



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

GABRIELA FIGUEIREDO FREIRE

Análise da Circulação Costeira Utilizando Imageamento Através de Celular

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Florianópolis

2022

GABRIELA FIGUEIREDO FREIRE

Análise da Circulação Costeira Utilizando Imageamento Através de Celular

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Oceanografia do Centro de Ciências Físicas e Matemáticas da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito necessários à obtenção do título de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Pedro de Souza Pereira

Florianópolis

2022

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

Freire, Gabriela
Análise da Circulação Costeira Utilizando Imageamento
Através de Celular / Gabriela Freire ; orientador, Pedro
de Souza Pereira, 2022.
54 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências
Físicas e Matemáticas, Graduação em Oceanografia,
Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Oceanografia. 2. Circulação Costeira. 3.
Sensoriamento Remoto. 4. Zona de Surf. I. de Souza
Pereira, Pedro . II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Graduação em Oceanografia. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Eu poderia começar agradecendo a mim mesma, pelas escolhas que me trouxeram até aqui, por acreditar em mim (mas nem sempre), por todo trabalho duro, por não desistir, pelas noites e finais de semana sem descanso. Mas isso seria injusto com meus pais, que despenderam tanto esforço e dedicação para me proporcionar a oportunidade de chegar até aqui, obrigada por me ensinarem, incentivarem e me deixarem voar. Obrigada pai (Francisco), pelas eternas noites dos meus 9 anos me tomando a tabuada, obrigada por me ensinar a ser responsável, organizada e íntegra, sendo o melhor exemplo disso que eu poderia ter. Obrigada por todo apoio desde que saí de casa e por todos os cafés da manhã de domingo. Obrigada mãe (Roseli), por me ensinar a me cuidar sozinha para não morrer quando ficasse doente fora de casa. Pelas eternas conversas filosóficas noite adentro, obrigada por me ensinar a parar de vez em quando para contemplar o mundo, e a ver beleza nas pequenas coisas. Obrigada por incentivar e apoiar todas as aventuras que resolvo embarcar, e por me cobrar arrumar a cama todas as manhãs.

Também gostaria de agradecer ao meu irmão Eduardo, por me ensinar a não ligar tanto para o que os outros dizem, ao me dizer exatamente o tipo de coisa que eu deveria ignorar. Além disso, obrigada pela companhia descontraída e os momentos de gargalhadas fáceis dos últimos anos, por me acompanhar durante a infância e por me ensinar tudo que aprendi e aprendo tendo você por perto, eu consigo ver o valor de quem eu me tornei por ter crescido com você. Obrigada por me inspirar a ser uma pessoa melhor. Obrigada a minha mana do coração Simone, minha confidente, por sempre ser tão disponível e cuidadosa e por sempre poder contar com você, desde que eu era uma melequentinha. Obrigada Nicolau, por toda inspiração provocada pelo espírito inventivo e livre que habita aí. Obrigada Karen, pelo acolhimento e cuidado, e todas as delícias compartilhadas. Obrigada Marcelle e Anderson, por enriquecerem as discussões calorosas de encontros familiares, rs.

Obrigada a todos os familiares que estiveram próximos de alguma forma durante essa jornada. Aos mimos e ao acolhimento das tias e tios toda vez que vou visitá-los, assim como os recebidos surpresa dos aniversários a distância. Aos meus avós, por serem a companhia mais aconchegante que qualquer pessoa poderia ter ou desejar. Obrigada as primas Sabrine, Lais, Helena e Júlia pelas trocas sobre perrengues acadêmicos, entre outros assuntos. Obrigada as melhores amigas que eu poderia ter feito na infância, Amanda, Gabi, Laíza, Lígia, Lívia e Talita que seguem escutando minhas ladainhas e me dando conselhos a 15 anos. Obrigada as minhas primeiras amigas universitárias, Flora, Giu, Fernanda, Mari e Pedro H., foi muito importante ter vocês por perto no início dessa caminhada, nesse Rio de Janeiro.

A todos os supracitados peço perdão pela ausência em todos os momentos de alegria e tristeza dos últimos anos, os quais não estive presente. Eu sorri e chorei com vocês mesmo que distante.

Obrigada Bianca, Carol, Juana e Marco, por suportarem meu espírito rabugento de uma senhora de 80 anos, e todas as minhas chatices, esquisitices e paranoias. Como já foi dito

algumas vezes por nós, principalmente nessas ocasiões: “a gente nunca sabe quando completos desconhecidos se tornarão nossa família fora de casa”. Obrigada a todo gin tônica que fizeram os últimos meses serem menos pesados, pela inspiração, companhia, pelos momentos de relaxamento, descontração e epifania (Bom dia!). Obrigada aos colegas de curso com quem tive o prazer de compartilhar almoços do RU, ideias, trabalhos, livros, garrafas e algumas horas de sol na graminha, Bárbaras, Brunas, Luanas, Caio, Caetano, Lorenzo, Lucas, Pedro, Lilli, Wicente, Renan, sem a companhia vocês teria sido muito mais difícil caminhar até aqui. Obrigada, mais uma vez, Juana, pela companhia em todos os trabalhos das últimas fases, pelas horas de papo até os conteúdos de oceano física começarem a fazer sentido, e por às vezes me carregar nas costas. Obrigada Pedro A. por me conceder a honra de usar sua cadeira de rodinha no laboratório, com ela foi muito mais fácil e divertido monopolizar todos os computadores, obrigada também por todas as guloseimas e por todos os quilômetros andados em campo coletando dados. Obrigada Wilson pelos litros de café e as conversas fiadas no meio da tarde no laboratório. Obrigada Mari, pelo apoio de sempre, e por compartilhar comigo sua expertise em escrever bem.

Me sinto imensamente grata e privilegiada pela oportunidade e estudar na UFSC, por tudo que vivi e aprendi aqui. Por ter tido acesso a uma universidade pública de qualidade, que me trouxe experiências extraordinárias.

Obrigada a todo o corpo técnico e docente do curso de oceanografia - UFSC. Obrigada Núbia, por se desdobrar em resolver todas as demandas que levamos até você, com tanta atenção e cuidado. Além disso, aos professores Juliana Leonel, Regina Rodrigues, Antonio Fetter, Antonio Klein, Felipe Pimenta e Pedro Pereira por responderem pacientemente todas as minhas perguntas pertinentes ou viajandonas. Obrigada pela inspiração, acolhimento, pelas experiências proporcionadas e compartilhadas, pelas conversas de corredor quando necessárias, vocês me trouxeram até aqui e me ensinaram muito mais do que ser (talvez ?) oceanógrafa. Por fim, gostaria de agradecer especialmente ao meu orientador, Prof. Pedro Pereira, pelo acolhimento, por toda a paciência e dedicação, por todos os puxões de orelha discretos, e quilos de granola, por me ensinar a me adequar ao caos da vida real, por se entregar ao trabalho em dias de campo e por despender horas do seu precioso tempo me fazendo enxergar os caminhos que eu precisava trilhar para concluir esse trabalho. Obrigada por compartilhar a paixão que sente em entender e ensinar tudo que sabe sobre morfodinâmica, agora entendo um pouquinho mais sobre sua paixão por como os processos morfodinâmicos funcionam na praia.

A humanidade está diante de questões importantes, para as quais não é fácil encontrar uma resposta adequada. De modo geral, as pessoas ou acham que estão cem por cento certas, ou estão indiferentes. De vez em quando, aparece um curinga, isto é, alguém que não desiste, que busca incansavelmente chegar ao conhecimento. (Jostein Gaarder)

RESUMO

As praias são sistemas complexos e dinâmicos que sofrem influência de fatores como o ângulo de incidência e altura de ondas, variações de nível e batimetria da ante-praia, gerando uma variedade de subprocessos, dentre eles as correntes costeiras. As correntes costeiras em praias oceânicas podem apresentar padrões de circulação diversos que são identificados por: correntes de retorno, relacionadas a canais com fluxos perpendiculares à linha de costa, fluindo para além da zona de surf; correntes longitudinais, relacionadas a formação de bancos e cavas; e até mesmo vórtices. Estudar estas variações morfodinâmicas é de grande importância para um convívio mais responsável sobre o ambiente praial, como base para uma adequada gestão costeira. Quanto à medição das correntes, derivadores, sensores eletromagnéticos e perfiladores acústicos do tipo Doppler, têm sido os métodos mais comumente empregados para o estudo das correntes de retorno há muitas décadas. Entretanto, esses métodos possuem limitações logísticas, financeiras e de cobertura espacial e temporal de operacionalização. Por sua vez, o sensoriamento remoto tem se destacado explorando sinais ópticos, buscando reconhecer o quão variável é a dinâmica costeira monitorando-a a fim de caracterizá-la minuciosamente através de características visíveis. É nesse contexto que o presente trabalho tem como objetivo investigar a relação entre a morfologia, as condições hidrodinâmicas e os padrões de circulação costeira locais próximo a Ponta das Aranhas no extremo norte da praia do Moçambique, Florianópolis, Santa Catarina, nos dias 04 de fevereiro e 08 de abril de 2022, utilizando imageamento costeiro a partir de imagens de uma câmera de celular. A Ponta das Aranhas fica localizada na porção norte da praia do Moçambique, região que pode ser classificada como uma praia oceânica aberta, apresentando características predominantes de praia intermediária com tendências dissipativas e presença de múltiplos bancos. A coleta de dados foi realizada com a câmera de um celular, tendo uma resolução de imagem em 4K (2.160 x 3.840 pixels), em um totem fixo do CoastSnap no costão norte da praia (27°28'50"S , 48°22'48"O), a uma elevação de 25,33 metros. Nesta estação foram capturados 5 vídeos, em cada dia, com duração de aproximadamente 17 minutos. Os vídeos foram posteriormente processados, gerando imagens de longa exposição, onde as características morfológicas se tornam evidentes. Em seguida, ocorreu o processo do cálculo da velocidade do fluxo das correntes, sobre as médias móveis de cada vídeo, através do método Particle Image Velocimetry (PIV) na ferramenta PIVLab, sobre a qual foram calculados os campos vetoriais de velocidade e suas médias para todos os vídeos, aplicando gradientes de magnitude de velocidade, onde são evidenciados os processos dinâmicos. Na análise das imagens processadas foi possível identificar as diferenças de velocidade em cada região da imagem, e relacioná-las aos elementos morfológicos, sendo possível, inclusive, observar como essa relação se alterava diante das variações de maré e altura das ondas ao longo do tempo estudado. Adicionalmente, foi possível estabelecer relações entre a morfologia e os padrões de circulação presentes na zona costeira.

Palavras-chave: Circulação Costeira, Sensoriamento Remoto, Zona de Surf

ABSTRACT

Beaches are complex and dynamic systems that are influenced by factors such as the angle of incidence and wave height, tide level variations and the bathymetry of the shoreface, these can generate a variety of sub-processes, including the coastal currents. Coastal currents on ocean beaches can present different circulation patterns that are identified by: rip currents, related to channels with flows perpendicular to the coastline, flowing beyond the surf zone; longitudinal currents, related to the formation of bars and troughs; and even vortices. The study of these morphodynamic variations is really important for a more responsible coexistence with the beach environment, and as a basis for an adequate coastal management. To measure currents, drifters, electromagnetic sensors and acoustic Doppler current profilers have been the most commonly used methods for studying rip currents for many decades. However, these methods have limitations. In turn, remote sensing has been highlighted by exploring optical signals, seeking to recognize how variable the coastal dynamics are, monitoring it in order to characterize it thoroughly through visible features. In this context, the present work aims to investigate the relationship between morphology, hydrodynamic conditions and local coastal circulation patterns near Ponta das Aranhas in the extreme north of Moçambique beach, Florianópolis, Santa Catarina, on February 4 and April 8 of 2022, using images from a cell phone camera. Ponta das Aranhas is located in the northern portion of Moçambique beach, a region that can be classified as an open ocean beach, with predominant characteristics of an intermediate beach with dissipative tendencies and the presence of multiple bars. The data collection was performed with a cell phone camera, with a 4K image resolution (2,160 x 3,840 pixels), positioned on a fixed camera cradle from CoastSnap on the north coast of the beach (27°28'50"S , 48 °22'48"W), at an elevation of 25.33 meters. At this station, 5 videos were captured each day, lasting approximately 17 minutes. The videos were later processed, generating long exposure images, where the morphological characteristics become evident. Then, the process of calculating the flow velocity of the currents took place, on the moving averages of each video, through the Particle Image Velocimetry (PIV) method in the PIVLab tool, on which the velocity vector fields and their averages were calculated for all videos, applying velocity magnitude gradients, where dynamic processes are highlighted. In the analysis of the processed images, it was possible to identify the differences in speed in each region of the image, and to relate them to the morphological elements, and it was even possible to observe how this relationship changed in the face of tidal variations and wave heights over the studied time. Additionally, it was possible to establish relationships between the morphology and the circulation patterns present in the coastal zone.

Keywords: Coastal Circulation, Remote sensing, Surf Zone.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Área de Estudo - Praia do Moçambique, Florianópolis, SC - Brasil.	16
Figura 2	– Fluxograma da metodologia do trabalho.	18
Figura 3	– Funcionamento do cálculo da média móvel para geração de cada frame.	21
Figura 4	– Pontos de controle coletados em campo. a) Ponta da placa. b) Intersecção de fraturas na rocha do costão. c) GCPs marcados na imagem oblíqua, para retificação, contendo GCP do promontório ao longe.	22
Figura 5	– a) Imagem média, porém oblíqua, na posição que foi capturada em campo. b) Imagem retificada com eixos das coordenadas.	24
Figura 6	– a) Imagem de brilho máximo, evidenciando a zona de quebra de ondas. b) Máscara aplicada aos limites da imagem de brilho máximo. c) Imagem de média móvel, com a máscara aplicada.	25
Figura 7	– Exemplo do cálculo do vetor sobre o deslocamento da partícula.	26
Figura 8	– a) Campo vetorial médio gerado sobre a imagem. b) Gradiente de magnitude de velocidade. c) Gradiente de vorticidade.	27
Figura 9	– Compilado com as médias de 17 min de todos os horários do dia 04/02/2022.	29
Figura 10	– Timex de 11:00 ampliado com interpretação sobre a morfologia para o dia 04/02/2022.	30
Figura 11	– Compilado com as médias de 17 min, de todos os horários do dia 08/04/2022.	31
Figura 12	– Timex de 11:00 ampliado e interpretado para o dia 08/04/2022.	32
Figura 13	– Campos vetoriais e linhas de tendência gerados para as 11:00 do dia 04/02/2022.	33
Figura 14	– Imagem do gradiente de magnitude de velocidade sobreposta a imagem da média de 17 minutos, interpretada do dia 04/02. a - tendência à convergência. b - tendência a divergência.	35
Figura 15	– Gráfico de dispersão das componentes de velocidade do fluxo 04/02/2022 - 11:00.	36
Figura 16	– Campos vetoriais e linhas de tendência gerados para 11:30 do dia 08/04/2022.	38
Figura 17	– Gráficos de dispersão das componentes de velocidade do fluxo do dia 08/04/2022 - 11:30.	39
Figura 18	– Imagem do gradiente de magnitude de velocidade sobreposta a imagem da média de 17 minutos do dia 08/04/2022 às 11:30. a - baixas velocidades. b - altas velocidades.	40
Figura 19	– Padrão de vorticidade sobreposto a imagem da média de 17 minutos do dia 08/04/2022 às 11:30.	41
Figura 20	– textbfAPÊNDICE A - Figuras do padrão de circulação e linhas de tendência do dia 04 de fevereiro de 2022.	47
Figura 21	– textbfAPÊNDICE B - Figuras do padrão de circulação e linhas de tendência do dia 08 de abril de 2022.	48

Figura 22 – textbfAPÊNDICE C - Gráficos de dispersão das componentes de velocidade do fluxo do dia 04/02/2022.	49
Figura 23 – textbfAPÊNDICE D - Gráficos de dispersão das componentes de velocidade do fluxo do dia 08/04/2022.	50
Figura 24 – textbfAPÊNDICE E - Histogramas de frequência de velocidades do dia 04/02/2022.	51
Figura 25 – textbfAPÊNDICE F - Histogramas de frequência de velocidades do dia 08/04/2022.	52
Figura 26 – textbfANEXO I - Figura de classificação de bancos.	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação do horário de início dos cinco vídeos feitos em cada um dos dois dias.	19
Tabela 2 – Dados de onda e maré. Hs = Altura significativa. Dp = Direção de pico. Tp = Período de pico.	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo Geral	15
2.2	Objetivos Específicos	15
3	ÁREA DE ESTUDO	16
4	METODOLOGIA	17
4.1	Atividades de campo	18
4.1.1	Aquisição de imagens	18
4.1.2	Pontos de controle	19
4.2	PROCESSAMENTO DE IMAGENS	20
4.2.1	Geração de imagens médias móveis	20
4.2.2	Retificação das imagens	21
4.3	Pós processamento das imagens	25
4.3.1	PVIlab	25
4.3.2	Calibração de velocidade das partículas	28
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5.1	Morfologia	29
5.2	Padrões de circulação	32
6	CONCLUSÃO	42
	APÊNDICES	46
	ANEXOS	53

1 INTRODUÇÃO

A morfodinâmica costeira retrata um equilíbrio complexo entre a geomorfologia da praia e como ela se comporta ao interagir com a hidrodinâmica costeira. Os dois processos influenciam um ao outro e assim transformam-se. Mais especificamente quando uma onda quebra na praia ela transfere sua energia, propiciando transporte sedimentar, transformando a linha de costa, a morfologia da praia e os fluxos costeiros (DAVIDSON-ARNOTT et al., 2010).

As praias são sistemas dinâmicos que sofrem influência de fatores como ondas, marés, topografia, gerando uma variedade de subprocessos (CASTELLE & COCO, 2012), dentre eles as correntes costeiras. As correntes costeiras, por sua vez, são fluxos de água alimentados pela ação das ondas que chegam na zona costeira. Esse fluxo é causado pelo balanço de massa e momento necessários a resposta sobre a hidrodinâmica incidente à costa (DALRYMPLE et al., 2011). Essas correntes podem ser classificadas como longitudinais, ao longo da costa sobre cavas, ou transversais, sobre canais, conhecidos como correntes de retorno (SHORT & WRIGHT, 1983).

