

DINÂMICA DA ORLA DA PRAIA DE NAVEGANTES (SANTA CATARINA, BRASIL) ATRAVÉS DO SENSORIAMENTO REMOTO

João Gaya¹, Thiago Alves², Luiz Córdova Júnior³, Marcos Leandro dos Santos⁴

RESUMO: A dinâmica sedimentar da orla da praia de Navegantes, Santa Catarina, Brasil, foi estudada através do sensoriamento remoto e do uso de imagens satelitais pretéritas nos dois extremos do arco praiial, entre os anos de 2004 e 2018. Sobrevoos com VANT em campanhas amostrais oportunistas no ano de 2019 foram realizadas após eventos de ressaca para avaliar os efeitos dos eventos meteorológicos extremos na dinâmica sedimentar em curta escala temporal. Foram obtidas um total de 32 imagens, 16 para cada área. Com o uso das imagens foi possível constatar a redução da faixa de restinga da área Norte (Praia do Gravatá) a partir de 2016, enquanto na área Sul (Praia do Pontal) foi observado incremento a partir de 2012 após início do projeto de recuperação de dunas embrionárias. A praia do Gravatá segue enfrentando problemas graves de erosão em virtude da ocupação irregular da faixa de restinga, enquanto a praia do Pontal segue aumentando, sendo fixado um grande volume de sedimentos, o que proporciona condições para o maior desenvolvimento da vegetação nativa fixadora das dunas.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, dinâmica costeira, restinga, erosão praiial, VANT.

ABSTRACT: *The sedimentary dynamics of the Navegantes Beach, in Santa Catarina state, Brazil, was studied through remote sensing and using satellite images obtained in the past years, between 2004 and 2018, at both ends of the beach arch. UAV flights during opportunistic sampling campaigns in 2019 were carried out after storm surges events to assess the effects of extreme weather events on sedimentary dynamics in a short time scale. A total of 32 images were obtained, 16 from each area. From the images, it was possible to observe a reduction in the sand spit at the North area (Gravatá Beach) from 2016 onwards, while in the South area (Pontal Beach) an increase was observed since 2012 after the implementation of a frontal dunes recover project. Gravatá Beach continues to face serious erosion problems due to its irregular occupation, while Pontal Beach continues to increase, with a large volume of sediment deposited, which provides conditions for a greater development of the native vegetation that stabilize the dunes.*

Keywords: remote sensing, coastal dynamics, sand spit, beach erosion, UAV.

@ Corresponding author: gaya@gayajpconsultoria.com.br

1 Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. CEP - 88020-300.

2 Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC, Campos Itajaí, Santa Catarina, Brasil. CEP - 88307-303. E-mail: thiago.alves@ifsc.edu.br

3 L2 Engenharia e Topografia, Navegantes, Santa Catarina, Brasil. CEP - 88370-096. E-mail: cordova@L2topografia.com.br

4 Instituto Ambiental de Navegantes - IAN, Navegantes, Santa Catarina, Brasil. CEP - 88370-513. E-mail: marcosleandros@hotmail.com

1. INTRODUÇÃO

As variações da morfologia costeira dependem das condições ambientais locais, do tipo de sedimento, da climatologia de ondas, da classificação morfológica das praias, da configuração costeira (Gujar *et al.*, 2011) e utilização/exploração antrópica (Bonetti *et al.*, 2018). Em muitos casos o uso e ocupação destas áreas não são feitos de forma integrada às características intrínsecas da praia, prevalecendo um estado de equilíbrio dinâmico nas quais a linha de costa ajusta continuamente sua morfologia e distribuição de sedimentos às novas condições impostas (Bonetti *et al.*, 2018).

Os agentes oceanográficos que incidem na zona costeira moldam a linha de costa e são responsáveis por uma significativa parcela das forças que contribuem para formar as paisagens litorais. O entendimento destes processos permite compreender como os fenômenos de retrogradação e progradação marinha afetam a linha de costa atual (Horn Filho *et al.*, 2018).

