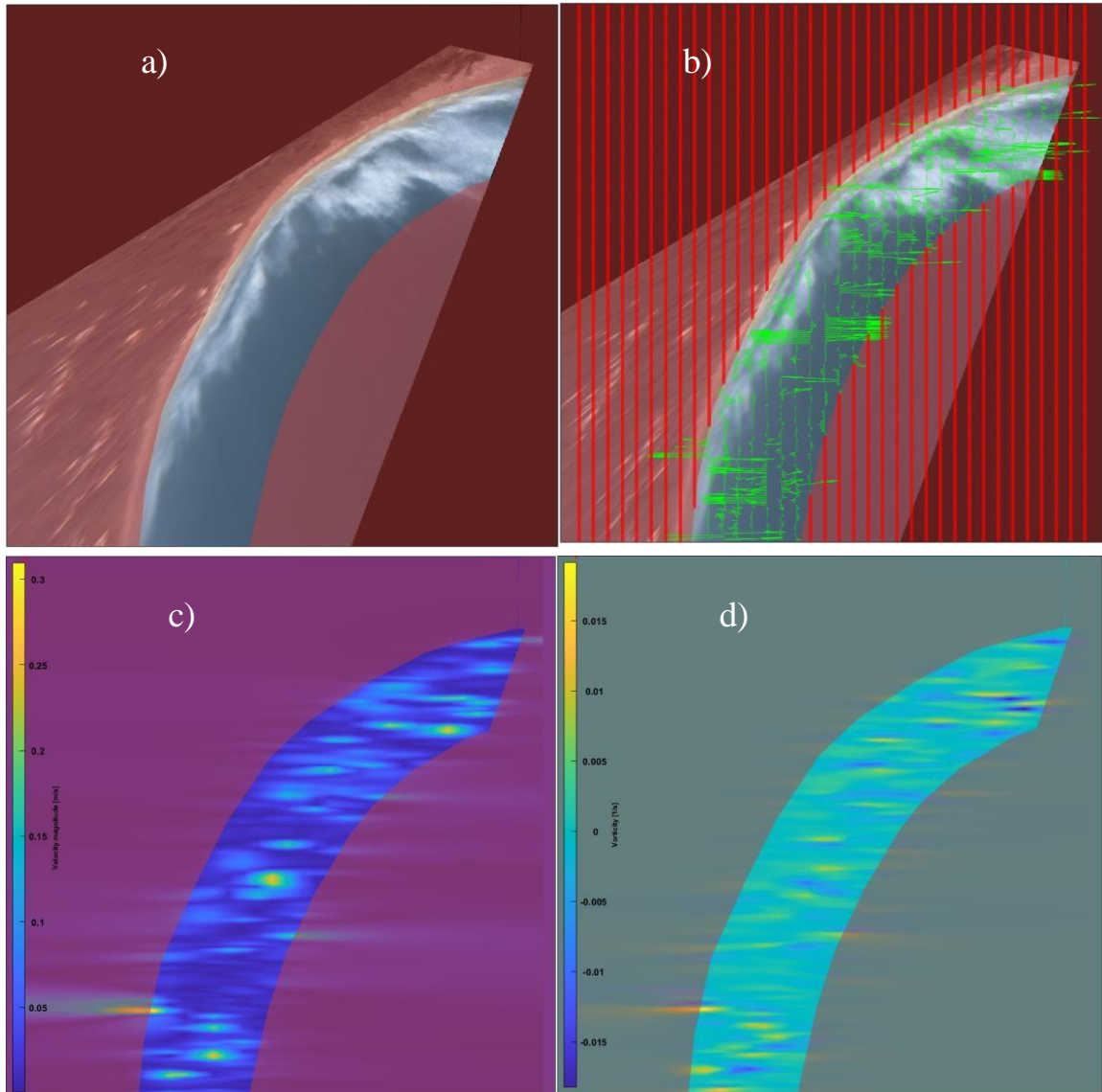
Também se torna possível gerar um campo de vetores médios de toda a sequência de imagens, além de gradientes de magnitude de velocidade e vorticidade que equivalem a média de toda a sequência de imagens. É possível extrair uma série de estatísticas desses campos de vetores médios: a distribuição das diferentes velocidades de circulação, a distribuição do campo de vetores (u e v) e o valor da vorticidade ao longo da zona de interesse.

O gradiente de velocidade é calculado derivando as taxas de variação das componentes u/v do campo de vetores nas direções horizontal (x) e vertical (y) de acordo com as seguintes derivadas parciais: $\frac{\partial u}{\partial x}$, $\frac{\partial u}{\partial y}$ para calcular a variação da componente u e $\frac{\partial v}{\partial x}$, $\frac{\partial v}{\partial y}$ para a componente v, os resultados dessas duas operações são utilizados para gerar uma imagem que representa variação de velocidade na área de estudo (Figura 10c), permitindo uma análise mais detalhada do comportamento da circulação.

O gradiente de vorticidade é obtido a partir da variação espacial da vorticidade no campo de velocidade. Inicialmente, a vorticidade (ω) é calculada como o rotacional do campo de velocidade bidimensional, que é dado pela subtração das derivadas parciais da componente v na direção x e da componente u na direção y: $\omega = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$. Para calcular o gradiente de vorticidade, é necessário derivar a vorticidade em relação às coordenadas espaciais, resultando em: $\nabla \omega = (\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y})$. O cálculo do gradiente de vorticidade a partir dos campos de velocidade

obtidos pelo método PIV é usado para gerar uma imagem que representa a variação da vorticidade do fluido em todo o campo de estudo (Figura 10d).

Figura 10 - Diferentes estágios de análise por PIV: a) Imagem de média móvel sobre o efeito da máscara (ROI); b) Imagem pós processada demonstrando o campo vetorial da área de estudo; c) Gradiente de magnitude de velocidade; d) Gradiente de vorticidade



Fonte: Elaboração própria (2024)

4.5 ANÁLISE DE DADOS DE ONDAS

Para determinar um intervalo de tempo onde a análise por velocimetria por imagem de partícula seria capaz de fornecer dados úteis para a investigação de sistemas de circulação secundária foi realizada uma análise de dados de ondas. Esta análise, teve como objetivo identificar um período de alta oscilação na energia de ondas, para uma observação mais detalhada foi determinado que este intervalo de tempo tenha duração de no máximo uma semana.

Para análise dos dados ondas utilizamos a plataforma de reanálise ERA5 que, por sua vez, é um banco de dados do projeto de reanálise meteorológica do centro Europeu de previsões meteorológicas de médio prazo (ECMWF) (GONÇALVES et al., 2021). O ERA5 incorpora dados meteorológicos de diversas fontes, observações in situ, imageamento por satélite, entre outros em modelos numéricos capazes de simular as condições de onda do oceano em uma data específica. No presente estudo, os dados analisados foram de altura significativa de ondas, período médio e direção de 16 de março até 31 de outubro

A análise dos dados de ondas revelou um período de alta oscilação de altura, direção e período do regime de ondas durante o final do mês de maio.