Dentre os mecanismos hidrodinâmicos e morfológicos que governam a forma e a intensidade das correntes costeiras estão as variações de marés, altura, ângulo de incidência e período de onda e a batimetria da praia (DALRYMPLE et al., 2011). As variações de maré podem modificar o volume de água que flui na região costeira, e conseqüentemente intensificar ou amenizar a velocidade de tal fluxo. As ondas vão determinar quanta energia será dissipada na zona de surfe e para que direção preferencialmente essa energia irá fluir. Por sua vez, a batimetria de fundo ou morfologia local, vai indicar os caminhos possíveis pelos quais todo esse fluxo pode seguir. Entretanto, em casos onde haja energia suficiente a morfologia pode ser moldada pelas forçantes hidrodinâmicas (SHORT & WRIGHT, 1983).

As correntes costeiras são vistas como importantes agentes transportadores (ANDERSON et al., 2021), onde longitudinais são as principais responsáveis pelo transporte sedimentar conhecido como deriva litorânea, que desloca o sedimento, redistribuindo-o paralelamente à praia e alterando a linha de costa, sendo este processo importante em eventos de erosão costeira e conseqüentemente tendo grande relevância para projetos de engenharia costeira. Já as correntes transversais ou correntes de retorno, têm um importante papel na renovação das águas costeiras, transportando poluentes, nutrientes e sedimentos da zona praial para além da zona de arrebenção, em um fluxo contrário as ondas incidentes. Mas infelizmente, representam um risco para banhistas, mesmo que experientes, que podem ser levados rapidamente para regiões profundas (DALRYMPLE et al., 2011). Portanto, prever sua aparência pode ajudar os salva-vidas a informar as pessoas de modo a evitar afogamentos.

As correntes também têm o papel de regular a circulação costeira. Ondas incidindo tempo suficiente sobre a região praial podem gerar padrões de circulação, formando um ou mais bancos e conseqüentemente desenvolvendo cavas por onde fluirá uma corrente longitudinal, ou ainda, abrindo canais transversais por onde fluirá uma corrente de retorno (CASTELLE & COCO, 2012).

Entretanto, esses padrões podem apresentar uma série de variações. Correntes de retorno, por exemplo, podem ser classificadas como simétricas, quando formadas por duas circulações opostas, ou assimétricas, quando formadas por duas circulações que giram no mesmo sentido. Já as correntes longitudinais podem apresentar padrões rítmicos ou lineares que acompanham a morfologia dos bancos que delimitam os processos de circulação (MACMAHAN et al., 2010). Um aspecto que pode-se observar sobre essas classificações é a existência de sistemas de circulação secundários como vorticidade e tendências de convergência ou divergência decorrentes dos processos principais.

Quanto à medição das correntes, derivadores, medidores fixos de corrente eletromagnética, e mais recentemente perfiladores acústicos do tipo Doppler, são os métodos mais comumente empregados para o estudo das correntes de retorno a muitas décadas (DALRYMPLE et al., 2011; ÁVILA et al., 2014). Entretanto, esses métodos possuem limitações logísticas, financeiras e de cobertura espacial e temporal para operar.

Consolidar um método alternativo a fim de estudar mais detalhadamente, tanto a morfologia quanto a dinâmica costeira já que tais processos são interdependentes, tem se mostrado vantajoso e promissor (HOLMAN et al., 2017). Por sua vez, o sensoriamento remoto tem se destacado, explorando sinais ópticos, buscando reconhecer o quão variável é a dinâmica costeira monitorando-a a longo prazo de modo a caracterizá-la minuciosamente, através de características visíveis (HOLMAN & STANLEY, 2007).

O primeiro sistema utilizando vídeos foi o ARGUS, desenvolvido por pesquisadores da Universidade do Oregon Lippmann & Holman (1989), que utilizava os sinais ópticos da quebra de ondas para explorar a morfologia da zona de surf. A espuma da quebra das ondas se destaca por ter uma maior reflexão da luz solar incidente, em contraste com a cor de fundo da água ao redor (HOLMAN & STANLEY, 2007). A principal vantagem sobre a utilização de imagens de longa exposição é a delimitação de regiões onde regularmente as ondas quebram. Essas imagens então podem nos dar informações sobre a presença de bancos quando há presença de espuma e regiões mais profundas quando há ausência de espuma (LIPPMANN & HOLMAN, 1989).

Um outro programa de imageamento costeiro, derivado do Argus, é o CoastSnap, criado em 2017 na Austrália. Com o objetivo de registrar uma coleção de imagens costeiras, obtidas através de contribuições cidadãos em totens de imageamento, estrategicamente posicionados, com posição e ângulo de visão em relação a área imageada fixos, transformando-os em dados valiosos sobre variações costeiras (HARLEY et al., 2019). Através de técnicas avançadas de processamento de imagens, que tem como objetivo centralizar dados confiáveis de posicionamento da costa e outros parâmetros importantes para o gerenciamento costeiro (HARLEY & KINSELA, 2022). Aqui no Brasil a rede CoastSnap apresenta estações em operação desde 2018, tendo sido utilizado no estudo sobre a variabilidade da linha de costa da praia dos Açores (AZEVEDO, 2022).

É notável que tais métodos dependam do contraste superficial. Recentemente, através de novas maneiras de processamento de imagens Anderson e colaboradores (2021), buscaram

formas de acompanhar o deslocamento de partículas superficiais como recurso para estimar o fluxo costeiro em imagens de médias móveis, visando encontrar o movimento médio das ondas (WAM). Utilizando um método conhecido como Particle Image Velocimetry (PIV), onde os sinais ópticos causados pela quebra de ondas são objetos de interesse que se deslocam entre um quadro e outro em forma de pixels.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como proposta estudar a circulação costeira, através da análise de vídeo imagens, investigando a morfologia e circulação em superfície, uma vez que tais processos têm grande importância em relação a dinâmica praial, tanto paisagisticamente quanto socialmente. Além disso, o trabalho tem finalidade de avaliar a combinação de duas metodologias que se complementam: o processamento de imagens (CoastSnap) e a determinação da velocidade do fluxo através da obtenção do movimento médio das ondas (WAM).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Investigar a relação entre a morfologia, as condições hidrodinâmicas e os padrões de circulação costeira locais utilizando imageamento costeiro a partir de vídeo imagens de uma câmera de celular.

2.2 Objetivos Específicos

- a) Estudar a relação entre feições morfológicas da zona de surf e a circulação costeira presente em uma praia arenosa com dois bancos.
- b) Identificar padrões de circulação costeira por meio de técnicas de vídeo imagens.
- c) Avaliar a relação entre a velocidade do fluxo, altura das ondas, nível do mar e morfologia.

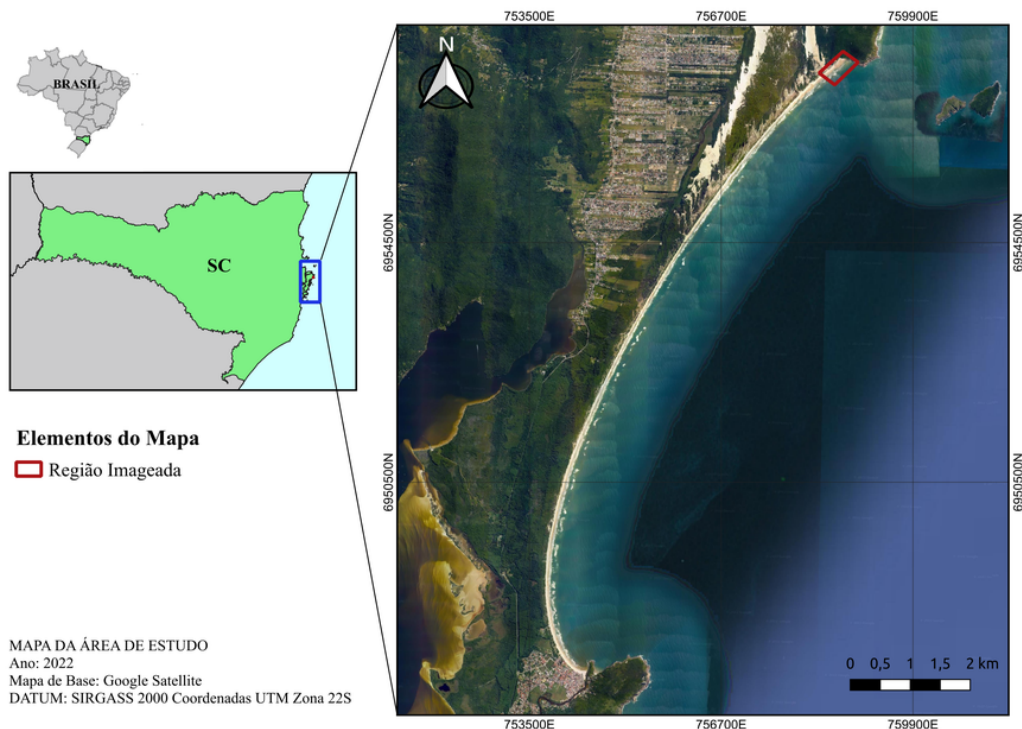
3 ÁREA DE ESTUDO

O local onde os dados foram coletados está localizado na porção norte da praia do Moçambique (Figura 1), maior praia da ilha de Santa Catarina, composta pelo sistema praial Barra da Lagoa/Moçambique, e é denominado Ponta das Aranhas. A região pode ser classificada como uma praia oceânica aberta (DALINGHAUS, 2016), com características predominantes de praia intermediária com tendência dissipativa (SILVA, 2006) apresentando múltiplos bancos (KLEIN et al., 2016). Esses aspectos são importantes, pois, por ser uma praia aberta, é esperado que ela apresente uma dinâmica expressiva, o que se alinha aos objetivos estabelecidos.

A partir da análise de dados de um ADCP Nortek, fundeado entre dezembro de 2013 à junho de 2014, a 21,8 m de profundidade por Porpillo et al. (2015) na região central da praia do Moçambique, quando foi constatada a ocorrência de correntes bidimensionais de sentido norte/sul na região. A predominância das ondas é no sentido S-SE (SILVA et al., 2012), o que propicia a geração de correntes longitudinais.

O regime de ventos para a região de Florianópolis é predominantemente do quadrante sudoeste (SO) no inverno e nordeste (NE) na primavera e verão, segundo o IBGE, (1928) . Já o regime de marés é classificado como misto, com diferentes amplitudes das componentes diurnas e semidiurnas, em um regime de micro-marés, com amplitude média de 1,4 m de acordo com dados da Diretoria de Hidrografia Navegação.

Figura 1 – Área de Estudo - Praia do Moçambique, Florianópolis, SC - Brasil.



Elaborado pela autora (2022)

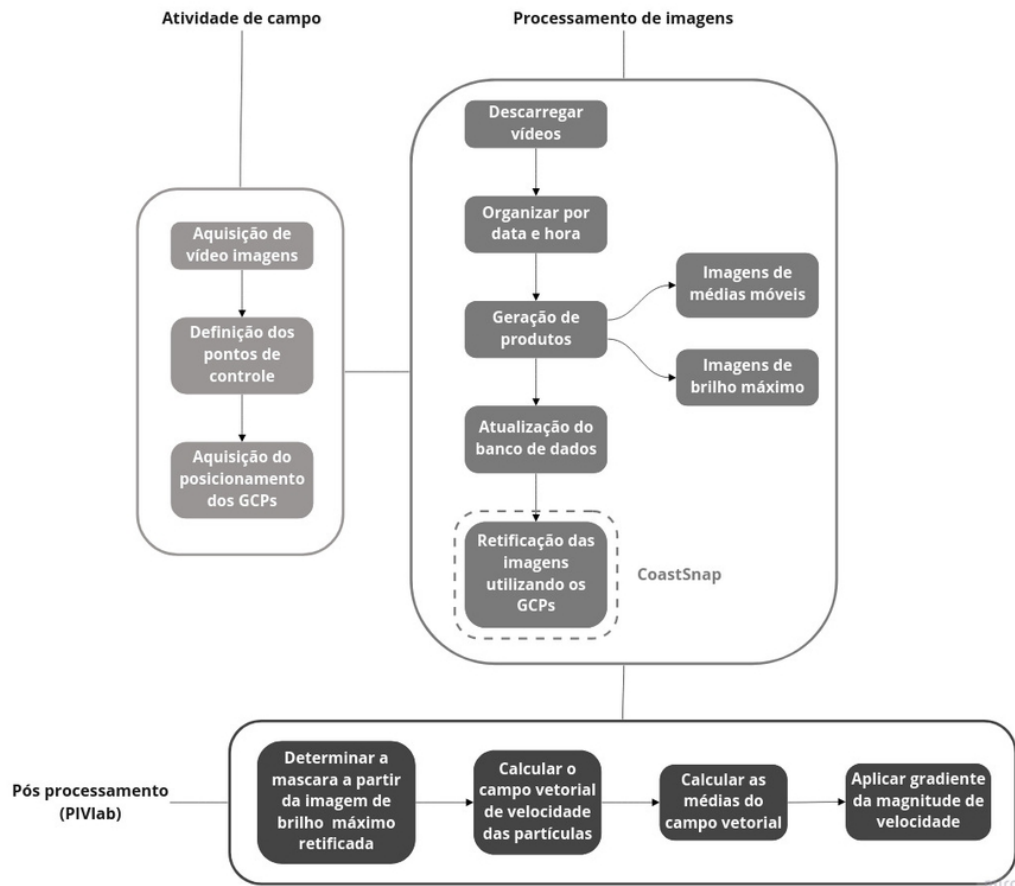
4 METODOLOGIA

A partir dos objetivos traçados, é possível estabelecer uma trajetória sobre a qual se deve seguir. Para esse propósito é preciso que atividades de campo (seção 4.1) sejam feitas, a fim de adquirir vídeo imagens (subseção 4.1.1) e pontos de controle (subseção 4.1.2). Para posterior processamento de imagens (seção 4.2), com a geração de médias móveis (subseção 4.2.1) a partir dos vídeos e retificação das mesmas (subseção 4.2.2). Com base nisso, no pós processamento (seção 4.3) determina-se, por meio do PIVlab (seção 4.3.1) a velocidade do fluxo e por fim é feita a calibração da velocidade das partículas (seção 4.3.2).

O trabalho propõe investigar a partir de vídeo imagens capturadas em uma estação fixa no costão, feições morfológicas, assim como padrões de circulação e as velocidades dos fluxos costeiros, baseada na metodologia proposta por Holman e colaboradores em dois trabalhos utilizando imagens coletadas em estações fixas e móveis como plataforma de captura de imagens (HOLMAN & STANLEY, 2007; HOLMAN et al., 2017).

Com posse das imagens, pode-se fragmentar os vídeos em frames, isto é, imagens, calculando-se médias móveis. As imagens são posteriormente retificadas com o auxílio de pontos de controles no solo (Ground Control Points - GCPs), identificados em campo, que nada mais são que alvos físicos com coordenadas (x , y e z) conhecidas, que permitem aplicar uma solução geométrica à imagem oblíqua gerando uma correlação entre as coordenadas reais e as coordenadas da imagem. Na sequência, realiza-se o processamento digital das imagens para que se possa analisar e determinar a velocidade do fluxo (HOLMAN & STANLEY, 2007; ANDERSON et al., 2021). A metodologia da pesquisa científica pode ser resumida nas etapas explicitadas na Figura 2 e será melhor detalhada nos próximos subtópicos.

Figura 2 – Fluxograma da metodologia do trabalho.



Elaborada pela autora (2022)

4.1 Atividades de campo

A atuação em campo consistiu em registrar com a câmera de um celular os vídeos. Esse registro foi feito sobre um totem do CoastSnap que está fixado no costão norte da praia. Além disso, determinar pontos de controle (CGPs), como potenciais opções para posterior retificação das imagens, os GCPs devem ser pontos fixos na paisagem dentro do campo de visão da região imageada, podendo ser rochas, características evidentes em rochas, bases e troncos de árvores, bordas de promontórios ou picos de montanhas distantes (HARLEY & KINSELA, 2022). Por fim, é indispensável registrar com o GPS as posições dos GCPs e da estação de captura de imagens.

4.1.1 Aquisição de imagens

As imagens foram capturadas durante dois dias de campo (04/02/2022 e 08/04/2022), em período de lua nova, portanto sob o regime de marés de sizígia. Em cada um dos dias cinco vídeos

foram produzidos em diferentes horários (Tabela 1) visando acompanhar alterações decorrentes de variações de nível causadas pela maré. Por meio da câmera de um celular, com resolução de imagem em 4K (2160 x 3840 pixels), as imagens foram registradas com o celular posicionado em um totem fixo do CoastSnap no costão norte da praia (27°28'50"S , 48°22'48"O) com elevação de 25,33 metros (Figura 1). Nesta estação foram capturados os vídeos com duração de aproximadamente 17 minutos conforme sugerido por Holman & Stanley (2007), com intervalos de 30 minutos entre o início de cada vídeo, que foram armazenadas em formato mp4.

Tabela 1 – Relação do horário de início dos cinco vídeos feitos em cada um dos dois dias.

Data	Hora
	11:00
	11:30
04/02/2022	12:00
	12:30
	13:00
	10:30
	11:00
08/02/2022	11:30
	12:00
	12:30

Elaborado pela autora (2022)

4.1.2 Pontos de controle

Para aquisição de controles foi utilizado um par de GPS (base e rover) modelo R4 da marca trimble. A base do GPS foi instalada próxima ao posto da Polícia Militar Ambiental localizada na sede administrativa do Parque Estadual do Rio Vermelho (27°31 '37"S , 48°25'45"O), onde ficou em funcionamento por aproximadamente 4 horas. O rover foi levado à praia, a fim de marcar o posicionamento dos GCPs selecionados, assim como a localização da estação de captura de imagens. Foram coletados dados de posicionamento (x, y e z) de oito GCPs, com um período de aquisição de oito minutos, ao longo da praia que deveriam estar necessariamente contidos dentro da área imageada pela câmera, e idealmente serem facilmente distinguíveis na imagem (HARLEY et al., 2022).