Apesar de ser um processo natural (Rangel-Buitrago *et al.*, 2020) da dinâmica praias, em todo o mundo os processos erosivos de algumas praias, e sua intensificação, estão intimamente relacionadas com ações antrópicas, em diferentes níveis, afetando as características naturais associadas a dinâmica sedimentar costeira (Horn Filho *et al.*, 2018; Rangel-Buitrago *et al.*, 2020).

O litoral do Estado de Santa Catarina (SC) é composto por 27 municípios com frente oceânica que por vezes apresentam graves problemas associados à erosão costeira, induzida por deficiências do abastecimento sedimentar cujas consequências são intensificadas ao longo dos anos (MMA, 2006; Oliveira, 2009; Araújo *et al.*, 2010; Machado, 2010; Schmidt *et al.*, 2013). As praias arenosas são ambientes dinâmicos que apresentam constantes alterações morfológicas sazonais (Short, 1999; Klein, 2004; Gujar *et al.*, 2011) e ocasionalmente, eventos meteorológicos e oceanográficos de elevada energia podem intensificar os efeitos causados na orla, chegando em muitos casos, a situações catastróficas nos adensamentos urbanos implantados próximos ao ambiente praias (Horn Filho *et al.*, 2018).

A região de Navegantes (SC) encontra-se situada em latitude subtropical, uma zona de transição entre as Massas de Ar Tropicais e Polares, criando linhas de instabilidades originadas na “Baixa do Chaco” (Paraguai), região onde formam-se os centros de baixa pressão atmosférica que dão origem aos sistemas frontais que atuam na região Sul do Brasil. De acordo com Bonetti *et al.* (2018), a região está sob influência de

ciclones extratropicais e outros sistemas de tempestades que frequentemente atingem o sul do Brasil.

Como consequência da passagem desses sistemas meteorológicos de maior energia, ocorrem significativos incrementos da agitação marítima que são popularmente denominados de ressacas e que podem provocar um recuo momentâneo da linha de costa, em decorrência de fluxos transversais de sedimentos (Sherman & Bauer, 1993; Gujar *et al.*, 2011). De acordo com Dominguez *et al.* (2018), essa perda momentânea não é irreversível, e o perfil de praia tende a se recuperar com o retorno da estabilidade e normalização das condições climáticas. Esses processos imprimem uma variabilidade natural ao ambiente praias, que pode ser percebido mesmo em curtos intervalos de tempo. Conforme Serafim *et al.* (2019), eventos extremos com ondas de elevada energia podem resultar em alterações ambientais expressivas em uma curta escala de tempo, sendo a gravidade dos impactos diretamente dependente do nível de exposição e vulnerabilidade.

Devido à sua localização geográfica e características geomorfológicas, a praia de Navegantes recebe diretamente ondulações de Sul à Nordeste (Menezes & Klein, 1997). A remoção quase que completa da faixa de restinga na porção Norte da orla (Praia do Gravatá), especialmente sobre o sistema de dunas, pode estar relacionado com a erosão praias nesta porção da orla. Na porção Sul da praia (distante 6,5 km da Praia do Gravatá), o projeto experimental de recuperação natural do sistema de dunas (ano de 2009) através da técnica de disposição de materiais biodegradáveis de origem vegetal que aportam na praia pela ação das marés, criou obstáculos artificiais que favorecem a retenção de sedimentos e expansão da vegetação.

Considerando os processos históricos de uso e ocupação da orla da praia, bem como das intervenções e obras de engenharia costeira para mitigação dos impactos negativos associados ao processo de ocupação, propomos realizar um estudo cronológico do uso e ocupação da orla e avaliar a viabilidade de utilizar um veículo aéreo não tripulado (VANT) para acompanhar a dinâmica sedimentar nos dois extremos da Praia de Navegantes.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

O Município de Navegantes possui uma população estimada de 83.626 habitantes, distribuídos em uma extensão territorial de

111,65 km² (IBGE, 2021) e está inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí-Açu (Figura 1). O sistema de drenagem da vertente do Atlântico compreende uma área de aproximadamente 35.298 km² (37% da área total do Estado), distribuídos em 46 Municípios, onde se destaca a Bacia do rio Itajaí com aproximadamente 15.500 km².