As imagens de média móvel produzidas usando como base os quadros provenientes dos vídeos coletados durante os dias 25 e 29 de maio foram selecionadas para análise PIV e as imagens timex provenientes deste período foram selecionadas para uma análise comparativa com os dados de velocimetria.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

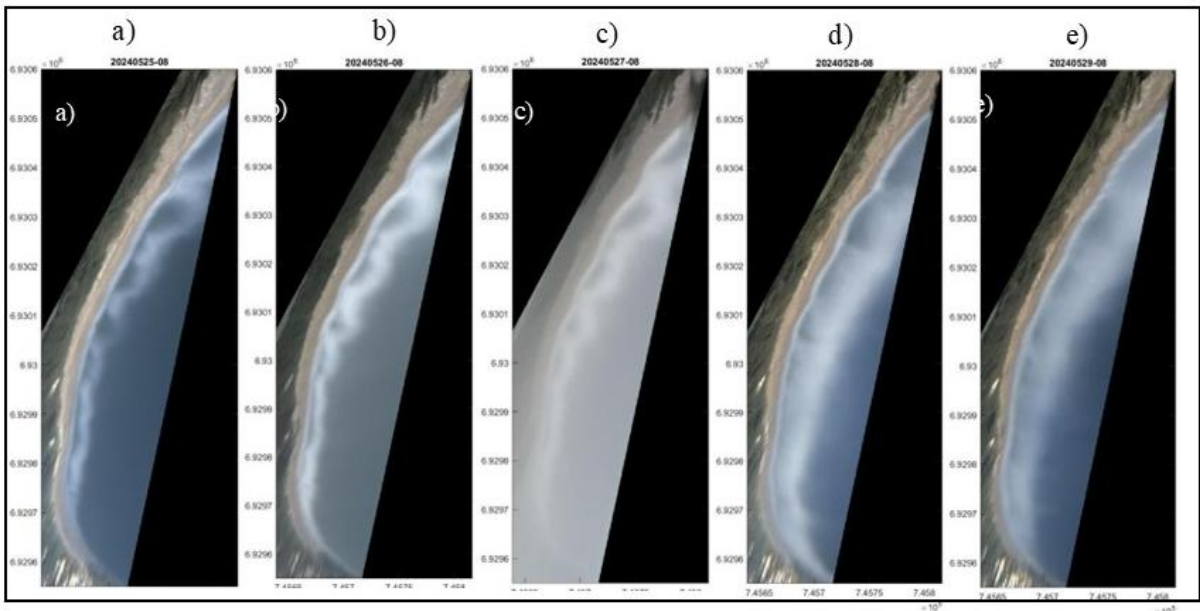
5.1 MORFOLOGIA

Nas imagens timex e de média móvel de cada vídeo de dez minutos é possível observar uma série de feições morfológicas, muitas vezes distintas entre cada período de observação (Figura 11), que podem ser utilizadas para classificar a morfodinâmica praial de forma indireta.

Essas feições são observáveis graças ao contraste de cores causado pela espuma gerada primariamente pela quebra das ondas (circulação primária). Essas feições nos permitem estipular o nível de energia dessa praia e classificá-la conforme seu estágio morfodinâmico (ALMEIDA, 2024) dissipativo, intermediário e reflexivo. A posição dessas feições relativa a linha de praia nos permite identificar a zona de arrebentação da praia naquele momento, considerando que a zona de arrebentação é condicional a interação das ondas com o leito marinho é possível inferir a respeito da declividade do fundo marinho com esses dados.

A posição e a forma das feições identificadas também nos permitem categorizar a área de estudo dentro da classificação intermediária de acordo com a posição e morfologia de feições como cava e correntes de retorno.

Figura 11- Exemplos de imagens timex da área de estudo em diversos momentos: a) 25/05/2024 08:00; b) 26/05/2024 08:00; c) 27/05/2024 08:00; d) 28/05/2024 08:00; e) 29/05/2024 08:00

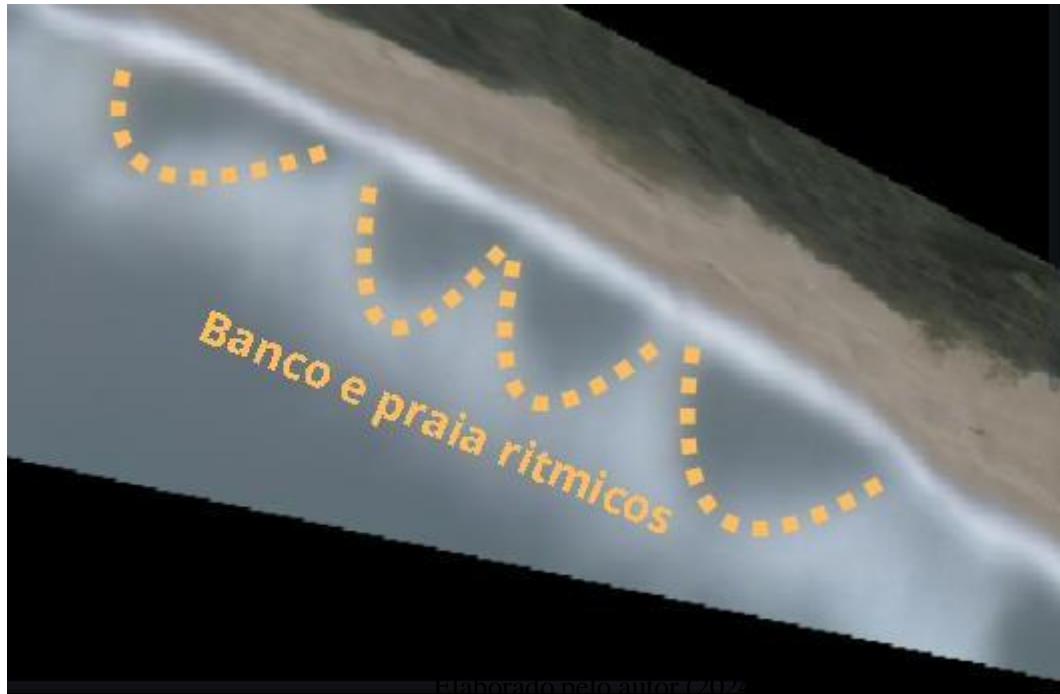


Fonte: Elaboração própria (2024)

É possível observar a presença de bancos de areia e correntes de retorno em um padrão rítmico paralelo à praia, essas morfologias evidenciadas pela coloração mais clara da espuma das ondas juntamente com a presença de cúspides na face de praia nos ajudam a inferir sobre o estágio morfodinâmico de acordo com a categorização proposta por Short e Aagaard (1993) da praia da Armação como intermediária de Banco e Praia e

Rítmicos (Figura 12). Durante o espaço de tempo observado é possível observar um aumento ou diminuição na energia de onda, o estágio praial no entanto, permanece rítmico.