Os dados de posicionamento foram processados no Trimble Business Center, onde os dados de posicionamento dos GCPs e da base, levantados em campo, foram importados e calibrados, para que as variações verticais em z fossem referenciadas verticalmente ao Datum SIRGAS 2000.

Além disso, os dados da base foram enviados para o IBGE-PPP (Posicionamento por Ponto Preciso) que é um serviço online gratuito para o pós-processamento de dados GNSS, que permite ao usuário obter coordenadas referenciadas ao SIRGAS2000 através de um processamento preciso. Foi preciso enviar o arquivo com os dados do levantamento no formato aceito, informar que o levantamento foi realizado no modo estático, e o modelo e altura da antena utilizada, além de um e-mail para o retorno dos dados processados.

A posse desses dados é indispensável para a retificação das imagens, eles entram no banco de dados como referências de posicionamento dos GCPs.

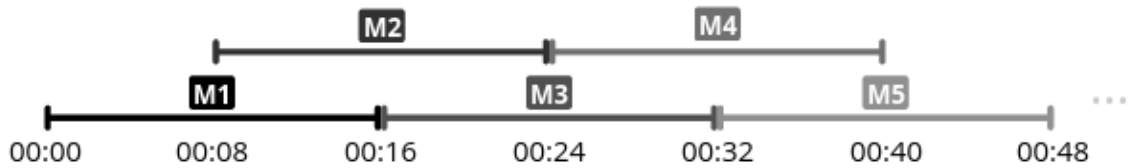
4.2 PROCESSAMENTO DE IMAGENS

Após a captura dos vídeos, dados de posicionamento dos GCPs e da posição da câmera de imageamento, é possível iniciar o processamento das imagens em laboratório, descarregando os dados no computador e organizando-os por data e hora, para que os procedimentos de geração de médias, retificação e posterior cálculo vetorial do fluxo (PIV) ocorra.

4.2.1 Geração de imagens médias móveis

Os vídeos, feitos em campo, inicialmente com 17 min e um total aproximado de 30600 mil frames, foram processados gerando em média 127 imagens de médias móveis. As médias móveis foram realizadas de 16 em 16 segundo de vídeo com sobreposição de 50 %, ou seja, os degraus eram de 8 segundos, conforme ilustrado na Figura 3. A média é feita com sobreposição de 50 % para que se tenha um maior número de imagens. Caso fossem feitas médias corridas sem sobreposição teríamos aproximadamente 63 imagens por vídeo, com a sobreposição estipulada temos aproximadamente 127 imagens por vídeo. O intervalo da média, como recomendado por Anderson et al. (2021), deve ser duas vezes o período das ondas dominantes, para garantir que haja no mínimo duas quebras de ondas dentro de cada média.

Figura 3 – Funcionamento do cálculo da média móvel para geração de cada frame.



Elaborado pela autora (2022)

As médias móveis nos retornam o brilho médio de elementos da imagem, portanto, partes imóveis tem sua posição repetida de imagem para imagem, logo a média móvel nos retorna essas partes como elas aparecem instantaneamente. Entretanto, partes móveis, neste caso as ondas, apresentam mudanças de uma imagem para a outra, então, seu brilho médio dentro do período calculado é retornado (HOLMAN & STANLEY, 2007).

Também foram feitas imagens de longa exposição de todos os vídeos (17 minutos), retornando o brilho médio de todo o tempo decorrido do vídeo. Essas imagens são conhecidas como timex, e nos retornam como marcadores ópticos os sinais que demonstram o movimento médio das ondas (ANDERSON et al., 2021), utilizados posteriormente para análise de elementos morfológicos do trecho da praia em questão. Adicionalmente também foram geradas imagens de máxima exposição, que retornaram o brilho máximo. Essas imagens foram utilizadas como padrão para delimitar a máscara aplicada no PIVlab, procedimento este que será descrito adiante na sub-sessão 4.3.1.

4.2.2 Retificação das imagens

Após todos os levantamentos foram capturados um total de 10 vídeos produzindo 65 GB de dados em formato mp4 que posteriormente foram processados gerando um total de 1280 imagens de médias móveis.

Com as imagens já coletadas, o processo de retificação iniciou-se com a escolha dos GCPs, onde três deles foram escolhidos, levando em consideração a combinação entre eles que gerasse os menores erros. O maior e o menor erro quadrático médio (EQM), dentre as imagens retificadas foram de, 1.9 e 1.1 pixel, respectivamente, para todos os dez vídeos retificados. Dentre os pontos escolhidos, dois foram coletados em campo, e se mostraram os mais adequados dentro da geometria de retificação das imagens; uma rocha no costão, e uma placa localizada entre a região pós-praia e a restinga (Figura 4). O terceiro GCP estabelecido foi a borda de um promontório distante, isso só é possível pois, embora não tenhamos o posicionamento exato da ponta do promontório, ele está distante o suficiente para que um erro ao redor do ponto marcado

não seja significativa.

Figura 4 – Pontos de controle coletados em campo.
a) Ponta da placa. b) Intersecção de fraturas na rocha do costão. c) GCPs marcados na imagem oblíqua, para retificação, contendo GCP do promontório ao longe.



Elaborado pela autora (2022)

O processo de retificação das imagens consiste em transformar imagens oblíquas em plantas, retificadas. Inicialmente, os nomes dos arquivos são alterados através de uma rotina que os padroniza para o formato utilizado no sistema de vídeo Argus. Além disso, é preciso exportar as coordenadas tridimensionais precisas (x , y e z) dos GCPs e da base de aquisição de

imagens para alimentar o banco de dados. Além dos dados da tábua de maré transferidos do site da Marinha do Brasil e interpolados para os horários da aquisição dos vídeos.

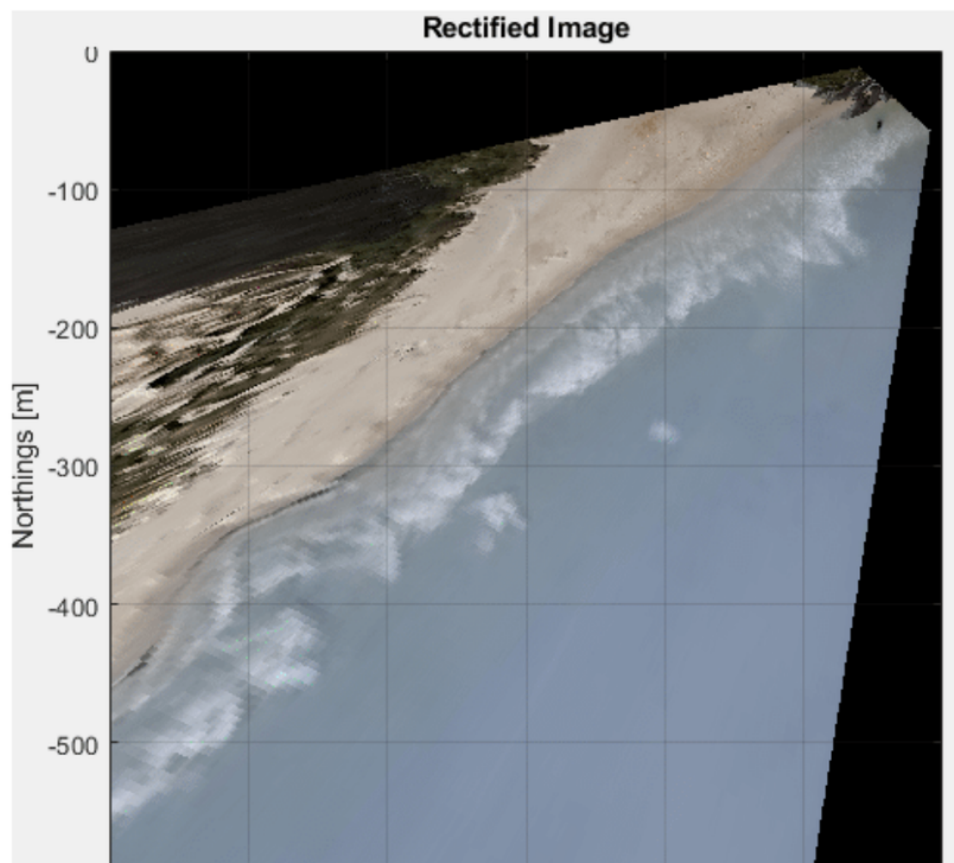
O banco de dados deve ser alimentado com:

- Dados da estação: coordenadas da estação de captura de imagens, o fuso ou zona UTM, deslocamento de fuso horário padrão do GMT.
- Configurações de retificação: limites espaciais de plotagem da imagem retificada, resolução (0.5 m), as estimativas iniciais do Azimuth, Tilt e Roll e o deslocamento de maré.
- Dados de maré: arquivo com os dados da tábua de maré local (DHN), “Mare_moca.mat”.
- Pontos de controle terrestre: Nomes dos pontos de controle e as coordenadas tridimensionais, (Latitude, Longitude, Elevação) de todos os pontos de controle coletados.
- Combinação de retificação do GCP: combinação a ser utilizada para retificação dentre todos os pontos de controle, data e hora inicial e final.
- Lista de arquivos com as informações das imagens: o nome do usuário que disponibilizou a imagem, a data e hora da aquisição, fuso horário, o nome dos arquivos no padrão “1643972427.Fri.Feb.04_11_00_27.BRT.2022.moca.plan.Gabifreire.jpg”, a fonte, tipo e qualidade de data e hora.

Com o banco de dados devidamente preenchido e atualizado, é possível realizar a retificação. Após o carregamento da imagem na interface gráfica, é preciso resolver a geometria entre os pontos de controle tentando resolvê-la com o menor erro possível. Os oito GCPs coletados foram combinados de quatro em quatro e testados, selecionando a combinação que retornava os menores erros.

A base de dados alimentada com todas estas informações é capaz de estabelecer uma relação entre as coordenadas 3D do mundo real (x , y e z) com as coordenadas 2D da imagem (u,v), a geometria gerada na primeira imagem média é aplicada repetidamente para todos os 126 frames seguintes gerados a partir de cada vídeo, uma vez que a câmera está estabilizada no totem de observação e não apresenta movimento. Como resultado, tem-se uma imagem retificada (Figura 5), correspondente a cada frame, ou seja, 127 imagens retificadas para cada vídeo de 17 minutos. Onde cada pixel representa o mesmo tamanho independente da distância que se está da fonte de captura de imagem, já que estabelecemos na base de dados qual seria a resolução da imagem retificada.

**Figura 5 – a) Imagem média, porém oblíqua, na posição que foi capturada em campo.
b) Imagem retificada com eixos das coordenadas.**



Elaborado pela autora (2022)

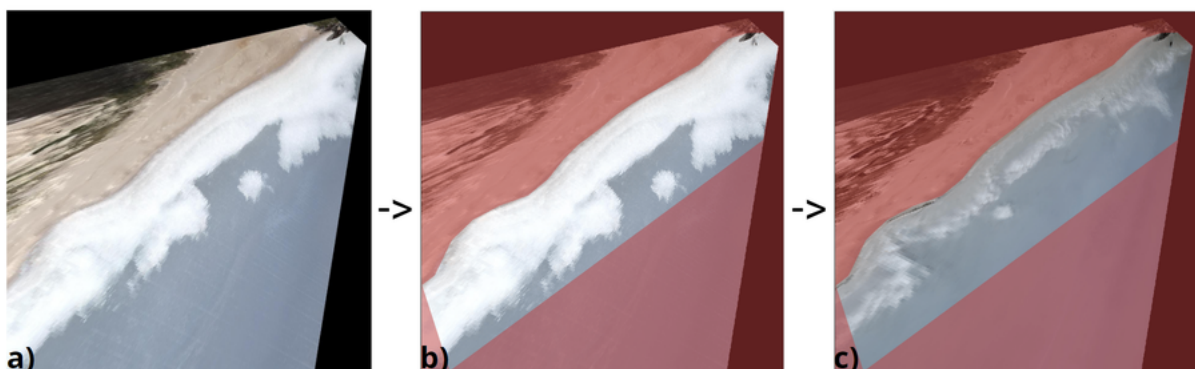
4.3 Pós processamento das imagens

Uma vez que as 127 imagens das médias móveis foram retificadas pode-se iniciar o processo de cálculo do campo vetorial de velocidade do fluxo através do PIV. O PIV ou velocimetria de partículas na imagem (tradução literal) é uma técnica comumente aplicada para revelar a tendência do fluxo de partículas de uma imagem (THIELICKE & STAMHUIS, 2014). Em essência ele captura a variação espacial das partículas de um fluido entre imagens subsequentes em um Δt , que é o tempo decorrido entre a captura de uma imagem e outra, em seguida calcula o sentido de deslocamento das partículas desse fluido, podendo gerar campos vetoriais com tendências de fluxo e velocidade de deslocamento. Neste sentido, foi utilizada uma ferramenta de código aberto apresentada em uma interface gráfica para usuário o PIVlab que será apresentada a seguir.

4.3.1 PIVlab

Em tal método (PIVlab) desenvolvido por Thielicke & Stamhuis (2014) é preciso importar e carregar as 127 imagens retificadas, de cada um dos vídeos. Nele delimita-se a área de interesse sobre a qual se deseja calcular a velocidade do fluxo, aplicando uma máscara. Para definir os limites da máscara foram utilizadas as imagens de máximo brilho de cada vídeo, e assim foi possível observar, pela emissão de brilho, os limites da zona de surfe. A máscara foi aplicada então sobre a imagem de brilho máximo e salva sendo em seguida, carregada e aplicada para todas as imagens de médias móveis (Figura 6) do vídeo cuja imagem de brilho máximo corresponde, para então ser estimada a velocidade do fluxo apenas dentro do domínio da área delimitada. Este procedimento foi adotado para que fosse minimizada a influência da dinâmica externa à zona de quebra de ondas, no cálculo da média da velocidade do fluxo, realizando a determinação dos fluxos apenas na região de interesse, otimizando o processamento.

Figura 6 – a) Imagem de brilho máximo, evidenciando a zona de quebra de ondas. b) Máscara aplicada aos limites da imagem de brilho máximo. c) Imagem de média móvel, com a máscara aplicada.



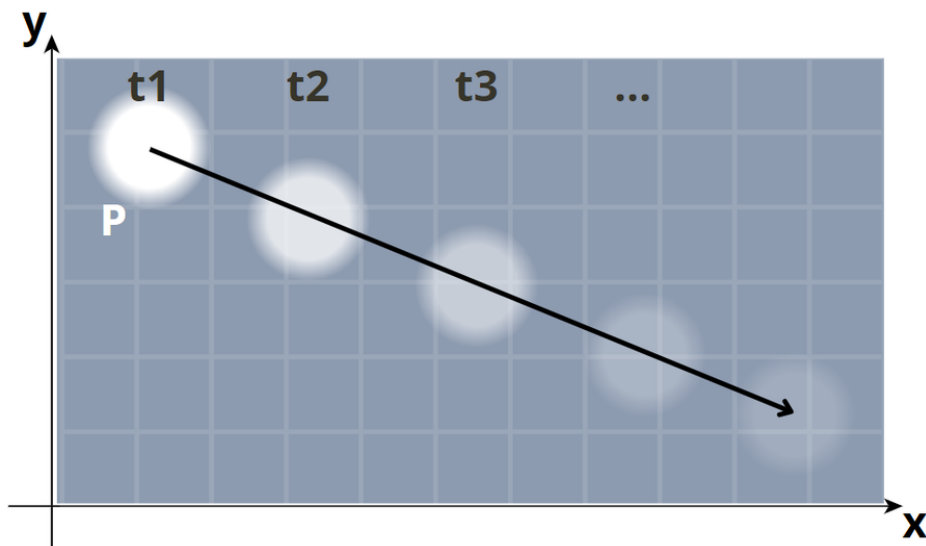
Elaborado pela autora (2022)

Nas configurações do PIVlab é possível delimitar a área de interrogação sobre a qual será

buscada a correlação entre um par de imagens. A correlação busca encontrar o padrão de partícula da área de interrogação A, de uma imagem, de volta à área de interrogação B, na imagem seguinte. A localização da partícula na matriz de correlação resultante C dá o deslocamento mais provável das partículas de A para B (THIELICKE & STAMHUIS, 2014). Esse processo é delimitado pelas áreas de interrogação determinadas pela quantidade de pixels (pxs) sobre a qual o PIVlab irá calcular cada vetor.

Na figura 7 abaixo está exemplificado como o deslocamento da partícula entre quadros consecutivos pode gerar o vetor deslocamento. O tempo t_1 na primeira imagem o ponto P tem sua posição (x,y,t) , no quadro subsequente, o ponto P agora tem sua posição (x,y,t) , essa variação de deslocamento sucessiva entre um quadro e outro vai revelando a direção do vetor, até que o ponto de referência suma. No nosso caso a banda branca da espuma formada pela quebra de onda, vai sumindo ao longo do tempo, entretanto flui para uma direção da imagem, esse fluxo é determinado conforme a explicação acima.