A Praia de Navegantes é uma praia arenosa exposta à ação de ondas, proveniente dos quadrantes sul, sudeste, leste e nordeste, com a presença de sedimento fino, bem selecionado e declividade média de aproximadamente 2°. Possui uma zona de surf de aproximadamente 70 m e ondas com rebentação geralmente do tipo deslizante com altura média variando de 0,5 a 1 m (Araújo *et al.*, 2005). As duas áreas estudadas neste trabalho localizam-se nos extremos da orla deste arco praial, sendo a porção Norte denominada Praia do Gravatá, e a extremidade Sul, denominada Praia do Pontal ou simplesmente Pontal (Figura 2).

De acordo com Schettini *et al.* (1996), a amplitude média de maré astronômica para o litoral onde está inserida a região

deste estudo é de 0,8 m, sendo a máxima de 1,2 m. Esses autores destacam a grande importância da maré meteorológica na dinâmica costeira regional, a qual pode aumentar em até um metro os valores da maré astronômica. Outro fator importante de ser destacado para o litoral centro-norte, está associado ao transporte de sedimento, especialmente em eventos meteorológicos extremos associados a galgamentos oceanicos (ou ressacas do mar), na qual tempestades geradas pela passagem de sistemas frontais, ou de ciclones extratropicais gerando ondas que erodem o sistema de dunas frontais (MMA, 2006).

2.2 Cronologia histórica da ocupação antrópica da orla

Uma revisão da literatura serviu como forma de reunir estudos e saberes acerca do processo de uso e ocupação antrópica da orla da praia de Navegantes. Na primeira etapa da revisão sistemática foram consultadas as bases: *Science Direct*; *SciELO*; *Springer*, o site da prefeitura municipal, sites de meios de comunicação, visitas aos acervos públicos, além do próprio acervo do autor. As buscas envolveram os descritores “Erosão da Praia”, “Ressacas”,