Figura 12 - Imagem timex de 24/03/2024 com ilustração indicando a morfologia praial

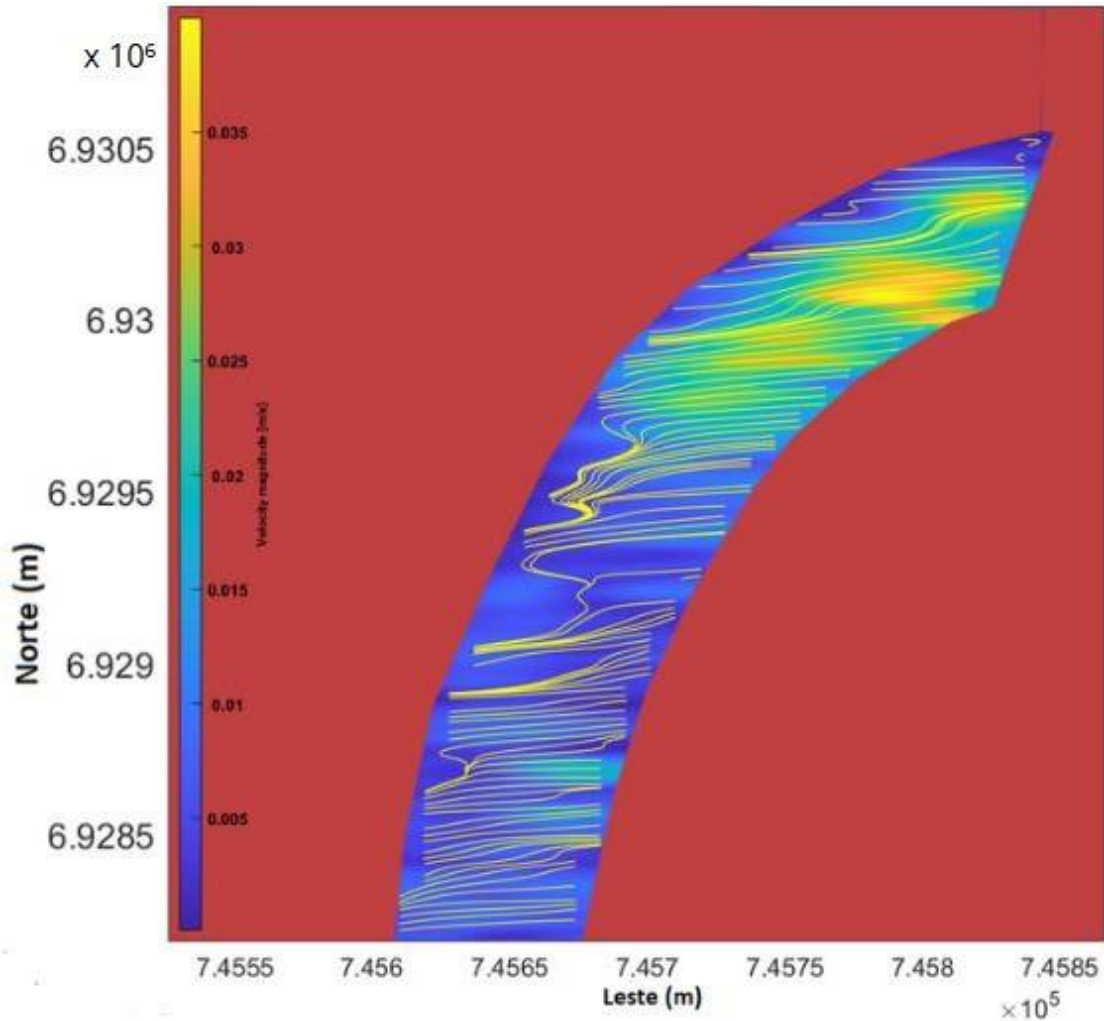


Fonte: Elaboração própria (2024)

5.2 CONFIGURAÇÕES DE FLUXO

A investigação PIV nos permite mapear a magnitude de velocidade ao longo da área de estudo assim como criar linhas de fluxo (Figura 13) ilustrando a circulação costeira ao longo da praia da Armação, demais horários para cada dia podem ser encontrados no apêndice B, página 45.

Figura 13 - Linhas de fluxo no dia 25/05/2024

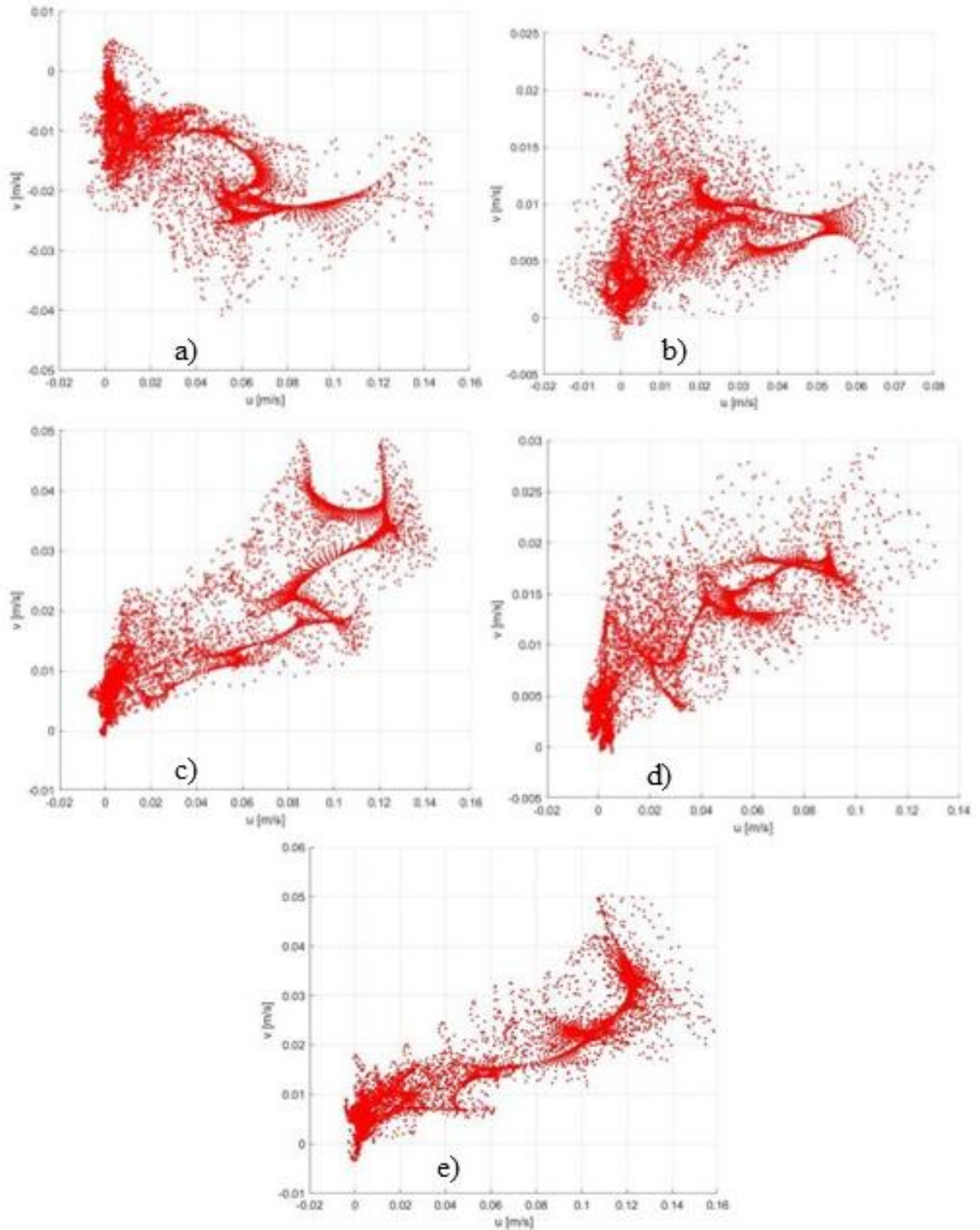


Fonte: Elaboração própria (2024)

As linhas de fluxo indicam uma circulação predominantemente na direção transversal à costa. A análise por PIV também corrobora essa orientação (NEOPHYTOU et al., 2014), evidenciando principalmente um movimento perpendicular à costa.