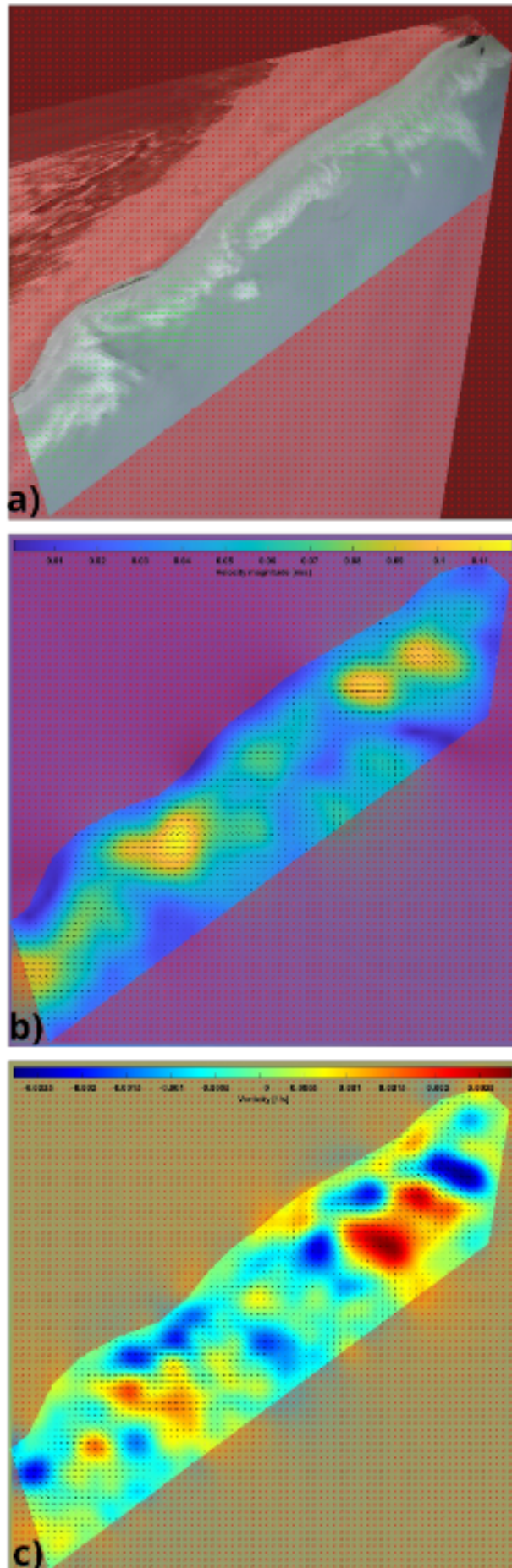
Figura 7 – Exemplo do cálculo do vetor sobre o deslocamento da partícula.



Elaborado pela autora (2022)

Nas configurações de análises foi utilizada uma área de interrogação de 64x64 pxs (32x32 m) com sobreposição de 50 %, ou seja, 32x32 pxs (16x16 m). E em uma segunda passagem com uma área de interrogação de 32x32 pxs (16x16 m), também com sobreposição de 50 %, então um degrau de 16x16 pxs (8x8m), e uma robustez de correlação padrão “Standard”. Depois de aplicar a análise para um único frame é possível aplicá-la para todos os demais em paralelo, resultando em uma imagem de campo vetorial para todos os frames (Figura 8).

Figura 8 – a) Campo vetorial médio gerado sobre a imagem. b) Gradiente de magnitude de velocidade. c) Gradiente de vorticidade.



4.3.2 Calibração de velocidade das partículas

A unidade de medida utilizada pelo PIVlab foram pixels, mas isso deve ser convertido para unidades reais na aba de calibração, onde é possível relacionar uma dimensão conhecida da imagem e calibrá-la com essa referência. É sabido que o eixo da imagem retificada é 600 m e que o intervalo tempo de 8 s, esses valores são utilizados para calibrar as dimensões da imagem e assim ela consegue dar o valor de cada pixel em m/s e sua coordenada u e v .

Na aba de validação de dados de velocidade é preciso filtrar os limites de validação para os valores atípicos de velocidade que porventura tenham ocorrido ao decorrer do processamento. É possível ainda filtrar os valores de velocidades selecionando no gráfico de distribuição os valores mais próximos do que se pretende analisar, os valores mantidos para as componentes “ u ” e “ v ” de velocidade foram entre -1 e 1 m/s, os vetores descartados nessa filtragem sofrem uma interpolação e são substituídos pelos valores interpolados. Segundo Anderson e colaboradores (2021), limitar os valores de velocidade para todos os casos utilizando a mesma janela de intervalo favorece o processo de comparação entre eles, e sugere que os valores extremos são responsáveis pelo aumento dos erros.

Após todos esses processos é possível gerar os resultados com os dados, calculando a média de velocidade entre todos os frames, onde é gerado uma última imagem com o campo vetorial médio. Também é possível aplicar um gradiente da magnitude de velocidade e vorticidade (Figura 8), onde podem ser observados padrões de velocidade e comportamentos de vorticidade.

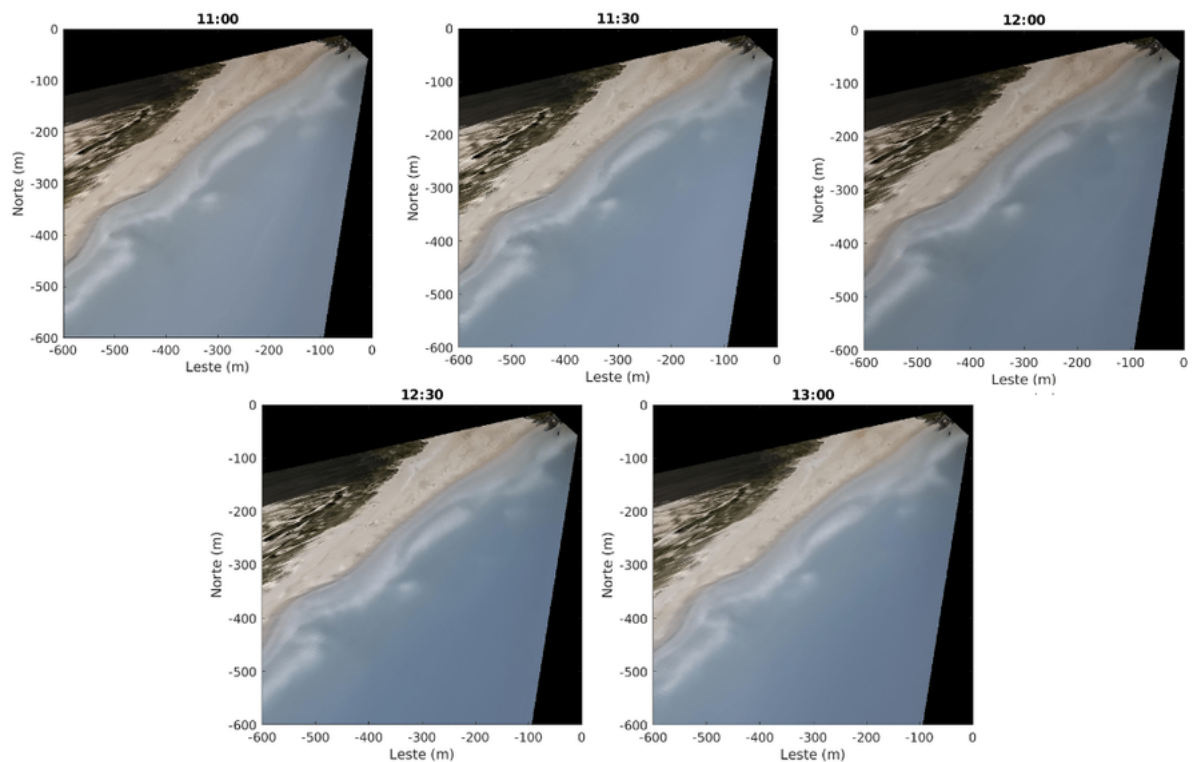
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Morfologia

Nas imagens médias de 17 min de cada vídeo, puderam ser observadas e classificadas algumas feições morfológicas da costa, distintas para os dois dias (Figuras 9 e 11), evidenciando mudanças morfológicas locais.

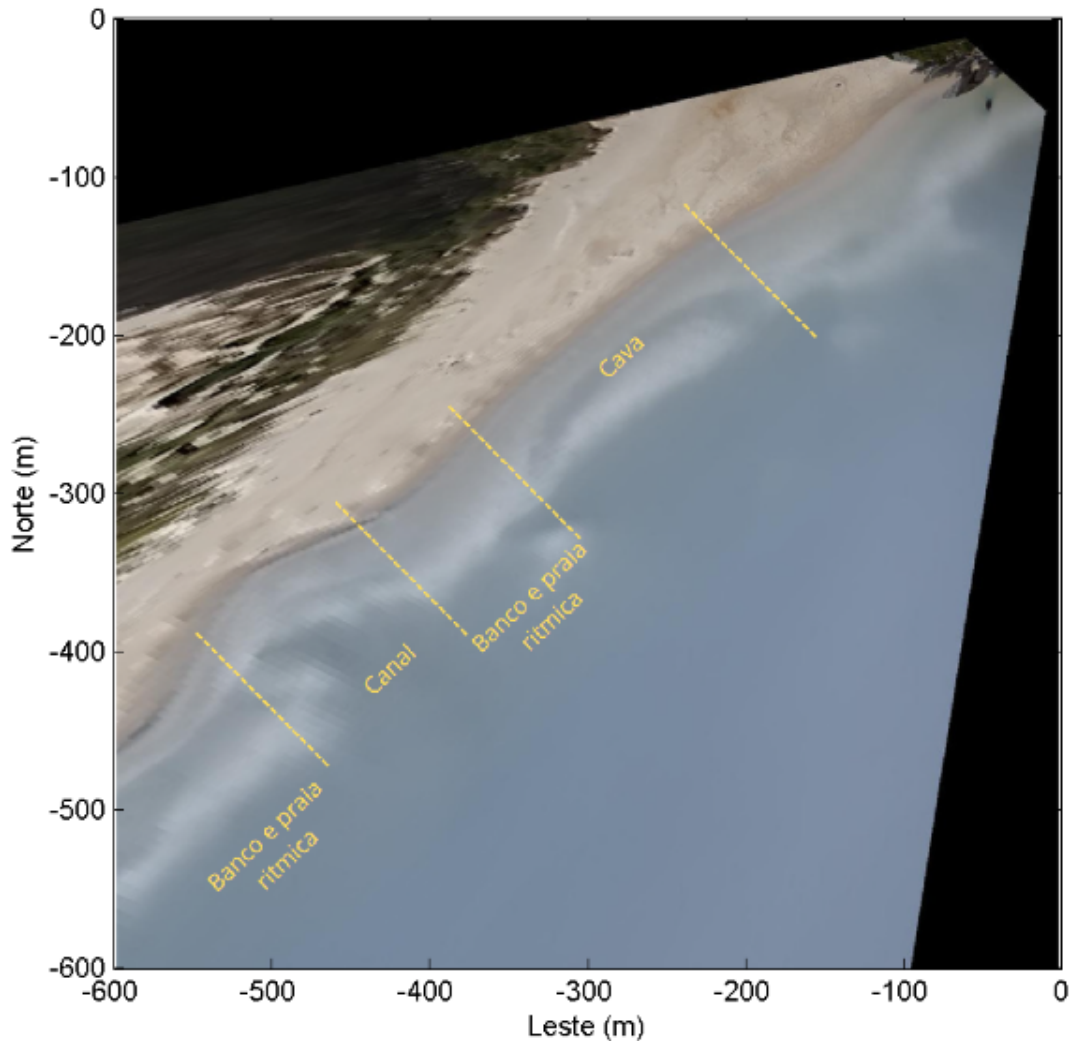
Com o método aplicado, foi possível observar na região de interesse, a quebra das ondas, que aparecem como regiões mais claras das imagens. Em águas rasas as ondas quebram pela interação com o fundo, sendo o branco utilizado na determinação de regiões mais rasas onde ocorreram quebras concentradas das ondas indicando a presença de bancos arenosos. Nas regiões onde não há a presença constante de espuma, onde na imagem se encontram tons mais azulados/acinzentados, há outras feições, como a presença de cavas longitudinais ou canais (LIPPMANN & HOLMAN, 1989). O contorno da linha de costa também é um ponto importante a ser observado, e pode nos dar algumas informações sobre as feições presentes na zona de surfe.

Figura 9 – Compilado com as médias de 17 min de todos os horários do dia 04/02/2022.



Elaborado pela autora (2022)

Figura 10 – Timex de 11:00 ampliado com interpretação sobre a morfologia para o dia 04/02/2022.

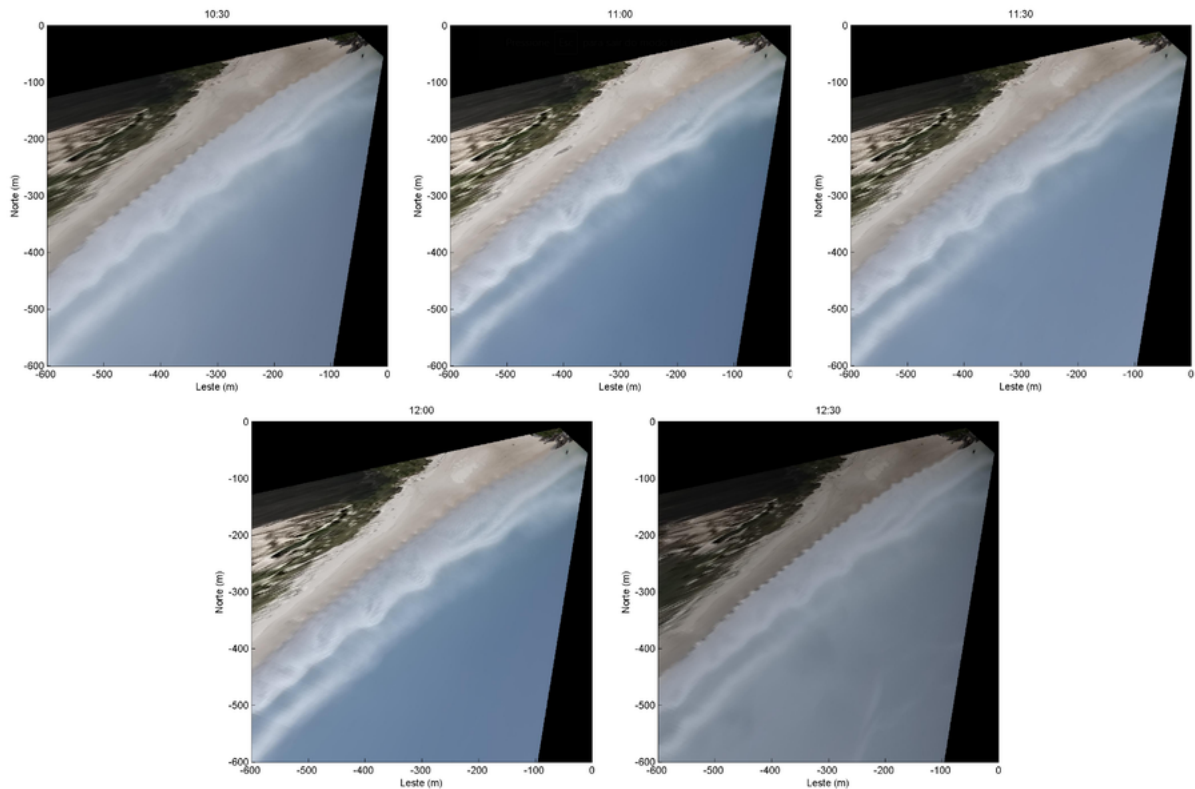


Elaborado pela autora (2022)

É possível observar na figura 10 a ocorrência de dois bancos ativos, na porção norte da praia, evidenciados pela presença de uma cava longitudinal (-200, -200 m) entre eles, bem marcada, com uma certa deformação nas extremidades, que pode indicar uma tendência a classificação de banco e praia rítmica de acordo com a classificação proposta por Short & Aagaard (1993), pela repetição menos evidente, ao longo da costa, deste mesmo padrão, no sentido sul. Essa feição é rompida pela presença de um canal transversal (-400, -400 m), evidenciado pelo embaiamento na linha de costa (-500, -350 m). Mais ao sul é possível notar, novamente, a presença dos bancos externo e interno (-550, -500 m), o que dá continuidade ao padrão de banco e praia rítmica.

Na mesma análise feita para as imagens do dia 08 de abril de 2022, o padrão da morfologia encontrada foi diferente. Apresentando um padrão de cúspides ao longo da linha de costa e bancos duplos.

Figura 11 – Compilado com as médias de 17 min, de todos os horários do dia 08/04/2022.

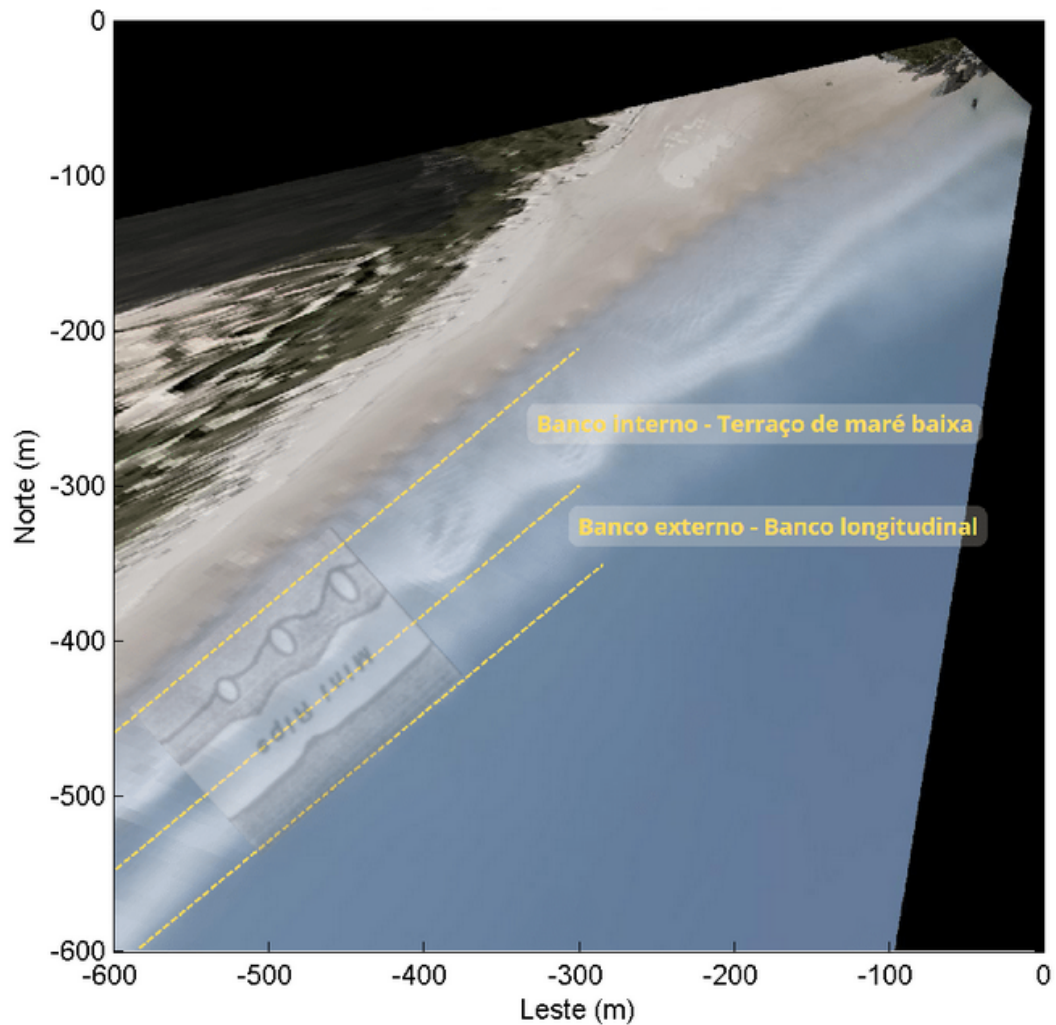


Elaborado pela autora (2022)

O banco externo aparece contínuo e bem marcado e o banco interno apresenta-se soldado à praia (Figura 12). Esses padrões se encaixam na classificação proposta por Short & Aagaard (1993) para praia com múltiplos bancos, onde o banco interno pode ser classificado como terraço de maré baixa entre os pares ordenados (-100, -200 m) e (-600, -500 m) e o banco externo como banco longitudinal entre os pares ordenados (-300, -350 m) e (-600, -600 m). O padrão apresentado por Short & Aagaard (1993) representa um estado transitório entre correntes de retorno ativas ou inativas, as quais foram denominadas por eles de Mini rips, aspectos que serão discutidos posteriormente.