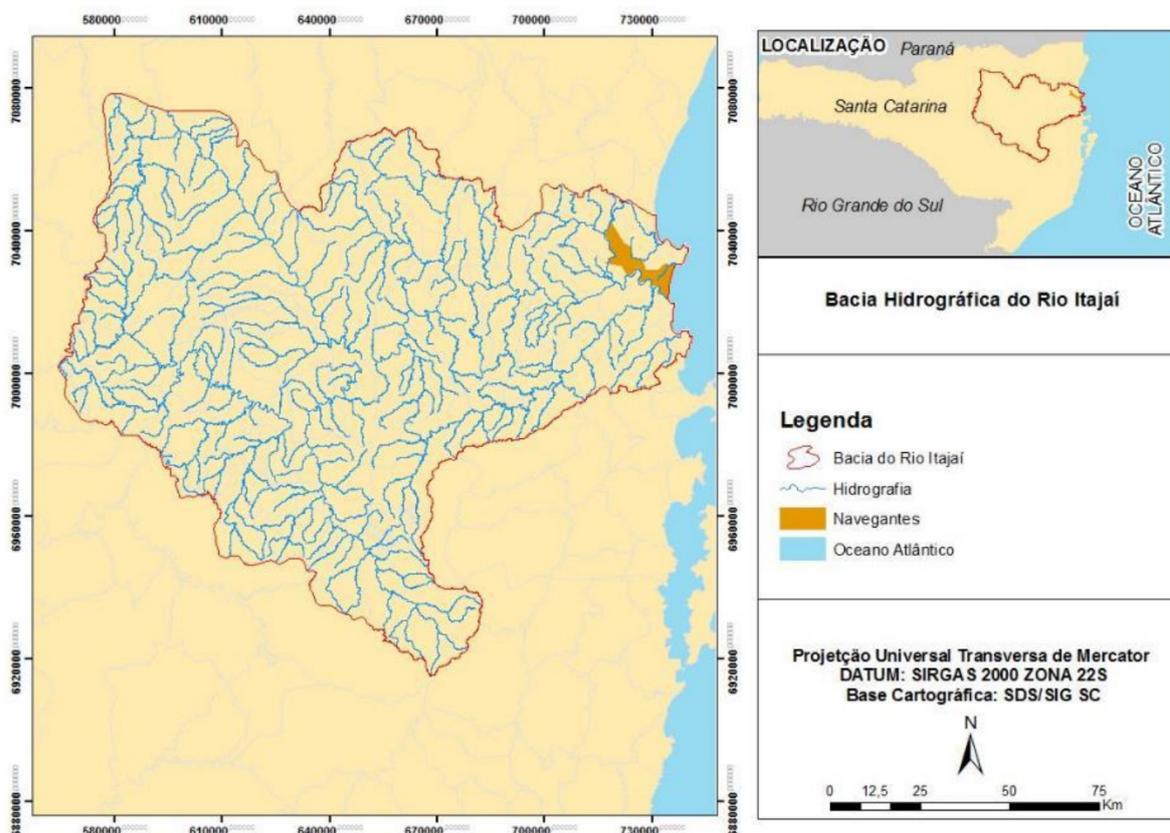


Figura 1. Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí.

“Navegantes” e “Impactos na Praia” em combinações distintas, tanto na língua portuguesa quanto inglesa. Na busca seguinte fez-se uso da combinação de apenas dois descritores, sendo “Ressaca + Navegantes” e “Erosão + Ressacas + Navegantes”.

Após a seleção inicial, foram aplicados critérios para avaliação da qualidade e relevância considerando três dimensões para pré-avaliação: a) qualidade, b) adequação ao escopo deste estudo, e c) foco na temática desta revisão. A categorização das buscas abrangeu desde artigos originais até reportagens publicadas em veículos de comunicação local (jornais de circulação diária). Livros, manuais, documentos técnicos, teses e dissertações também foram investigados. O banco de imagens do acervo técnico do autor principal, associado com imagens satelitais pretéritas obtidas através do *software Google Earth* e processadas em *software* de Informação Geográfica, contribuíram para embasar este estudo de revisão e gerar os indicadores de variação da linha de costa ao longo do período de 2004 a 2018, bem como calcular a área (m²) da faixa arenosa e de restinga (da Avenida Beira Mar até a zona do espraiamento de ondas).

2.3 Avaliação da dinâmica sedimentar com o uso de VANT

O acompanhamento da dinâmica sedimentar nas duas regiões da Praia de Navegantes foi realizado em seis sobrevoos em cada um dos locais estudados, entre os meses de abril e julho de 2019. Utilizando como base a metodologia descrita por Yoo & Oh (2016), os levantamentos foram realizados com a utilização de um VANT tipo quadricóptero da marca *DJI* modelo *Phantom 4 PRO*, equipado com uma câmera fotográfica com sensor de 20 Mp de 1 polegada. Os sobrevoos foram aprovados pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA/SARPAS), respeitando a regulamentação vigente para operação destes equipamentos.

A aerofotogrametria foi realizada a uma altura pré-definida de 100 m, sendo registrada por meio de um memorial de processamento com a sobreposição lateral de 65% e frontal de 75% entre as imagens obtidas. As imagens foram tratadas no *software Agisoft PhotoScan*® com aplicação de pontos de apoio materializados em solo georreferenciados com emprego de aparelho GPS/GNSS, marca *GeoMax*, *Modelo Zenith 25*, na