É possível observar um padrão entre a distribuição de vetores de velocidade em um eixo horizontal e vertical e a altura de ondas durante o período de estudo (figura 14), quando há um aumento na altura de ondas é possível observar um padrão de circulação que se afasta da costa, a repetição desse padrão pode ser observada nos gráficos de dispersão dos outros dias avaliados presentes no apêndice A, página 44.

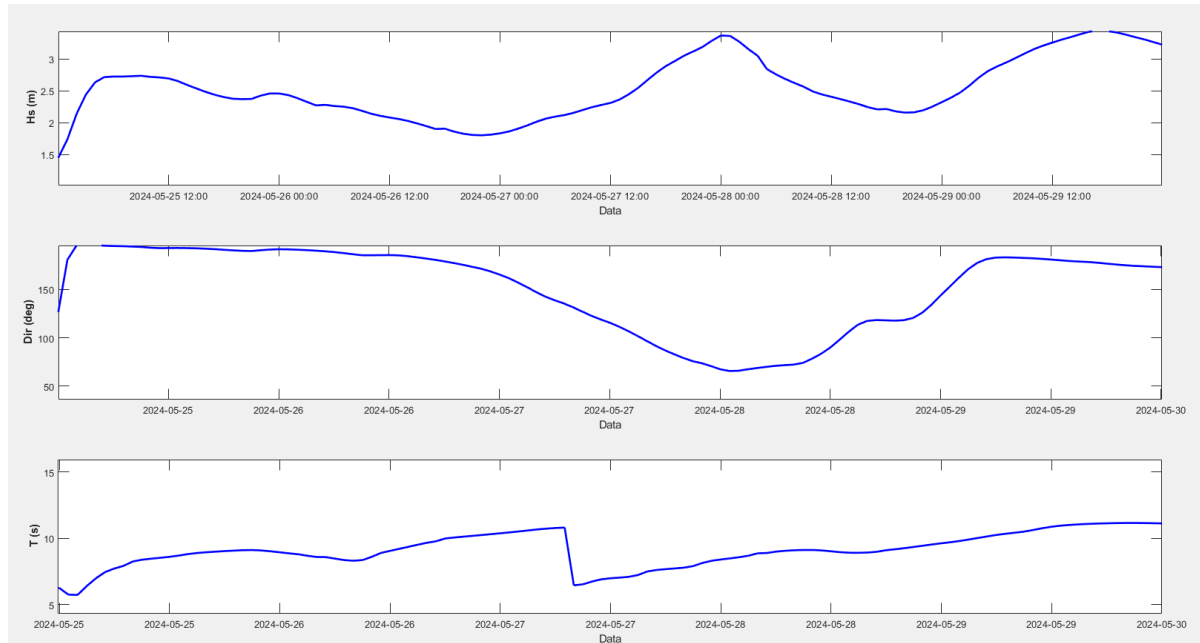
Figura 14 - Distribuição de vetores de velocidade pela área de estudo durante: a) 25/05 08:00; b) 26/05 08:00; c) 27/05 08:00; d) 28/05 08:00; e) 29/05 08:00



Fonte: Elaboração própria (2024)

Essa observação a respeito do padrão de circulação é corroborada pelos dados do regime de ondas durante o intervalo de tempo investigado (Figura 15).

Figura 15 - Gráfico de altura, direção e período de onda durante o dia 26/05/2024

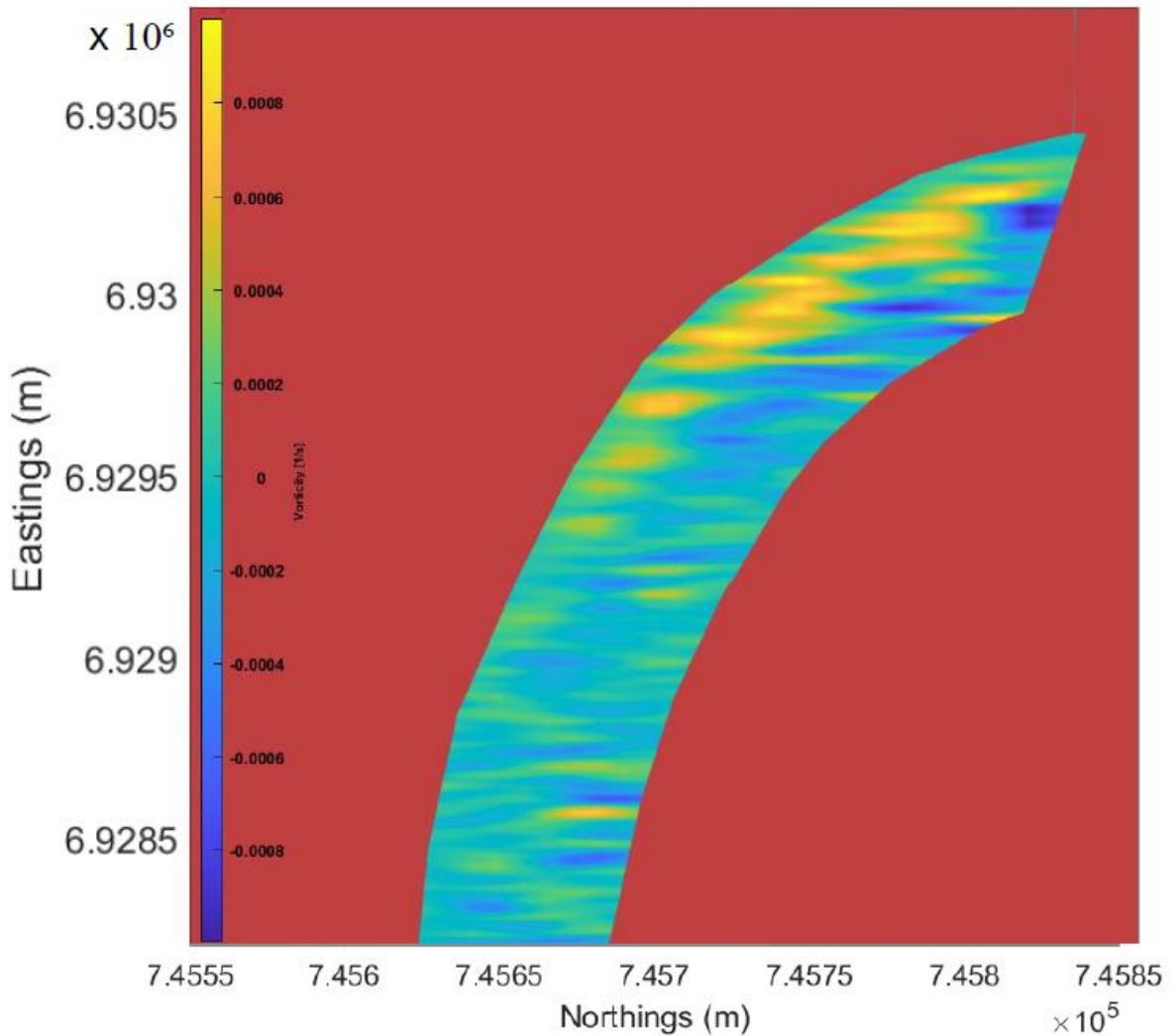


Fonte: Elaboração própria (2024)

5.3 VORTICIDADE

A análise PIV revelou que a vorticidade na praia da Armação é primariamente negativa ou seja vórtices que giram no sentido horário (Figura 16) demais figuras que corroboram essa interpretação podem ser encontradas no apêndice C, página 46.