Segundo resultados de pesquisas anteriores, a morfologia praial na Ponta das Aranhas pode eventualmente apresentar até três bancos longitudinais, se houver energia de ondas o suficiente (SILVA, 2006).

Figura 12 – Timex de 11:00 ampliado e interpretado para o dia 08/04/2022.



Elaborado pela autora (2022)

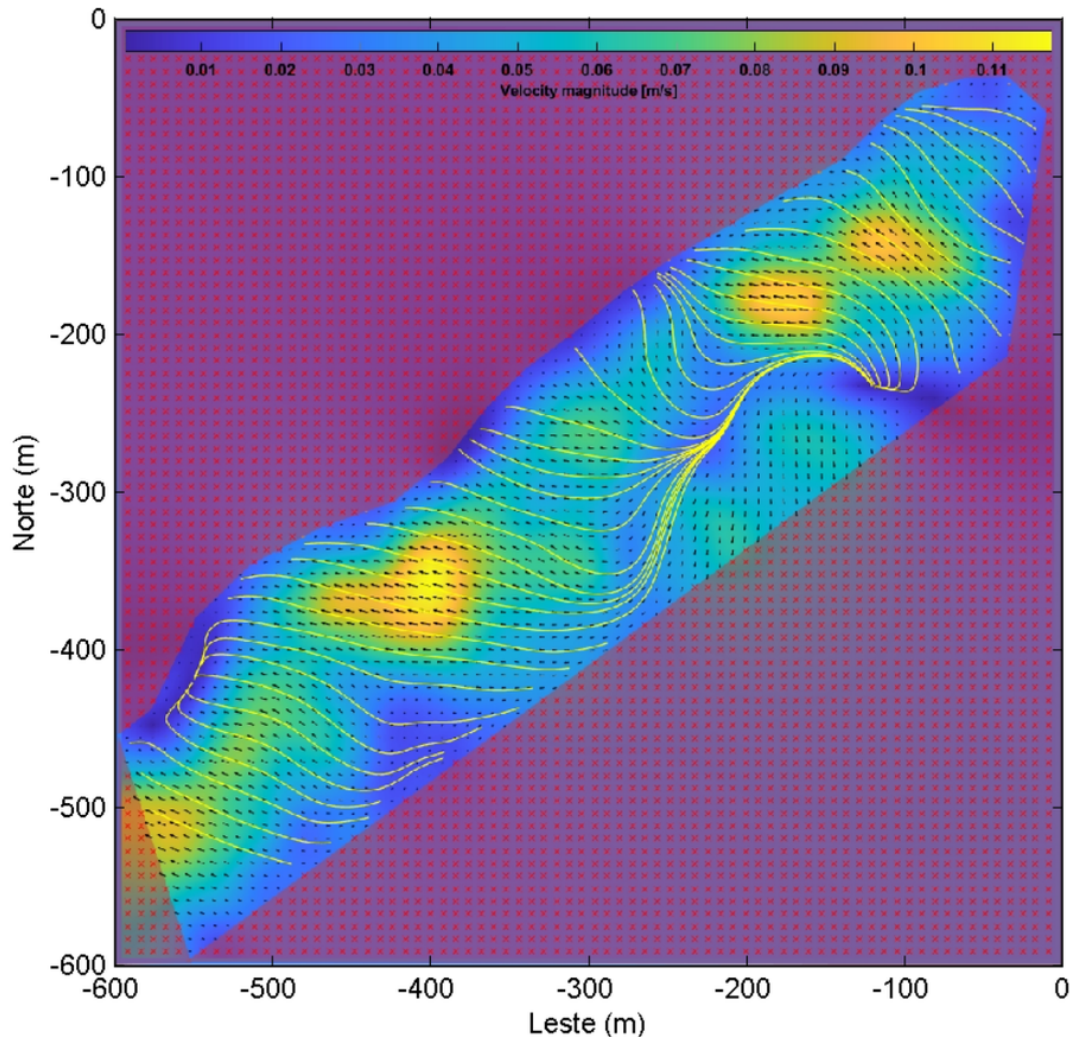
5.2 Padrões de circulação

Os padrões de circulação costeira no geral estão relacionados à combinação entre a dinâmica das ondas incidentes e os aspectos morfológicos vistos anteriormente. A altura da onda e o ângulo de incidência sobre a barra externa são fundamentais para determinar o tipo de comportamento do padrão de fluxo sobre a barra interna. Resultando em uma variação do fluxo de uma circulação padrão, para ondas normais, até uma corrente meandrante ao longo da costa à medida que o ângulo de incidência aumenta (MACMAHAN ET AL., 2010).

Os padrões de circulação puderam ser inferidos a partir das imagens de magnitude de velocidade geradas no PIVlab sobre os campos vetoriais de velocidade, bem como suas linhas de tendência (Figuras 13 e 16). O gradiente de velocidade é crescente do azul para o amarelo, com as menores velocidades em azul mais intenso e as maiores velocidades em amarelo. Os limites de velocidade foram de 0.01 a 0.11 m/s, exceto para o horário de 13:00, que teve limites entre 0.02 e 0.12 m/s. Aqui foi apresentado o padrão de circulação e as linhas de tendência para o

horário de 11:00, os demais horários se encontram no Apêndice A, ao final do trabalho.

Figura 13 – Campos vetoriais e linhas de tendência gerados para as 11:00 do dia 04/02/2022.



Elaborado pela autora (2022)

Na figura acima podemos observar as regiões de aumento e diminuição da velocidade. As regiões em azul escuro são onde a velocidade diminui, mais adiante quando forem relacionadas às imagens do padrão de circulação com a imagem de morfologia será possível notar que a região azul escura coincidirá com a presença do banco interno (-200, -250 m). Assim como as regiões adjacentes em amarelo, estão alinhadas às cristas dos bancos rítmicos (-100, -150 m) e (-400, -350 m). Outra região onde a velocidade diminui, em azul escuro nas coordenadas (-400, -450 m), coincide com um canal que corta os dois bancos transversalmente.

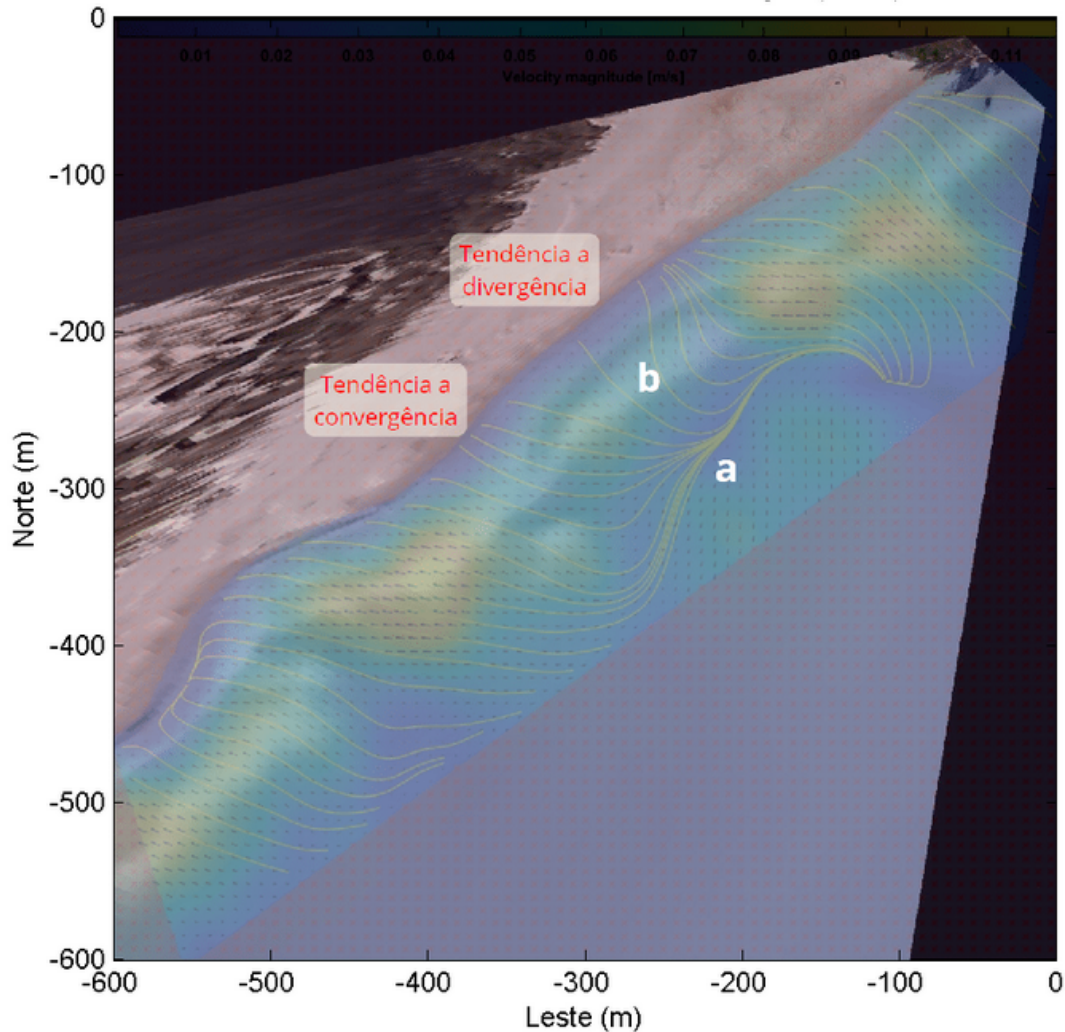
Segundo Holman & Stanley (2007) a espuma branca marca a assinatura da presença de banco pois a velocidade diminui quando o fluxo encontra o banco, já que a onda tem sua velocidade reduzida na base culminando no processo de quebra de onda (SHORT & WRIGHT, 1983).

A figura 14 apresenta o padrão da magnitude do fluxo registrado no dia 04 de fevereiro de 2022 às 11:00 horas. O padrão observado foi de menor velocidade na região limítrofe ao

banco na qual espera-se que domine o processo de quebra de onda. As linhas, representadas na cor amarela, na figura, indicam a tendência direcional dos vetores que compõem o campo de velocidade do fluxo observado. O agrupamento das linhas representa a convergência dos vetores em uma mesma direção e sentido (figura 14-a). A partir da análise da tendência direcional observa-se que o padrão do fluxo predominante foi de corrente longitudinal à costa, na direção sul, limitada por baixas profundidades, em uma região de afastamento das linhas (figura 14-b).

Outro resultado que corrobora com essa informação é o gráfico de dispersão das componentes de velocidade (Figura 15). Nele a componente v (longitudinal) teve maior variação, e apresentou um comportamento de deslocamento predominantemente no sentido sul, padrão que permaneceu nos horários subsequentes, sem variações expressivas, como pode ser verificado no Apêndice C, onde encontram-se as demais figuras. A tabela 2 traz dados obtidos pelo modelo *Wavewatch III*, desenvolvido pelo *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) da NOAA, sobre características das ondas nos dias amostrados, e para o dia 04/02/2022 a angulação variou de 76° a $77,33^\circ$, portanto vindas de leste.

Figura 14 – Imagem do gradiente de magnitude de velocidade sobreposta a imagem da média de 17 minutos, interpretada do dia 04/02. a - tendência à convergência. b - tendência a divergência.

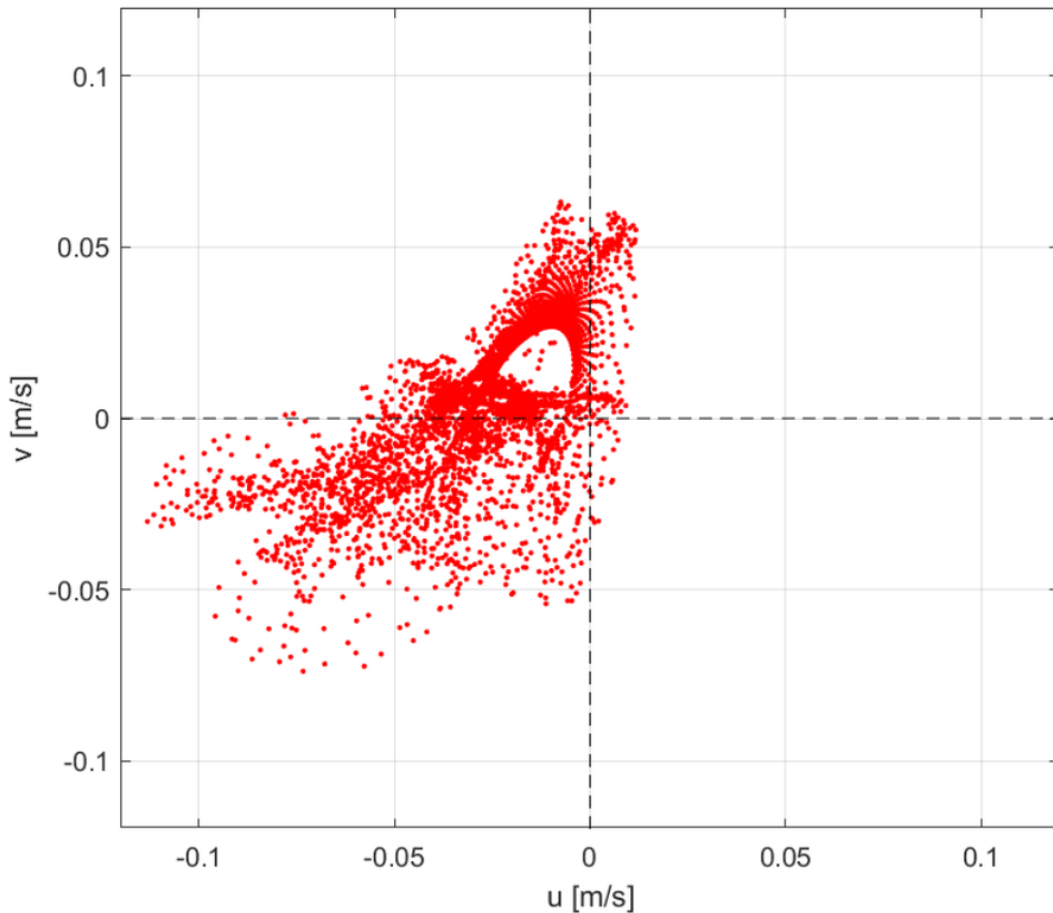


Elaborado pela autora (2022)

O processo de refração de ondas e geração de células de circulação pode ser evidenciado pela direção do campo vetorial e pela presença das zonas de convergência - sobre a crista dos bancos rítmicos - e divergência - nos canais. Outra evidência é dada pela morfologia da linha de costa, que apresenta uma feição rítmica alinhada à zona de convergência, e retraída alinhada à zona de divergência, indicando a possível existência de células de circulação no transporte sedimentar. Esse padrão é comum quando os bancos encontram-se rítmicos, apresentando saliência e baía ao longo da costa.

A refração ocorre quando uma onda se propaga obliquamente em direção a costa e uma parte sua sofre influência do fundo antes da outra, isso quer dizer que uma parte da onda é freada pelo fundo antes da outra. A onda então se deforma, podendo convergir ou divergir em regiões diferentes. Na figura 14 a presença do banco antecipou a influência da onda com o fundo, marcado pelo azul escuro do gradiente, e fez com que o fluxo fosse refratado para as regiões vizinhas onde o fluxo aumenta, aumentando também a velocidade, evidenciado pela cor amarela.

Figura 15 – Gráfico de dispersão das componentes de velocidade do fluxo 04/02/2022 - 11:00.



Elaborado pela autora (2022)

Ao combinar os dados de maré e altura de onda da tabela 2 na análise da figura 14 acompanhada das demais figuras do apêndice A, podemos observar, que ao longo do período amostrado a maré e a altura de onda diminuem, portanto a tendência do fluxo gerada pela combinação dessas duas forçantes se opõem. No entanto, paralelamente a isso a velocidade no canal transversal (-400, -400 m) se torna cada vez menor no sentido da costa.

Variações de maré e altura de onda estão relacionadas a alterações na intensidade da velocidade. Enquanto a diminuição da maré (vazante) potencializa a ocorrência de correntes de retorno ou fluxo contrário a costa (inversamente proporcional), a diminuição da altura de onda diminui a intensidade desse fluxo (diretamente proporcional) (DALRYMPLE et al., 2011). Entretanto, neste caso, as variações de maré e altura de onda não são expressivas, logo não é razoável atribuir a elas a causa das variações de velocidade.