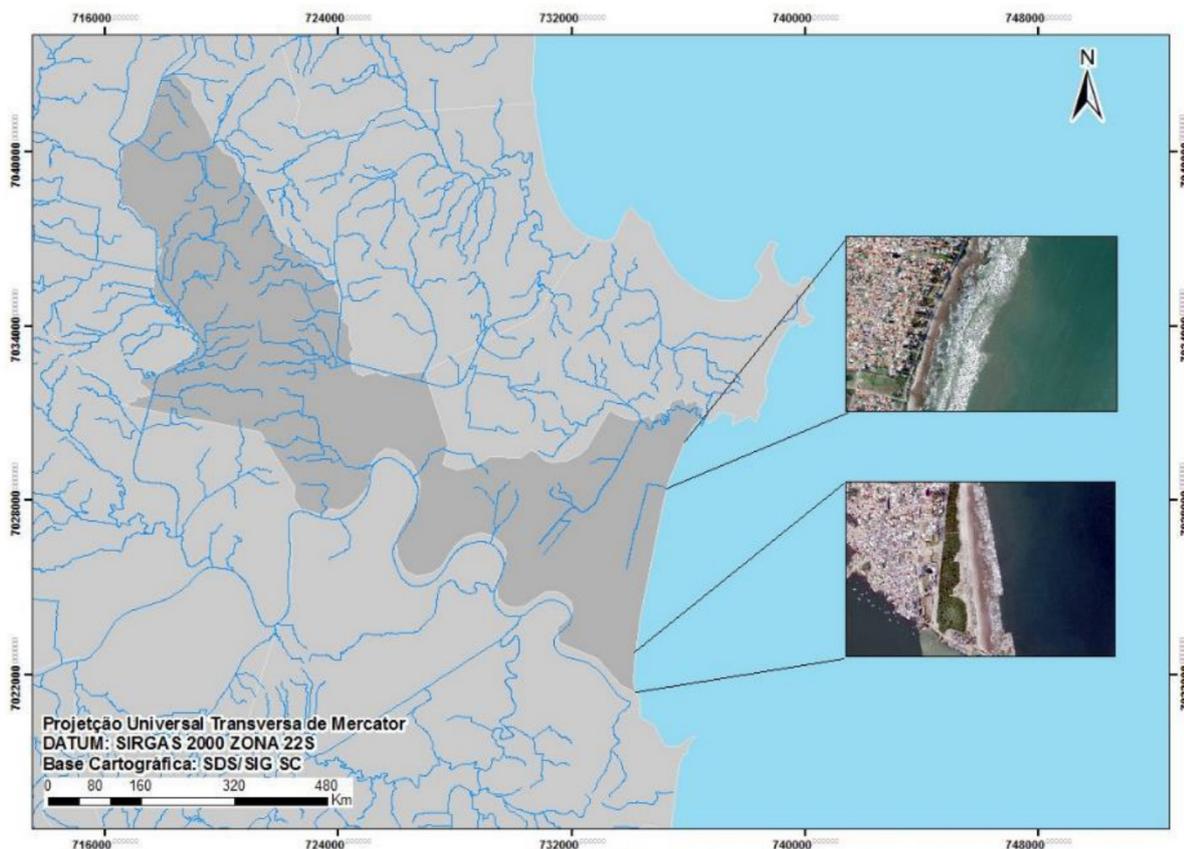


Figura 2. Mapa do Município de Navegantes discriminando os dois locais de estudo.

qual os mesmos (pontos) foram pós-processados com base na Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os pontos de apoio em cada um dos locais monitorados não foram obtidos no mesmo dia, não tendo sido pós-processados com a mesma base que garantisse a amarração altimétrica entre os locais.

Foram gerados ortofotos georreferenciados e imagens tridimensionais (imagens 3D) no *software Agisoft PhotoScan*® e comparadas entre cada levantamento a partir de uma mesma cota de referência, na qual se pôde aferir os volumes de sedimentos pela inclusão de curvas de nível com 0,25 m de intervalo dentro do polígono delimitado para cada local monitorado.