Figura 16 - Gradiente de vorticidade na praia da Armação durante o dia 25/05 às 08:00



Fonte: Elaboração própria (2024)

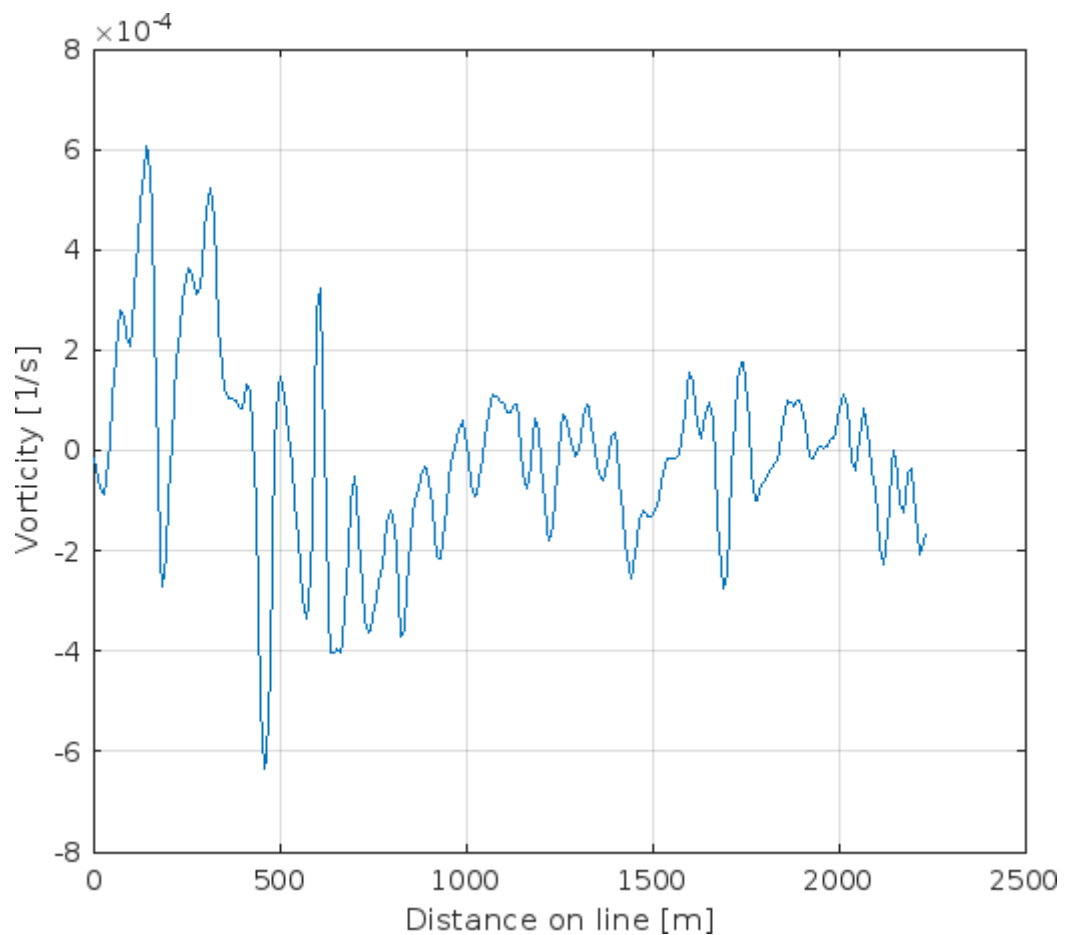
A vorticidade em sistemas praias pode ser interpretada como resultado da interação entre o regime de ondas e a morfologia da praia em questão (PADOVA et al., 2019). No modelo proposto por Padova, a vorticidade emerge da transferência de energia cinética da quebra de ondas para o fluido adjacente. Esse processo é influenciado pelo afunilamento e pela arrebenção das ondas, que dependem diretamente da interação com o fundo.

O regime de arrebenção de ondas pode ser categorizado em duas classes: derramamento e mergulho (WANG et al., 2003) esses regimes são determinados pela interação

das ondas com o fundo costeiro e por sua vez determinam a transferência de energia cinética para o fluido adjacente que gerará a vorticidade. Praias intermediárias tendem a ter um regime de arrebentação misto, com regimes de mergulho dominantes em zonas de bancos de areia e regimes de spilling sobre cavas, a geração de vorticidade tende a ser mais acentuada em praias que apresentam uma dominância do regime de arrebentação do tipo plunging.

Observa-se um aumento na quantidade de vorticidade na porção norte da praia em comparação à porção sul (Figura 17). Ao analisar os dados de vorticidade dos outros dias, é possível perceber que essa concentração de vorticidade na porção norte se repete consistentemente.

Figura 17- Gráfico descrevendo a vorticidade ao longo da zona de interesse no sentido norte sul dia 25/05/2024 08:00