Já para o dia 08 de abril de 2022 outro padrão de circulação foi identificado. Os limites de velocidade dados pelo gradiente, nesse dia, foram de 0,01 até 0,09 m/s. Como dito anteriormente, o padrão morfológico foi compatível com o descrito por Short & Aagaard (1993), que classifica

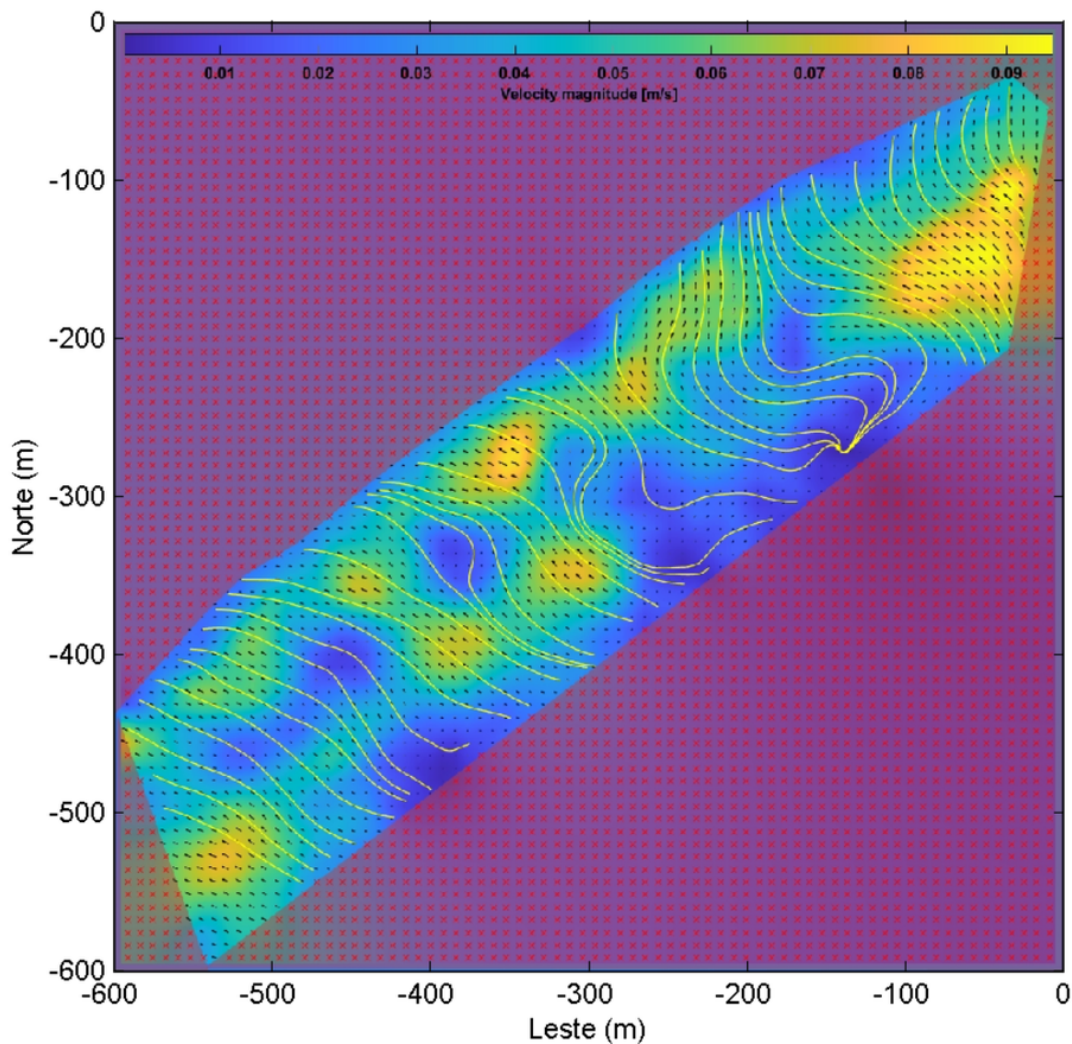
Tabela 2 – Dados de onda e maré. Hs = Altura significativa. Dp = Direção de pico. Tp = Período de pico.

Data	Hora	Maré (m)	Hs (m)	Dp (graus)	Tp (s)
04/02/2022	11:00	0,73	1,33	76,00	8,76
	11:30	0,80	1,31	76,50	8,78
	12:00	0,78	1,29	77,00	8,80
	12:30	0,75	1,28	77,17	8,82
	13:00	0,73	1,26	77,33	8,82
08/04/2022	10:30	0,42	1,23	11,20	6,26
	11:00	0,43	1,22	11,20	6,27
	11:30	0,45	1,22	11,20	6,28
	12:00	0,47	1,21	11,20	6,28
	12:30	0,48	1,21	11,22	6,28

Elaboração própria. Fonte dos dados de maré: Marinha do Brasil, 2022. Dados de onda: NCEP NOAA.

a praia como terraço de maré baixa e banco longitudinal, mostrado na figura 12. A partir disso, podemos investigar a relação do padrão de circulação esperado e o calculado pelo PIVlab, apresentados na figura 16.

Figura 16 – Campos vetoriais e linhas de tendência gerados para 11:30 do dia 08/04/2022.



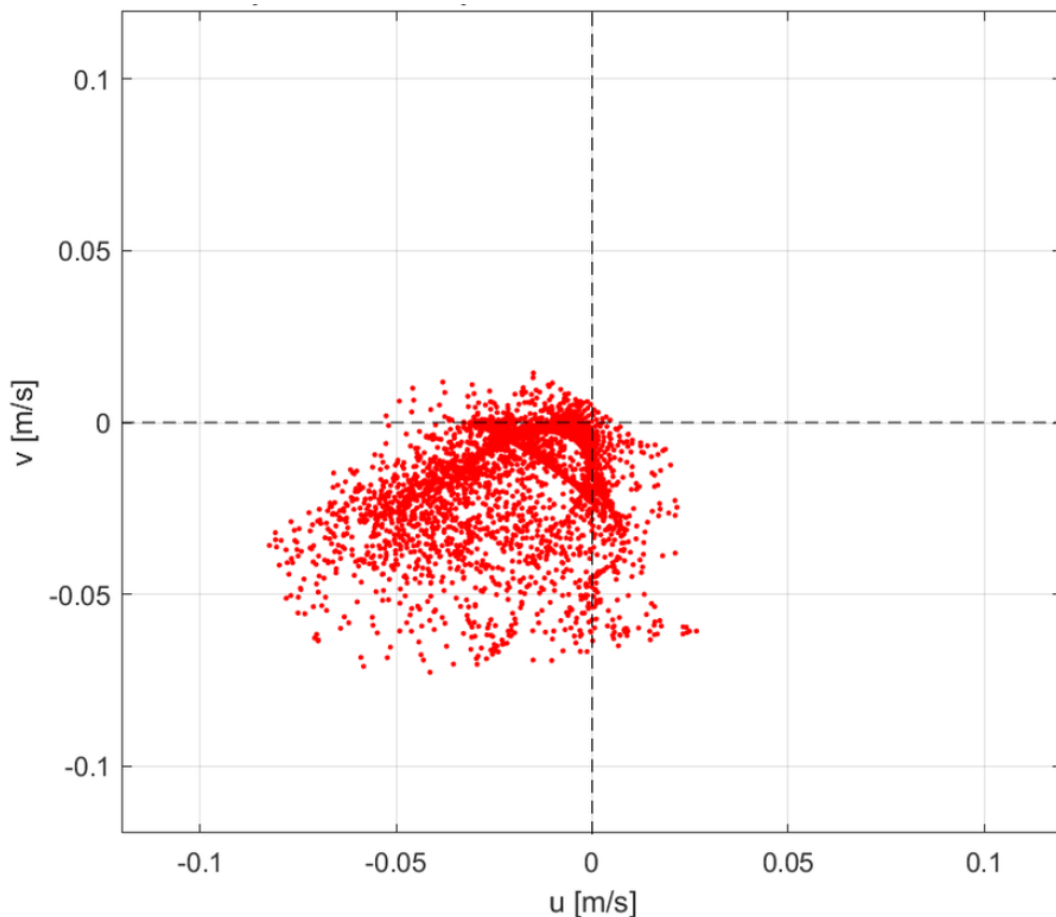
Elaborado pela autora (2022)

Na figura acima podemos observar as regiões de aumento e diminuição da velocidade. Existem duas linhas diagonais na imagem onde os padrões de azul e amarelo se alternam, isso pode indicar uma tendência rítmica, de dois bancos.

Assim como no dia 04/02/2022 a tendência do fluxo evidenciado pela dispersão das componentes vetoriais da velocidade evidenciam a predominância do deslocamento da componente longitudinal (v) no sentido sul (Figura 17), o que corrobora com a informação trazida na tabela 2 sobre o ângulo de incidência das ondas no dia que foi de $11,20^\circ$, logo vindas de norte. Essas ondas na região amostrada, sofrem refração próximas a costa propagando-se em outro ângulo em direção a praia. Entretanto, no dia 08/04/2022, o cenário no período amostrado era de maré enchente, enquanto a altura de onda diminuía. Neste caso, as duas forçantes se aliam no sentido de suprimir o fluxo contrário a costa. Porém, no momento em que a maré esteve mais baixa (10:30) foi observada uma predominância de baixas velocidades, evidenciada pelo histograma, e uma dispersão também para o sentido leste, da componente transversal (u) da velocidade. Também é possível notar nas figuras de campos vetoriais, que sob o par ordenado $(-320, -280)$,

houve a persistência de um núcleo de baixa velocidade que coincide com uma crista rítmica, o que poderia indicar uma tendência a formação de um fluxo contrário ao sentido da costa. Entretanto, como pode ser observado na tabela 2 as variações de altura de tais variáveis foram muito pequenas, o que impossibilita afirmar que tais variações são responsáveis por variações da intensidade da velocidade ao longo do período amostrado.

Figura 17 – Gráficos de dispersão das componentes de velocidade do fluxo do dia 08/04/2022 - 11:30.

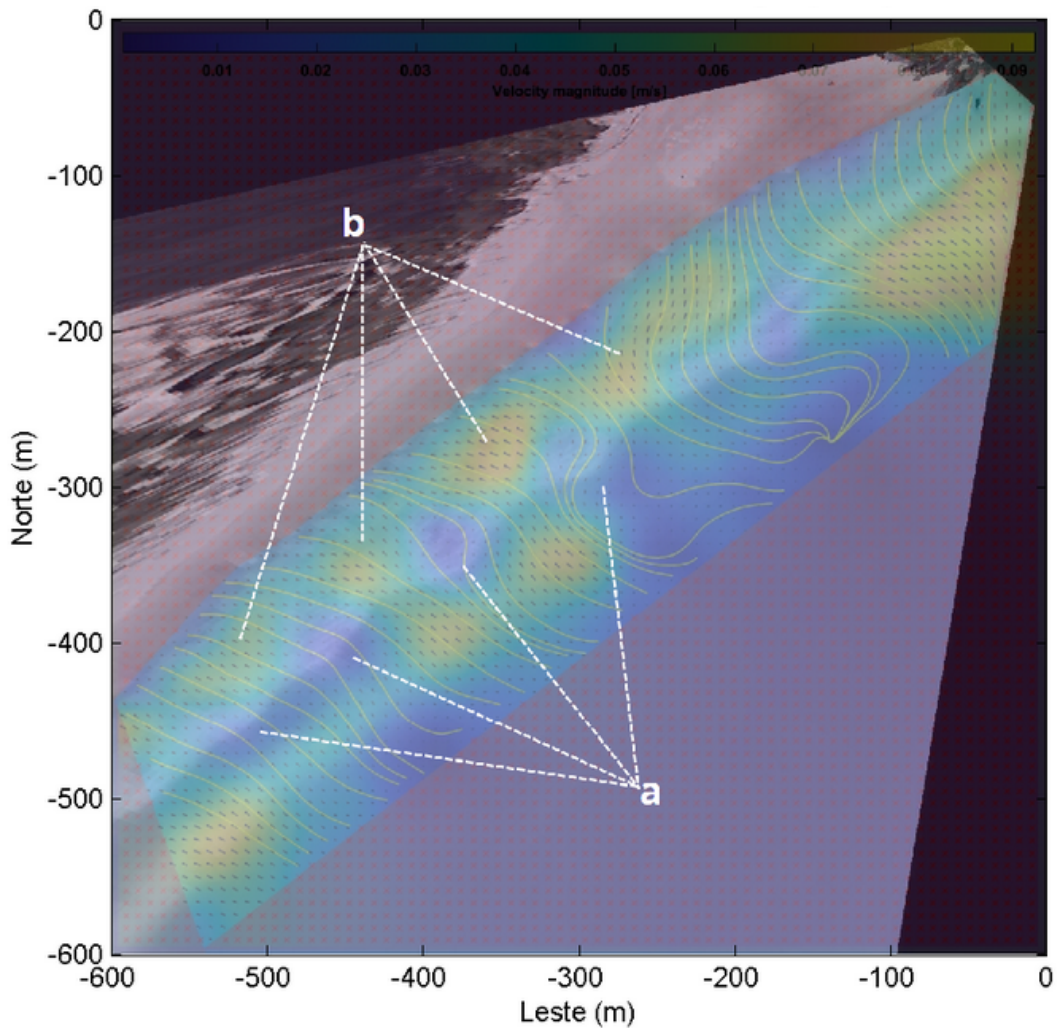


Elaborado pela autora (2022)

Segundo Short & Aagaard (1993), praias com características de terraços de maré baixa e banco longitudinal podem apresentar, o que eles chamaram de Mini rips, que seriam pequenas correntes de retorno visivelmente presentes nas cristas rítmicas marcadas pelas bandas brancas da quebra de onda, na imagem, formadas pela interação das ondas com o banco interno.

Na figura 18 é possível notar, uma diminuição da velocidade do fluxo, justamente nesses locais (Figura 18-a). Quando a onda quebra e a energia é dissipada, nas regiões entre as cristas rítmicas do banco a velocidade aumenta (Figura 18-b), enquanto nas cristas em si a velocidade é reduzida pela tendência do fluxo contrário, nas regiões onde estariam se formando essas Mini rips esperadas pelo modelo (SHORT & AAGAARD, 1993). Ou seja, a diminuição de velocidade nessas regiões pode ser uma evidência de que realmente essas zonas possuem uma tendência à atividade de correntes de retorno em uma situação de maior energia de ondas.

Figura 18 – Imagem do gradiente de magnitude de velocidade sobreposta a imagem da média de 17 minutos do dia 08/04/2022 às 11:30. a - baixas velocidades. b - altas velocidades.



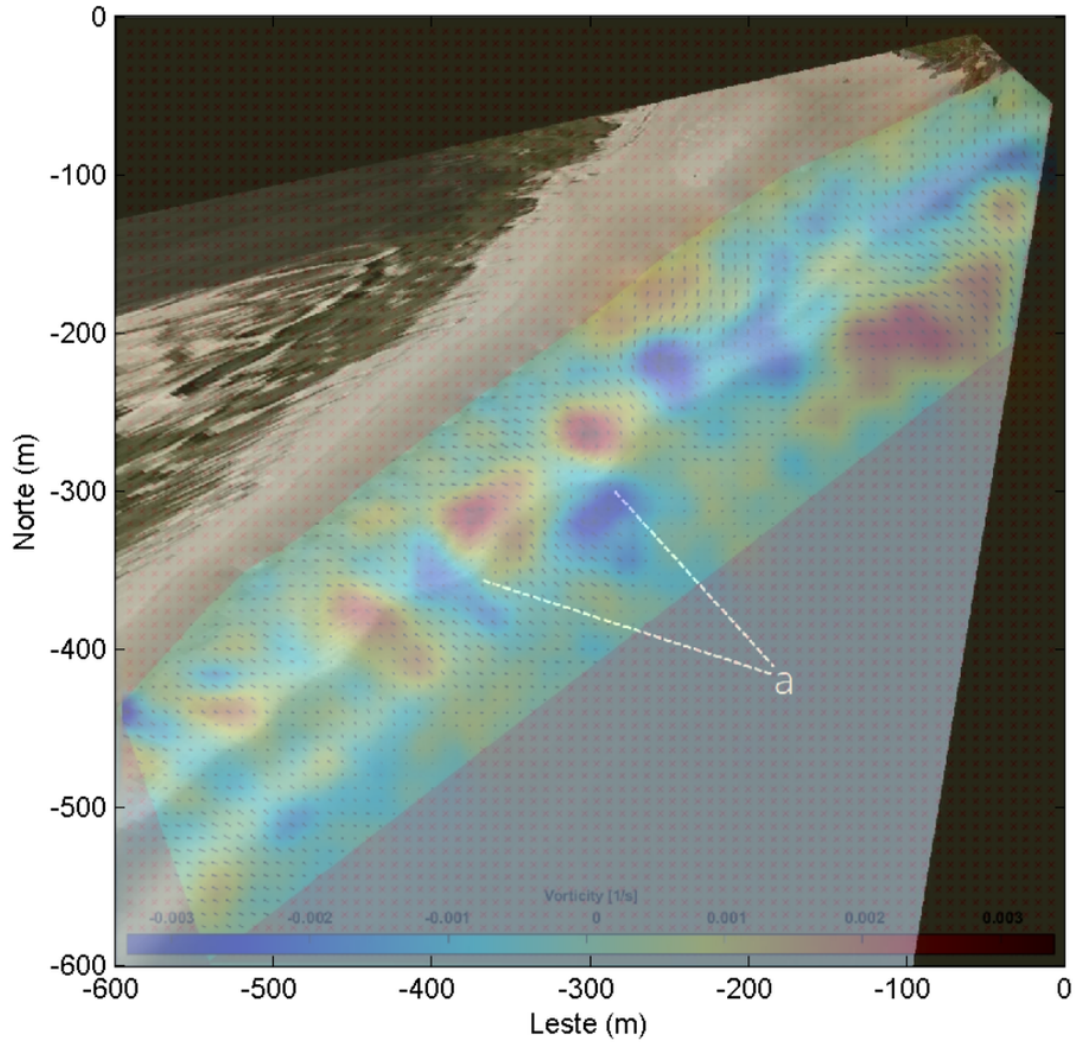
Elaborado pela autora (2022)

Além disso, o escoamento da zona de arrebentação, em algumas condições, pode ser considerado uma camada limite turbulenta (DALRYMPLE et al., 2011), então esse padrão de aumento do gradiente de velocidade gera zonas turbulentas. Essas regiões de turbulência aumentam a entropia que favorecem a formação de vórtices (LONG & ÖZKAN-HALLER, 2009). Em estudos anteriores feitos por Dalrymple e colaboradores (2011) foi constatado a tendência do fluxo das correntes de retorno se estabelecerem entre os máximos e mínimos de vorticidade.