2.4 Eventos meteorológicos extremos

As informações referentes aos avisos de mau tempo emitidos pelo Serviço Meteorológico da Marinha do Brasil para a área de estudo no período compreendido entre os anos de 2004 e 2019 foram obtidos junto ao Centro de Hidrografia da Marinha (DHN). A autoridade marítima setoriza o litoral brasileiro em áreas, sendo que a região deste estudo localizada na Área C (*Charlie*), compreendida entre o Farol de Santa Marta (Laguna) e Cabo Frio (Rio de Janeiro), na região costeira. De acordo com a mesma fonte, os avisos de mau tempo referentes a ressacas indicam a possibilidade da ocorrência do evento e não se de fato ocorreu. Esses avisos são emitidos quando existe a previsão de formação de ondas de no mínimo 2,5 m de altura que possam avançar sobre as regiões litorâneas, sendo que a confirmação do efeito da ressaca pode ser obtida através do relato local pela mídia ou moradores através da observação do avanço do mar, o que é considerado informação e não dado.

2.5 Tratamento estatístico

As análises estatísticas, descritivas e comparativas, para ambas as regiões e entre elas, foram realizadas aplicando o teste t de *student* para amostras independentes (avaliando a diferenças dentro de cada tratamento – regiões) e de Wilcoxon (comparando cada região ao longo do período analisado) no *software Statsoft Statistica 7.0*.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Cronologia histórica da ocupação e uso da orla

O limite Sul da Praia de Navegantes ocorre junto ao molhe instalado ao Norte da Foz do Rio Itajaí-Açu. Em 1914 foram

construídos 700 m lineares do molhe Sul e, mais tarde, incluindo o enrocamento que formou o molhe Norte (Porto de Itajaí, 2020). Em 1926 o sistema foi ampliado através da instalação das defensas das margens esquerda e direita do rio e dos molhes nas duas margens (Serraglio, 2014). No ano de 2016 foi iniciada a obra de instalação da Bacia de Evolução do complexo portuário do rio Itajaí-Açu, e os molhes, sobretudo o Norte, sofreram novas intervenções ainda inacabadas.

Entre as décadas de 1980 e 1990, a vegetação existente na extremidade Sul era classificada, de acordo com a Resolução CONAMA n° 261 de 1999, como restinga herbácea, possuindo poucos arbustos ao longo da sua extensão. Esta porção da praia apresenta o local com a restinga mais preservada de toda a orla do Município. Com o passar dos anos, com a diminuição do trânsito de pessoas e consequente redução do pisoteio, houve um maior desenvolvimento da vegetação, passando a arbustiva, e atualmente, arbórea.

Muitos fatores contribuíram para essa situação, sendo um dos principais, senão o principal, a remoção dos quiosques, outrora instalados sobre a restinga, a partir de 2012 por uma determinação da Justiça Federal da 4ª Região, requerida pelo Ministério Público Federal (MPF) através de ação civil pública (Navegantes, 2012). Previamente a esta determinação judicial, a Fundação Municipal do Meio Ambiente de Navegantes (FUMAN) havia realizado ações com o objetivo de recuperar a restinga através da promoção do crescimento de dunas embrionárias (2009 e 2010). Nestas ações os troncos e fragmentos de origem vegetal que chegavam até a praia passaram a ser dispostos em frente das dunas frontais, formando uma barreira física que contribuiu para a retenção de sedimentos que chegavam pela ação dos ventos, proporcionando condições para a formação da duna embrionária e para o estabelecimento da vegetação nativa (Navegantes, 2017). Este constante processo ajudou a estabilizar o pacote sedimentar, fixou as dunas e permitiu o desenvolvimento da restinga (Eamer & Walker, 2010; Montreil *et al.*, 2013; Del Vecchio *et al.*, 2017; Van Puijenbroek *et al.*, 2017).