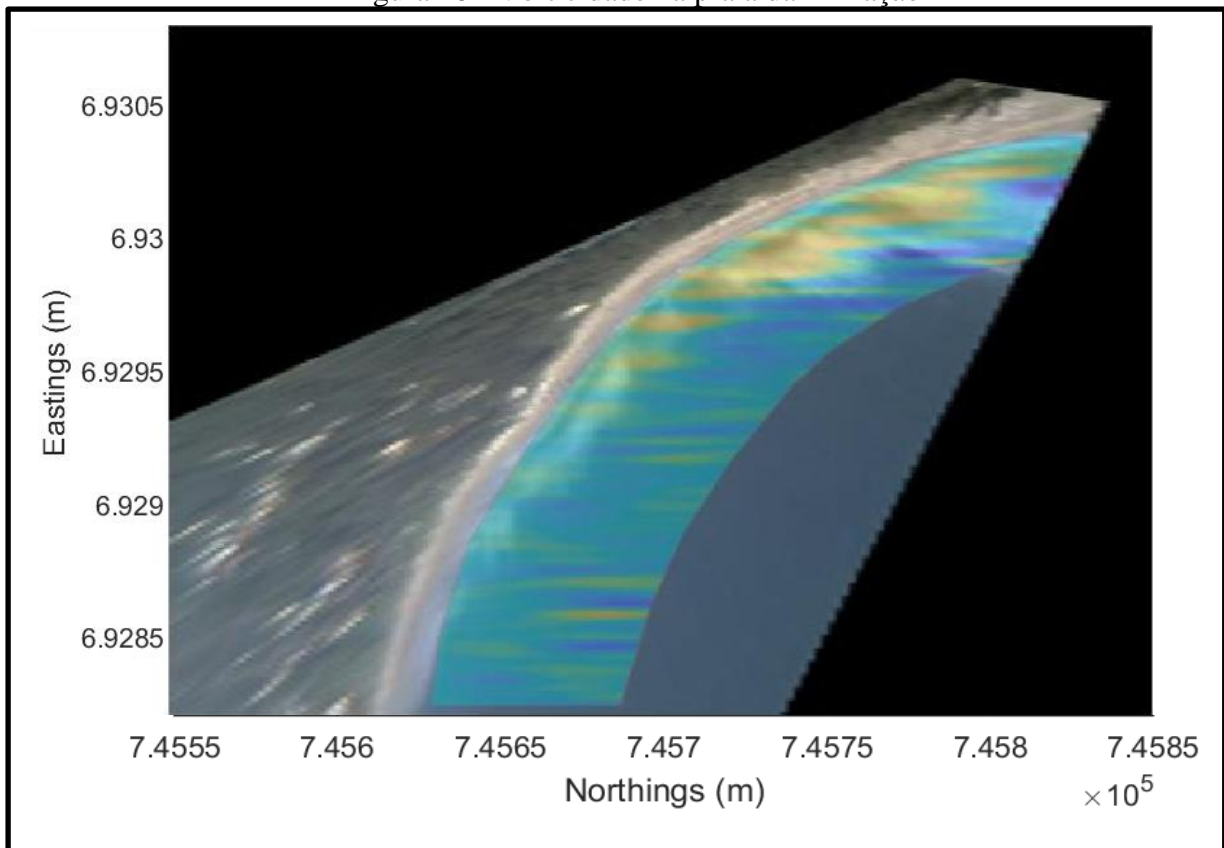


Fonte: Elaboração própria (2024)

Observando a imagem (Figura 18) é possível observar um aumento na vorticidade, denotado pela presença da cor amarela na porção norte da praia, este mesmo local possui

uma alta concentração de bancos de areia (DALBOSCO et al., 2013), o aumento da vorticidade em um local com alta presença de bancos de areia, pode ser explicado pela presença de um regime de arrebenção do tipo de mergulho corroborando os modelos propostos por Wang et al. (2002).

Figura 18 - Vorticidade na praia da Armação



Fonte: Elaboração própria (2024)

6 CONCLUSÃO

O objetivo deste estudo foi avaliar a viabilidade de métodos de imageamento remoto na investigação dos sistemas de circulação secundária, com ênfase em um de seus fenômenos menos explorados: a vorticidade.

A coleta e o tratamento de imagens possibilitaram a caracterização morfológica da praia da Armação com base em seu estado praiial, bem como a identificação de uma série de estruturas relevantes ao perfil costeiro. A análise de Velocidade por Imagem de Partículas (PIV) forneceu uma compreensão detalhada da circulação costeira da área de estudo.

A comparação dos dados de vorticidade obtidos por meio da análise PIV com os dados de ondas modelados provenientes do banco de dados ERA5, juntamente com as características morfológicas da praia, permitiu corroborar a vorticidade como resultante da interação entre o regime de ondas e a morfologia praiial.

Complementarmente, este trabalho buscou estabelecer uma correlação entre a circulação costeira e parâmetros como altura, direção e período das ondas na praia da Armação. Foi possível identificar padrões na distribuição direcional e no sentido dos vetores de velocidade associados ao regime de ondas da região, com destaque para a influência da altura das ondas.

A interação do regime de ondas com a morfologia praiial, especialmente com determinadas feições do fundo costeiro determina os padrões de vorticidade em uma área específica. O imageamento remoto demonstrou ser uma ferramenta viável para o estudo da vorticidade costeira; no entanto, investigações futuras são necessárias para delimitar melhor as potencialidades e limitações dessa abordagem no contexto da oceanografia costeira.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, H. R. R. C. Classificação morfodinâmica das praias arenosas de Ipojuca (Pernambuco, Brasil) através da análise semântica de imagens de satélite pancromáticas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 2024, Brasil. **Anais [...]**. Recife: Editora Realize, 2024.
- ANDERSON, D. et al. Quantifying Optically Derived Two-Dimensional Wave-Averaged Currents in the Surf Zone. **Remote Sens.** v 13, n. 4, p. 690, 2021.
- BÖHM, M. et al. A PIV-Guided Large-Eddy Simulation of In-Cylinder Flows. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PARTICLE IMAGE VELOCIMETRY, 11., 2015, Santa Barbara. **Proceedings [...]**. Santa Barbara: ISPIV, 2015.
- CASTILHOS, J. A. **Estudo evolutivo, sedimentológico e morfodinâmico da planície costeira e praia da Armação - Ilha de Santa Catarina, SC.** 1995. 120 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.
- DALBOSCO, A. L. P. **Análise histórica da linha de costa e dos padrões hidrodinâmicos e de transporte de sedimentos da Praia da Armação, Ilha de Santa Catarina - SC.** 2013. 120 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.
- DIAS, L. V. A. **Estudo e análise de diferentes métodos de calibração de câmeras.** 2015. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência da Computação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa.
- FREIRE, G. **Análise da Circulação Costeira Utilizando Imageamento Através de Celular.** 2022. 54 f, Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia) - Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- GONÇALVES, A. et al. Wind Energy Assessment in Southwestern Europe in December months 2017 to 2020, **EGU General Assembly 2021**, online, 2021. Trabalho apresentado no EGU21-15368, 2021.
- HARMAN, J. R. Vorticidade e Dinâmica de Correntes na Zona de Rebentação: Uma Análise Numérica. **J. Coast. Res.**, v. 3, n. 2, p. 123-135, 1987.
- HOLMAN, R. A.; STANLEY, J. The history and technical capabilities of Argus. **Coast. Eng.**, v. 54, n. 6-7, p. 477-491, 2007.
- JOHNSON, D. R.; SNOOK, J. S. Análise da Vorticidade Relativa em Distúrbios Ondulatórios de Leste sobre o Nordeste do Brasil. **Rev. Bras. Meteorol.**, v. 27, n. 2, p. 123-135, 2012.
- KLEIN, A. H. F. et al. Granulometria das Praias Arenosas da Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. **R. Bras. Geogr.**, v. 36, n. 2, p. 1-14, 2006.
- MASSELINK, G.; GEHRELS, R. **Coastal Environments and Global Change.** 1ª ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2015. 438 p.

MUEHE, D. Geomorfologia costeira. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. p. 253-308.

NEOPHYTOU, M. K.-A.; MARKIDES, C. N.; FOKAIDES, P. A. An experimental study of the flow through and over two-dimensional rectangular roughness elements: Deductions for urban boundary layer parameterizations and exchange processes. **Phys. Fluids.**, v. 26, n. 8, p. 086603, 20 ago. 2014

OLIVEIRA, U. R. **Relações entre a morfodinâmica e a utilização em trechos da costa oceânica da Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil**. 2009. 102 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

PADOVA, A.; ROSSI, L.; BORTOLUZZI, G. Vorticidade e Dinâmica de Correntes na Zona de Rebentação: Uma Análise Numérica. **Rev. Bras. Eng. Costeira**, v. 45, n. 2, p. 123-135, 2019.

PAZINI, K. C. **Caracterização do risco costeiro aos impactos induzidos por marés de tempestade na costa central de Santa Catarina**. 2021. 91 p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

PEREGRINE, D. H.; BOKHOVE, O. Vorticity and Surf Zone Currents. **Coast. Eng.** v. 1, n. 26, p. 745-758, 1998.

PESSOA, Fernando. O guardador de rebanhos. In: **Poesia completa de Alberto Caiero**. São Paulo: Companhia das Letras, 2016.