Como podemos verificar na figura 19, os máximos e mínimos de vorticidade se alternam próximos ao banco interno, e em algumas regiões (figura 19-a) as cristas rítmicas estão próximas ao espaço entre essas regiões de máximos e mínimos (-450, -350 m) e (-320, -280 m). Isso pode indicar que o momento em que o vídeo foi feito pode representar um estado transitório de formação de correntes de retorno. E que possivelmente em uma situação de maior energia tais correntes poderiam estar ativas, como o esperado para o modelo de Short & Aagaard (1993) para

essas circunstâncias morfodinâmicas. Além do mais, é possível notar um segundo padrão de vórtices vinculados às cúspides da linha de costa.

Figura 19 – Padrão de vorticidade sobreposto a imagem da média de 17 minutos do dia 08/04/2022 às 11:30.



Elaborado pela autora (2022)

6 CONCLUSÃO

Este trabalho buscou compreender a relação entre a morfologia, as condições hidrodinâmicas e os padrões de circulação costeira utilizando o vídeo imageamento, pois tais processos têm grande importância em relação a dinâmica praial, tanto paisagisticamente quanto socialmente.

A partir da combinação de um método alternativo de imageamento através do registro de imagens por um celular, combinado com metodologias complementares de determinação da trajetória de partículas da superfície do mar, foi possível estimar a velocidade do fluxo e o comportamento das correntes costeiras.

Por meio da análise dos dados, estabeleceu-se relações entre feições morfológicas dentro da zona de surf e a circulação costeira presente em uma praia arenosa com dois bancos. Verificou-se que existem evidências de que tais fatores possuem uma relação de interdependência, onde um pode influenciar no comportamento do outro.

Objetivou-se com o trabalho identificar padrões de circulação costeira por meio de técnicas de vídeo imagens. A análise permitiu concluir que as técnicas de vídeo imageamento têm se mostrado uma alternativa inovadora frente aos métodos convencionais para identificação de padrões de circulação costeiro, não só devido a sua cobertura espacial mas também temporal.

Adicionalmente, buscou-se avaliar a relação entre a velocidade do fluxo, altura das ondas, nível do mar e morfologia. Sobre isso foi possível concluir que há evidências de uma relação entre a velocidade do fluxo e a morfologia visto que feições morfológicas parecem contribuir para as variações de velocidade, provocando zonas de convergência e divergência, por exemplo.

Em suma, as variações de maré e altura das ondas são regularmente relacionadas às variações de velocidade. Entretanto, no presente estudo, não houveram variações expressivas das forçantes hidrodinâmicas suficientes a ponto de que sejam atribuídas a elas efeitos na variação de velocidade. Portanto, estudos subsequentes com observações em momentos onde as condições hidrodinâmicas sejam mais energéticas, e com maiores variações, teriam grande valia para que sejam comprovadas essas expectativas, sobre os aspectos hidro e morfodinâmicos, sob o olhar de tal metodologia aplicada ao trabalho.

REFERÊNCIAS

- Anderson, D, Bak, A.S, Brodie, K.L, Cohn, N, Holman, R.A, Stanley, J. (2021) Quantifying Optically Derived Two-Dimensional Wave-Averaged Motions in the Surf Zone. *Remote Sens.* 13, p. 690.
- Ávila, R. A., Möller Jr, O. O., & Andrade, M. M. (2014). Uso de um ADCP para estimar concentrações de material particulado em suspensão para o estuário da Lagoa dos Patos, Brasil. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 19(2), 299-309.
- Azevedo, L. Z. (2022). O uso de geotecnologias para análise da variabilidade temporal da linha de costa do arco praiado Pântano do Sul - Açores, ilha de Santa Catarina, SC. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Graduação em Oceanografia, Florianópolis.
- Castelle, B., & Coco, G. (2012). The morphodynamics of rip channels on embayed beaches. *Continental Shelf Research*, 43, 10-23.
- Dalinghaus, C. (2016) Análise da Estabilidade da Forma em Planta e Perfil nas Praias da Barra da Lagoa, Moçambique e Ingleses, Florianópolis - SC : Aplicações em Análise de Perigos Costeiros. Florianópolis, SC. p. 200.
- Dalrymple, R. A., MacMahan, J. H., Reniers, A. J., & Nelko, V. (2011). Rip currents. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 43, 551-581.
- Davidson-Arnott, R., Bauer, B., & Houser, C. (2010). Introduction to coastal processes and geomorphology. Cambridge university press.
- Harley, M. D., Kinsela, M. A., Sánchez-García, E., & Vos, K. (2019). Shoreline change mapping using crowd-sourced smartphone images. *Coastal Engineering*, 150, 175-189.
- Harley, M. D., & Kinsela, M. A. (2022). CoastSnap: A global citizen science program to monitor changing coastlines. *Continental Shelf Research*, 245, 104796.
- Holman, R. A, Stanley, J. (2007) The history and technical capabilities of Argus. College of Oceanic and Atmospheric Sciences Oregon State University, United States, *Coastal Engineering* 54, p. 477 - 491.
- Holman, R. A, Brodie, K. L, Spore, N. J. (2017) Surf Zone Characterization Using a Small Quadcopter: Technical Issues and Procedures, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote*

Sensing, V: 55, p. 2017 - 2027.

Klein, A. H. D. F. (Eds.). (2016). Santa Catarina Beach Systems. In: Short, A. D., Brazilian beach systems (Vol. 17). Springer.

Lippmann, T. C., & Holman, R. A. (1989). Quantification of sand bar morphology: A video technique based on wave dissipation. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 94(C1), 995-1011.

Long, J. W., & Özkan-Haller, H. T. (2009). Low-frequency characteristics of wave group–forced vortices. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 114(C8).

MacMahan, J., Brown, J., Brown, J., Thornton, E., Reniers, A., Stanton, T., ... & Senechal, N. (2010). Mean Lagrangian flow behavior on an open coast rip-channeled beach: A new perspective. *Marine Geology*, 268(1-4), 1-15.

Porpilho, D.; Klein, A.H.F.; De Camargo, R.S.V.; Prado, M.F.V.; Short, A.D.Vieira da Silva, G., and Toldo JR., E.E. (2015) Bedform Classification in Front of Santinho Headland, Santinho Beach - Santa Catarina Island, Brazil. *Proceedings of Coastal Sediments'15 (San Diego - CA, USA)*, 10p.

Price, T. D. (2013). Morphological coupling in a double sandbar system. Utrecht University.

Short, A. D., & Aagaard, T. (1993). Single and multi-bar beach change models. *Journal of Coastal research*, 141-157.

Short, A. D., & Wright, L. D. (1983). Physical variability of sandy beaches. In *Sandy beaches as ecosystems* (pp. 133-144). Springer, Dordrecht.

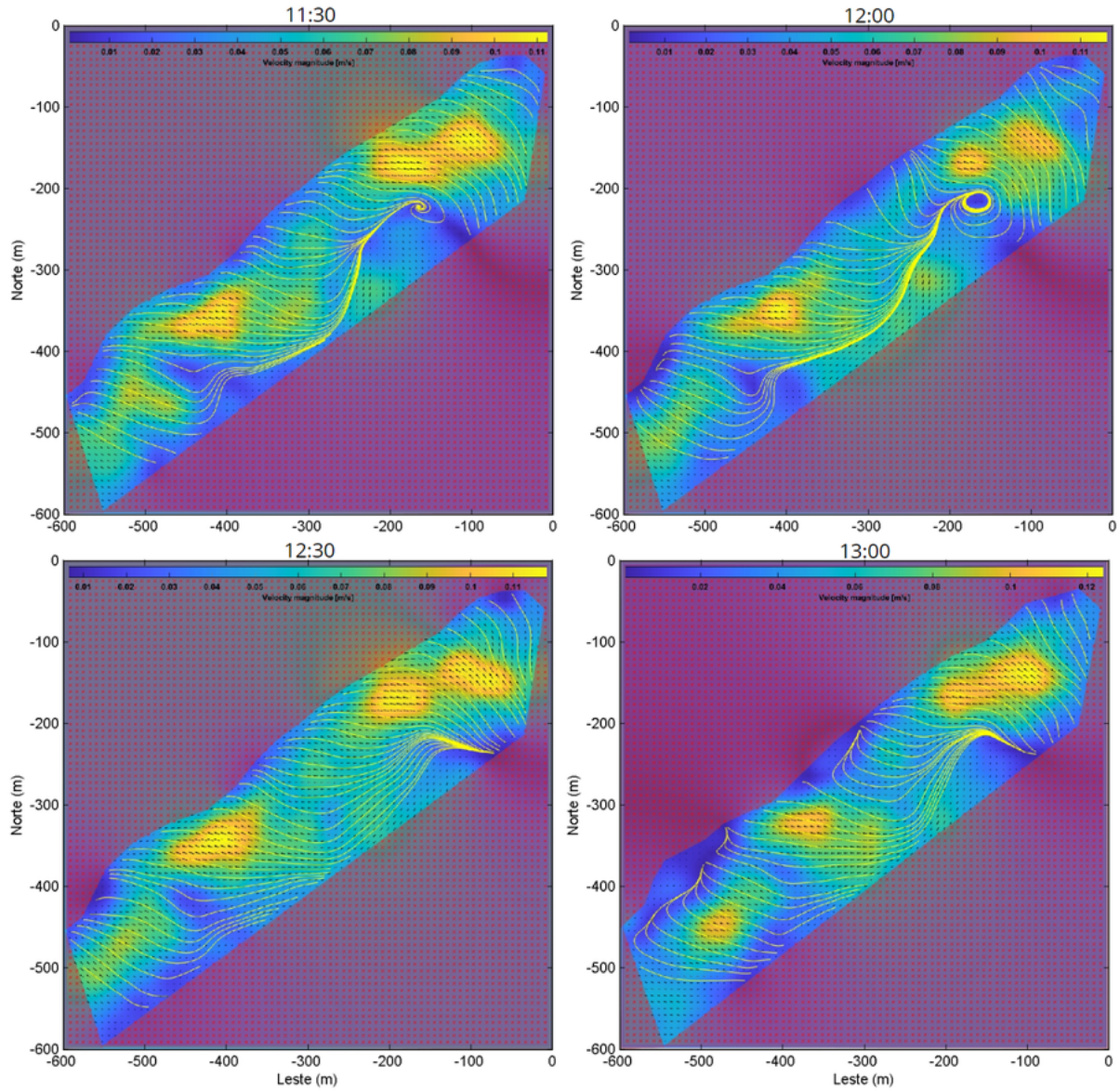
Silva, G. M., Mousavi, S. M. S., & Jose, F. (2012). Wave-driven sediment transport and beach-dune dynamics in a headland bay beach. *Marine Geology*, 323, 29-46.

Silva, G. M. D. (2006). Orientação da linha de costa e dinâmica dos sistemas praia e duna: Praia de Moçambique, Florianópolis, SC. Unpublished PhD. thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil, 293p.

Thielicke, W., & Stamhuis, E. (2014). PIVlab—towards user-friendly, affordable and accurate digital particle image velocimetry in MATLAB. *Journal of open research software*, 2(1).

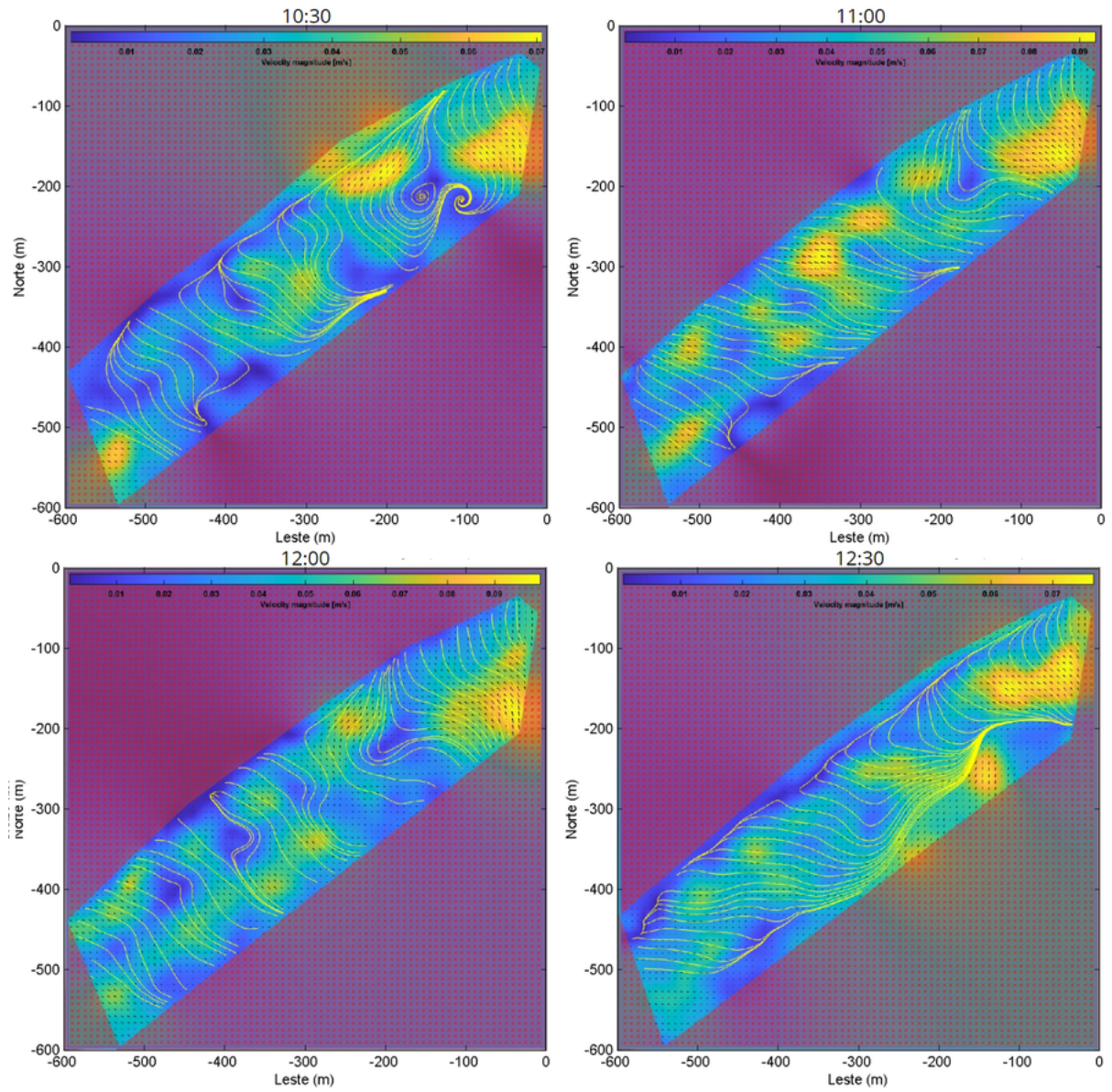
Apêndices

Figura 20 – textbfAPÊNDICE A - Figuras do padrão de circulação e linhas de tendência do dia 04 de fevereiro de 2022.



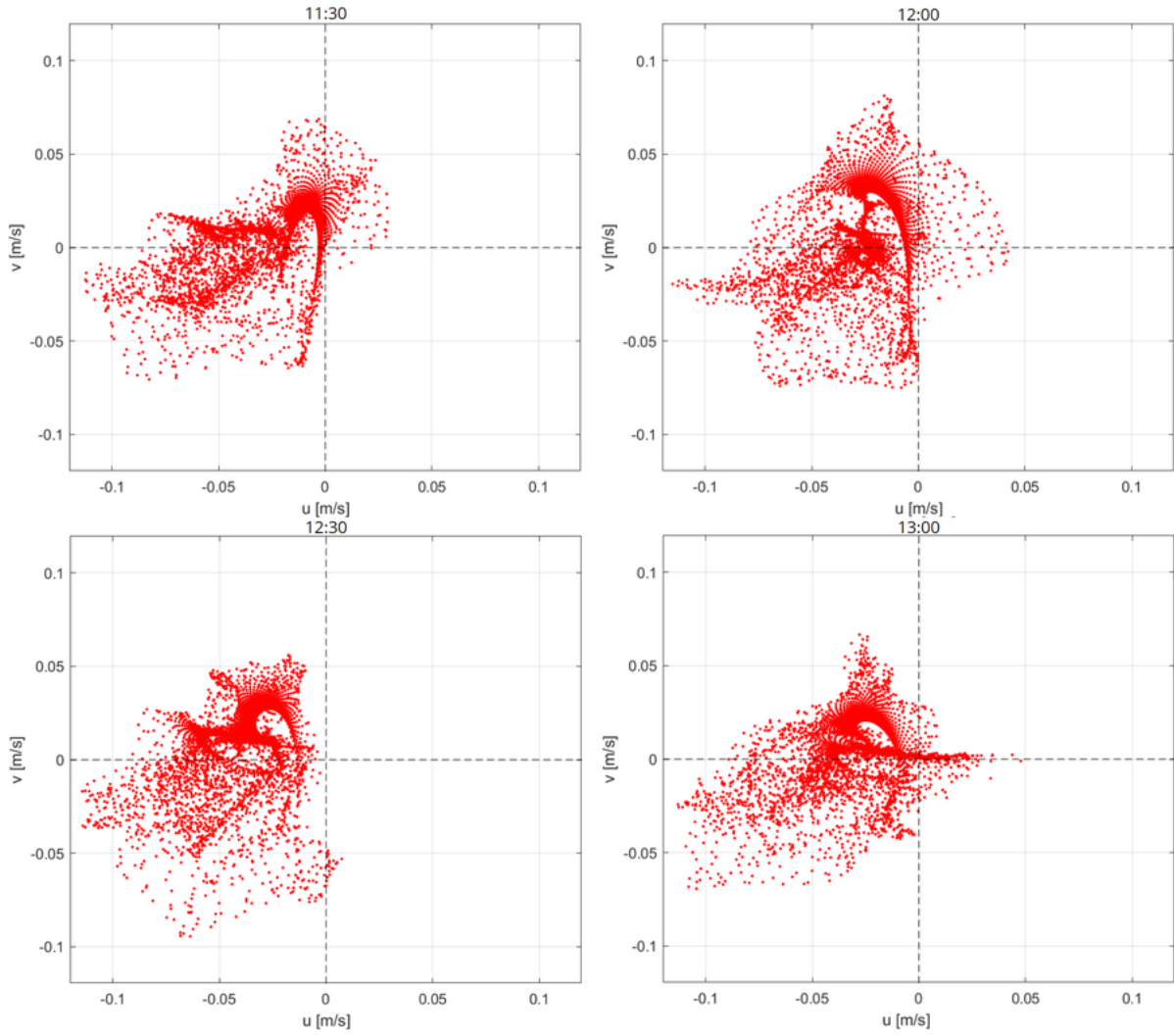
Elaborado pela autora (2022)

Figura 21 – textbfAPÊNDICE B - Figuras do padrão de circulação e linhas de tendência do dia 08 de abril de 2022.