Com a emancipação política de Navegantes em 1962, ocorreu o processo de abertura da Avenida Beira Mar e a constituição do bairro Gravatá, frequentado por turistas provenientes de outras cidades do Vale do Itajaí na temporada de verão, consolidando o bairro como um balneário. A partir da segunda metade da década de 1990 houve uma intensa expansão imobiliária neste bairro que perdura até os dias atuais. A ocupação urbana desordenada no bairro Gravatá em Navegantes pode estar diretamente relacionada com a erosão costeira. Durante

os últimos 25 anos diversas obras de infraestrutura pública (Avenida Beira Mar, calçadão, deck de madeira e duas praças) foram instaladas sobre o sistema de dunas, além da ocupação das áreas de manguezal do Rio Gravatá tanto no Município de Navegantes quanto no Município de Penha, o que pode também ter afetado a dinâmica sedimentar local (Menezes & Klein 2002; Menezes *et al.*, 2003; Klein *et al.*, 2006). Lins-de-Barros *et al.* (2016) em estudo realizado em Maricá (RJ), asseveram que a ausência de um planejamento urbano com limites adequados resultou na ocupação desordenada ao longo de praticamente todo o arco praial com construções localizadas próximas à escarpa do pós-praia e até mesmo avançando sobre a própria praia, tornando o litoral vulnerável às ressacas. Medeiros *et al.* (2016) em estudo realizado em Caucaia (CE) verificaram que o local vem sofrendo os efeitos da elevada especulação imobiliária, da ocupação desordenada da orla e elevado fluxo turístico e recreativo, acarretando sérios problemas de cunho físico, ambiental, social e econômico, além da intensificação do processo erosivo sobre a faixa de praia. Rangel-Buitrago *et al.* (2020) relacionaram a erosão costeira em Cartagena (Colômbia) com o aumento da urbanização. Todos esses casos são semelhantes ao que ocorreu e ocorre no bairro Gravatá.

A partir do ano 2000, os eventos meteorológicos extremos (ressacas) começaram a se tornar mais intensos e severos, provocaram danos significativos ao longo da orla, especialmente na praia do Gravatá, danificando o patrimônio público e privado, resultando em intervenções governamentais com a publicação de decretos de estado de calamidade (Decreto n° 259/2001; Decreto n° 181/2016; Decreto n° 186/2016; Decreto n° 435/2017). De acordo com Bonetti *et al.* (2018), os locais com maior suscetibilidade concentram-se em áreas onde a urbanização está muito próximo da costa, em muitos casos substituindo as dunas originais.

No decorrer de quase 90 anos da obra de enrocamento que modificou a hidrodinâmica deste trecho da orla, a corrente de deriva litorânea associado a climatologia de ondas naturalmente contribuiu para o acúmulo de sedimentos na extremidade sul do arco praial. Entretanto, a quase ausência de vegetação dificultava o processo de estabilização desse pacote sedimentar, com o clima de ondas atuando diretamente na mobilização de sedimentos na praia. A dinâmica sedimentar relacionada às causas naturais como as variações médias do nível do mar que podem ser persistentes e periódicas, demonstram ser potencializada pelas múltiplas atividades antrópicas desenvolvidas na zona costeira e bacias hidrográficas próximas (Horn Filho, 2006; Klein *et al.*, 2006).

3.2 Dinâmica da orla através do sensoriamento remoto

Foram obtidas 16 imagens de cada região estudada, totalizando 32 imagens. O valor estimado da área (m²) entre as duas regiões estudadas entre 2004 (T0) e 2019 (T21) é apresentado na Figura 3. Entre 2004 (T0) e 2011 (T1) a área de restinga na região Sul apresentou redução, enquanto na região Norte se observava um acréscimo. Na região Sul da praia, entre 2012 (T2) e 2014 (T6), foi possível observar um expressivo incremento de 48.466 m² (98,16%) em relação a 2011 (T1), e a partir de 2015 (T7) o sistema de restinga demonstra ter estabilizado indicando a recuperação desse bioma (Figura 4).