PEREIRA, P. S. **Variabilidade da orla oceânica do Rio Grande do Sul e suas implicações na elaboração de planos de contingência: aspectos morfodinâmicos, sedimentológicos e geomorfológicos**. 2005. 161 p. Dissertação (Mestrado em Oceanologia) – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2005.

SHORT, A. D., AAGAARD, T. Single and multi-bar beach change models. **J. Coast. Res.**, n. 15, p. 141-157, 1993.

SHORT, A. D.; WOODROFFE, C. D. **The coast of Australia**. Cambridge: Cambridge University Press, 1999. 302 p.

SILVA, R. C. Nós vamos invadir sua praia: sobre a relação entre urbanização, turismo e erosão costeira no Brasil. **Braz. J. Dev.**, v. 8, n. 12, p. 34, 2022.

SOUTHWICK, F. S. et al. Investigating wave-induced sediment transport and its implications for coastal morphology. **J. Phys. Oceanogr.**, v. 47, n. 1, p. 229-247, 2017.

THIELICKE, W.; SONNTAG, R.. Particle Image Velocimetry for MATLAB: Accuracy and enhanced algorithms in PIVlab. **J. Open Res. Softw.**, v. 9, n. 1, p. 12, 2021.

VOUSDOUKAS, M. I. et al. Evaluation of coastal erosion and flooding in the Mediterranean

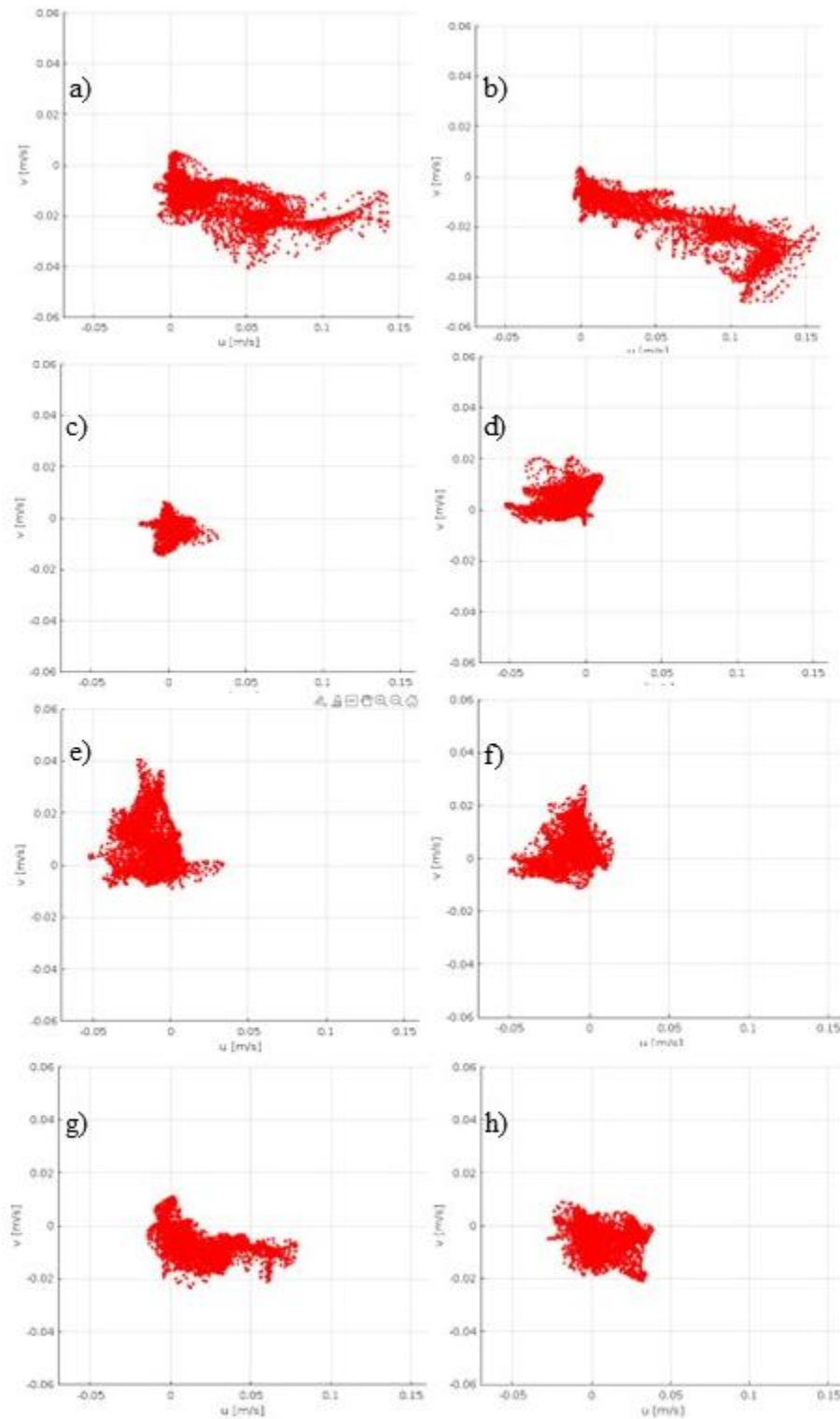
and the Black Sea: The use of numerical models for coastal management. **Nat. Hazards Earth Syst. Sci.**, v. 9, p. 1901-1913, 2009.

VOUSDOUKAS, M. I. ORASIS – a coastal video monitoring platform. In: EGU GENERAL ASSEMBLY, 2013, Viena. **Proceedings [...]**. Viena: EGU, 2013.

WANG, L. et al. Structure and propagation of wave-driven currents over a barred beach. **J. Geophys. Res.**, v. 107, n. C10, p. 3131, 2002.