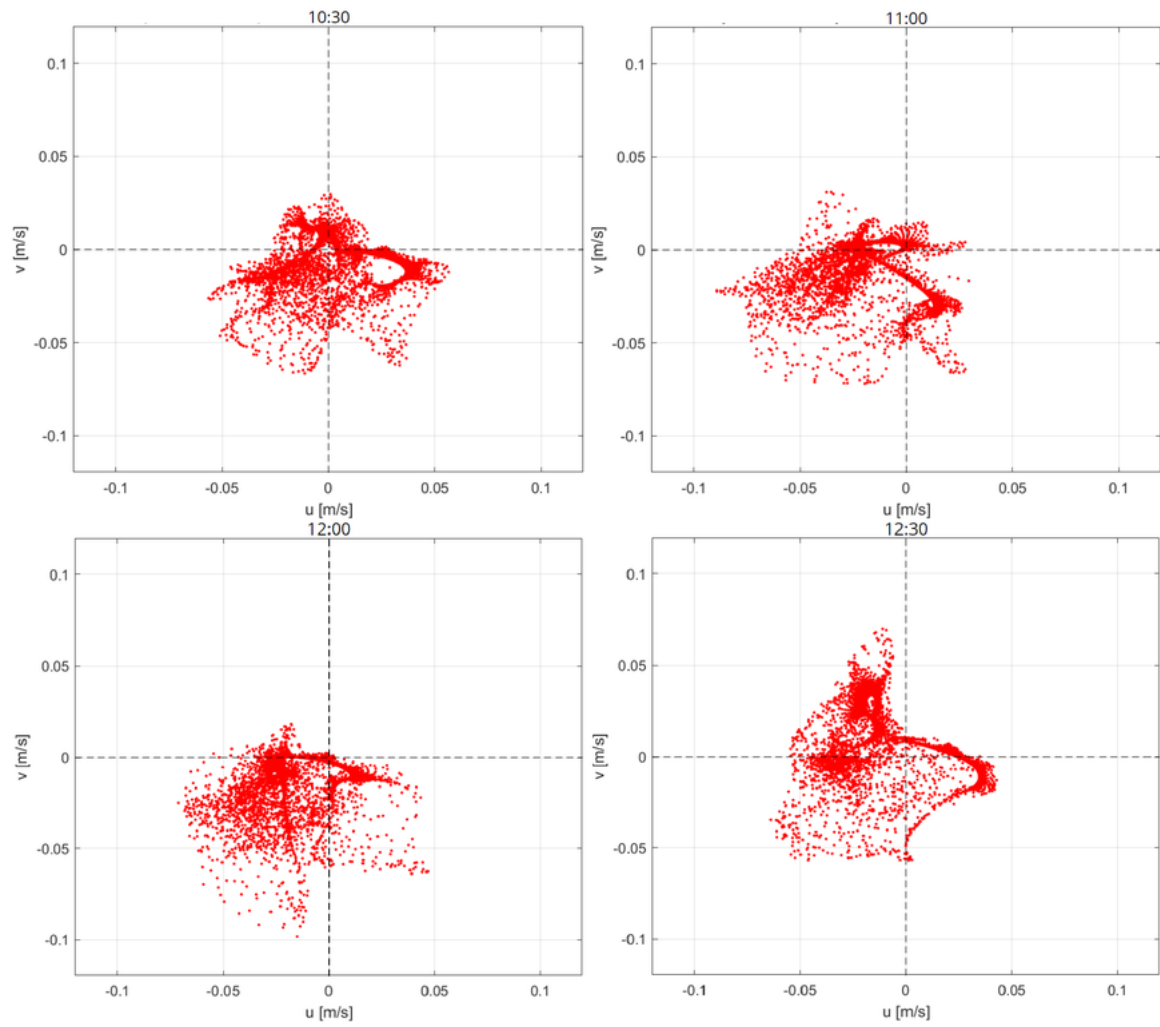
Elaborado pela autora (2022)

Figura 22 – textbfAPÊNDICE C - Gráficos de dispersão das componentes de velocidade do fluxo do dia 04/02/2022.

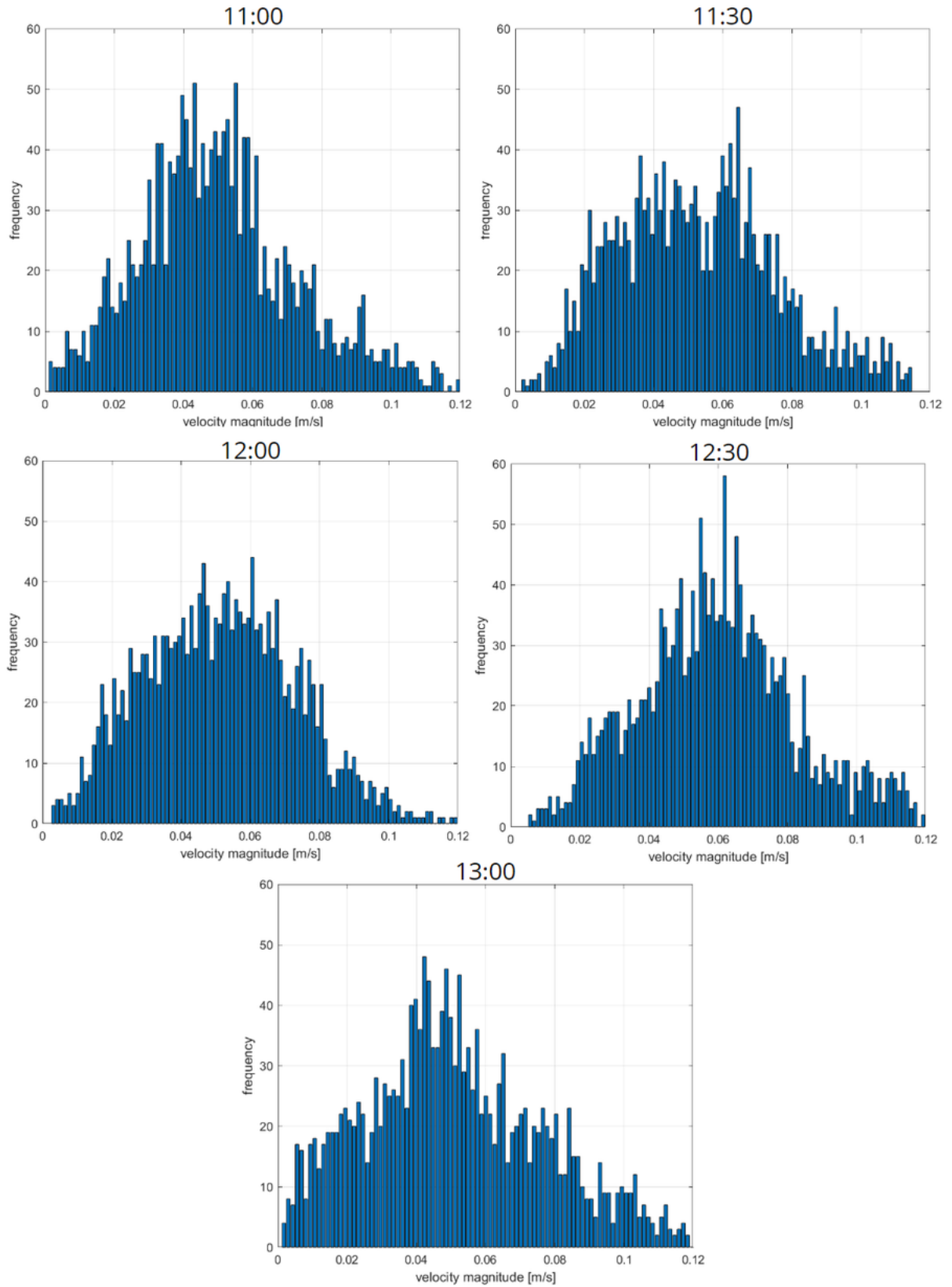


Elaborado pela autora (2022)

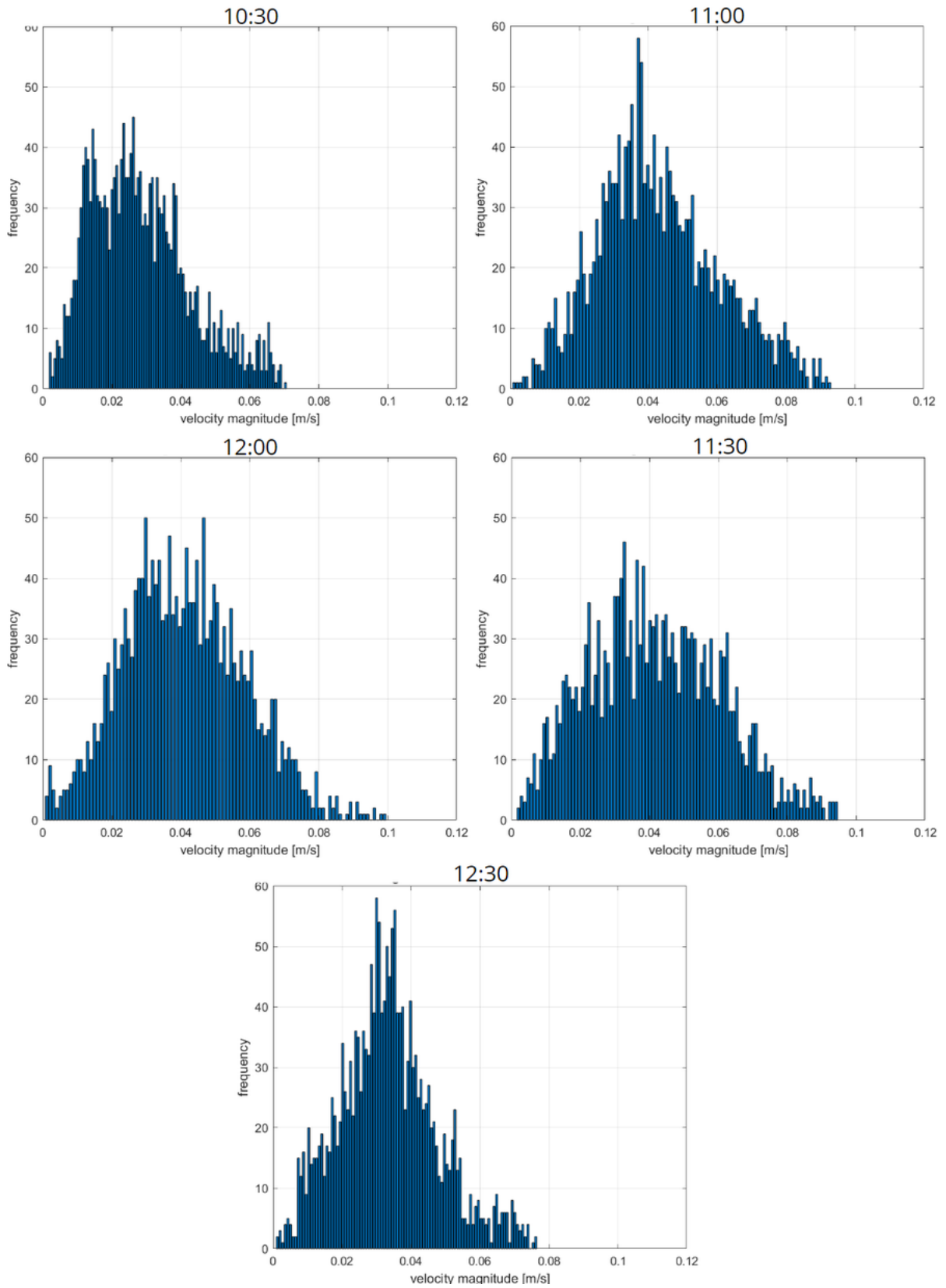
Figura 23 – textbfAPÊNDICE D - Gráficos de dispersão das componentes de velocidade do fluxo do dia 08/04/2022.



Elaborado pela autora (2022)

Figura 24 – textbfAPÊNDICE E - Histogramas de frequência de velocidades do dia 04/02/2022.

Elaborado pela autora (2022)

Figura 25 – textbfAPÊNDICE F - Histogramas de frequência de velocidades do dia 08/04/2022.

Elaborado pela autora (2022)

Anexos

Figura 26 – textbfANEXO I - Figura de classificação de bancos.

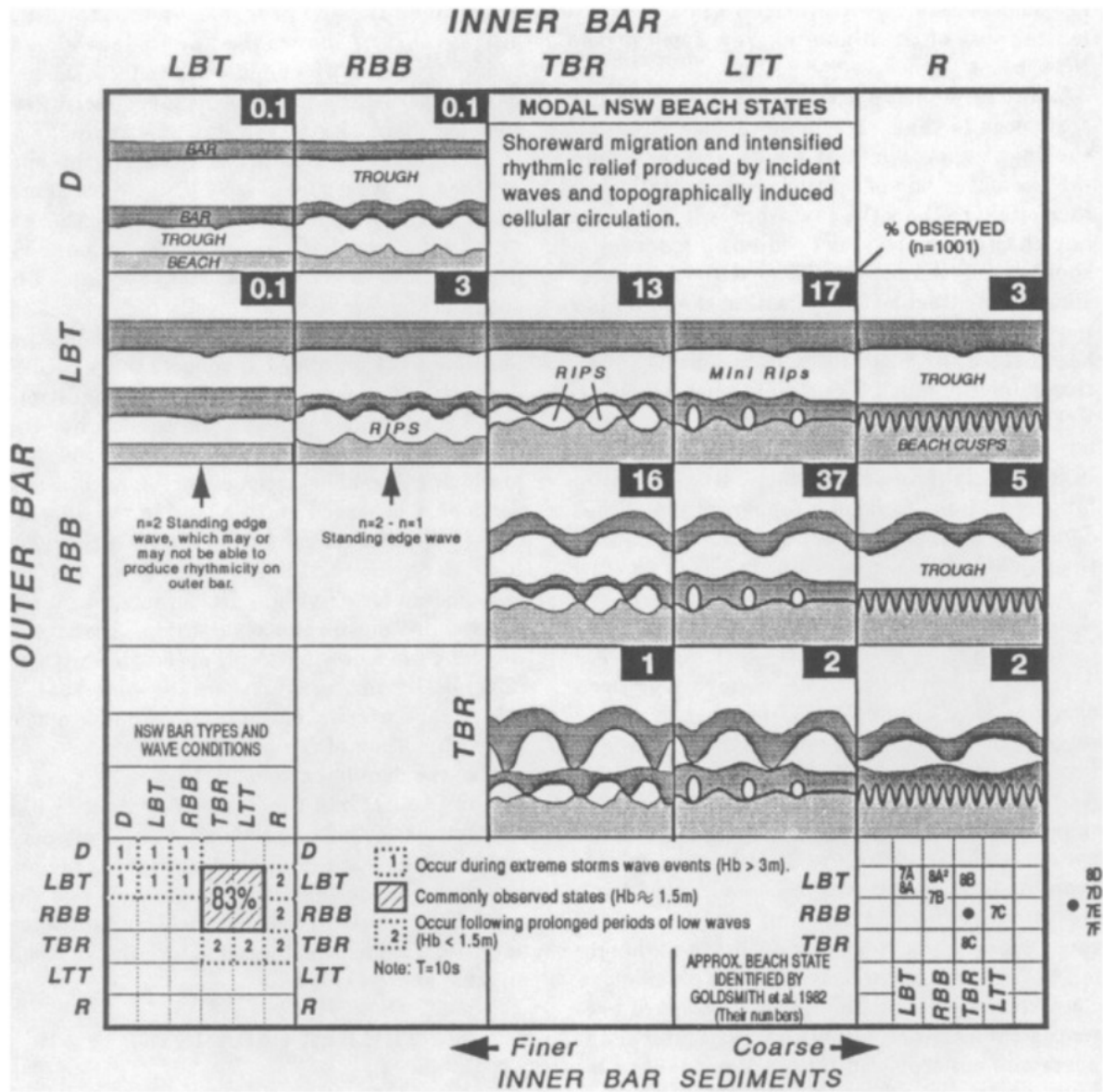


Figure 2. Observed inner and outer bar types on the NSW coast and inferred formative mechanisms. See Figure 1 for definition of bar types. Note: In sequences moving horizontally (left to right), the outer bar remains relatively inactive while the inner bar migrates onshore and becomes more reflective. In sequences moving vertically (top to bottom), both bars move shoreward. The exact nature of movement through these sequences will require long-term daily observations of suitable sites. Inserts left, shows theoretical NSW accretionary sequence; right, locates beach states identified by Bowman *et al.* (1982) on the double-barred Israel coast.

Short & Aagaard (1993).