APÊNDICE A - Gráficos de dispersão dos horários

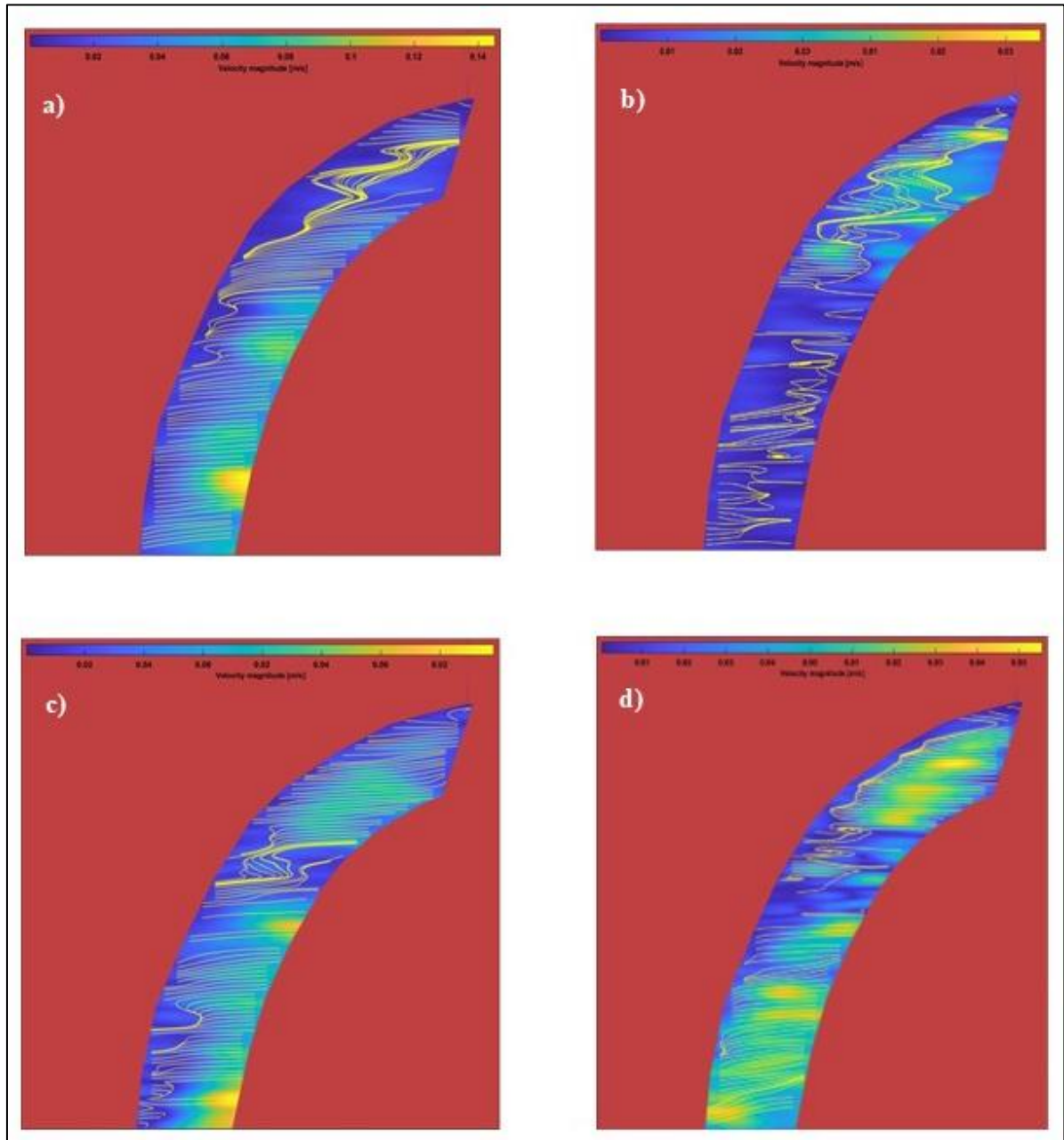
Figura 19 - Gráficos de dispersão dos horários em diferentes dias e turnos: a) 26/05 08:00; b) 26/05 16:00; c) 27/05 08:00; d) 27/05 16:00; e) 28/05 08:00; f) 28/05 16:00; g) 29/05 08:00; h) 29/05 16:00



Fonte: Elaboração própria (2024)

APÊNDICE B - Linhas de fluxo na área de estudo (horário fixo)

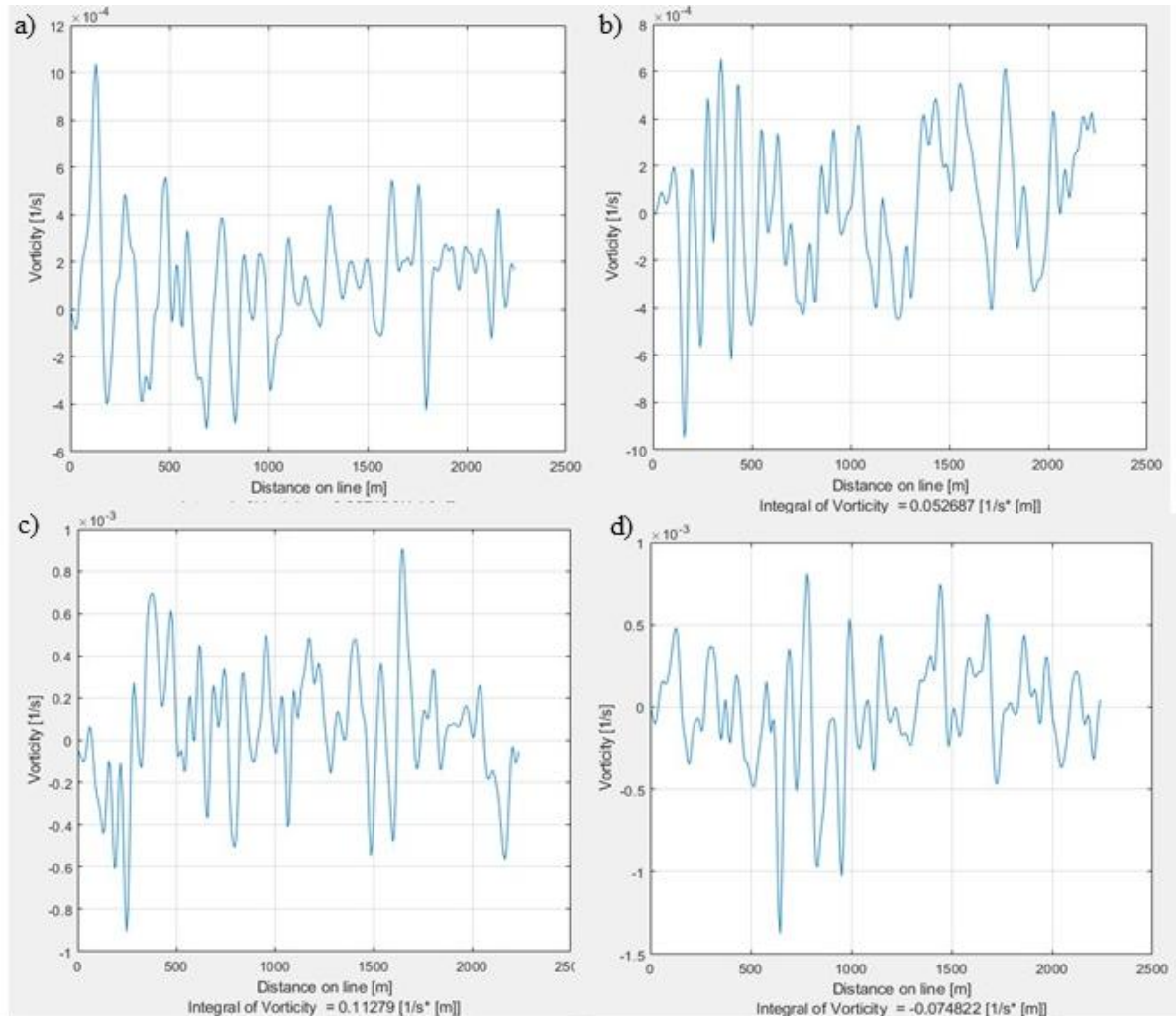
Figura 20 - Distribuição das linhas de fluxo ao longo da área de estudo às 08:00 nos dias: a) 26/05; b) 27/05; c) 28/05; d) 29/05



Fonte: Elaboração própria (2024)

APÊNDICE C - Vorticidade na região costeira

Figura 21 - Gráficos de vorticidade ao longo da costa da área de estudo: a) vorticidade as 10:00 dia 26/05/2024; b) vorticidade as 12:00 dia 27/05/2024; c) vorticidade as 14:00 dia 28/05/2024; d) vorticidade as 16:00 dia 29/05/2024



Fonte: Elaboração própria (2024)