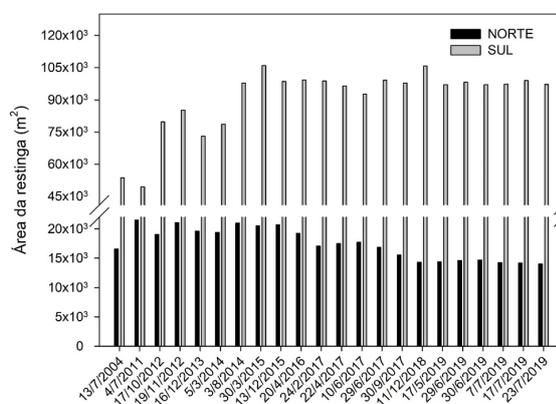
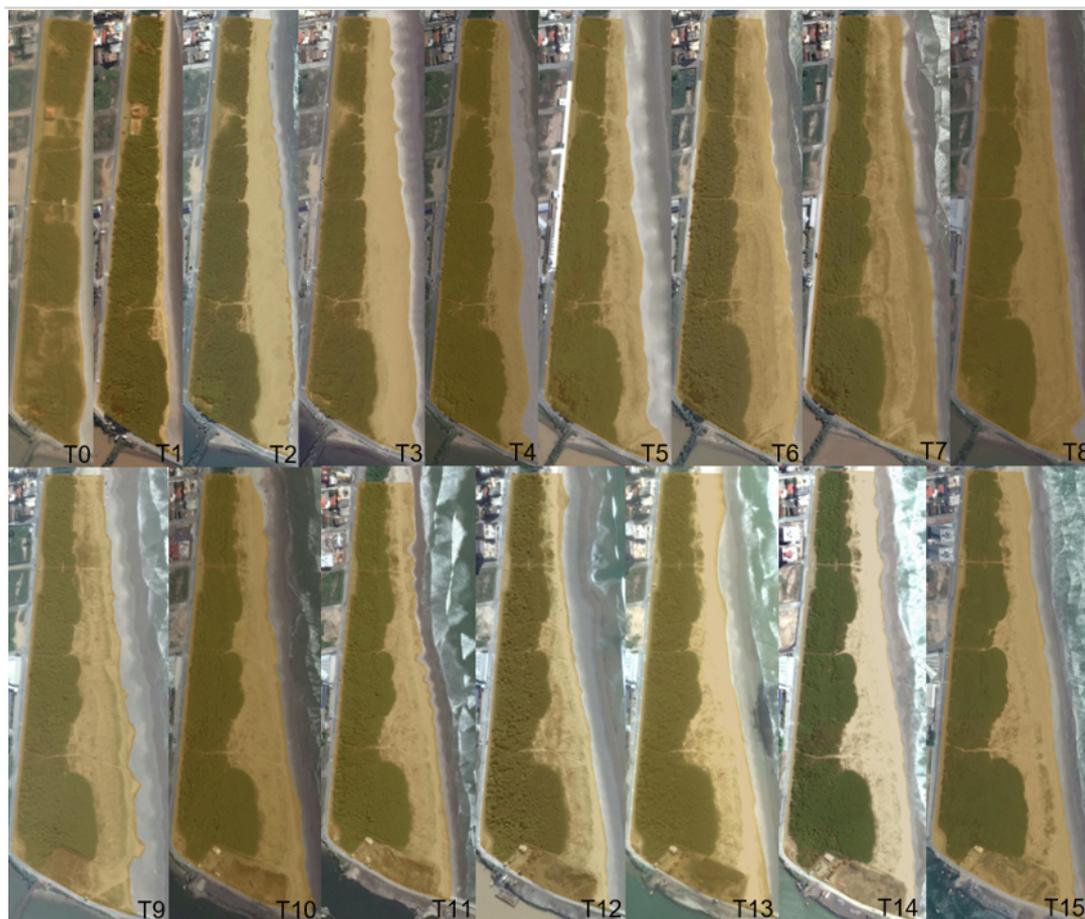


Figura 3. Evolução da área (m²) de restinga na região Norte (Gravatá) e na região Sul (Pontal) no período compreendido entre 13/7/2004 (T0) e 23/7/2019 (T21).

Na região Sul da praia (Figura 4), a maior área registrada foi de 105.969 m² em 2019 (T15), enquanto a menor área foi de 49.372 m² em 2011 (T1), quando o projeto de dunas embrionárias entrava no segundo ano. O maior crescimento proporcional se deu entre 2011 (T1) e 2012 (T2), com 61,33% de incremento de área. Esta região pôde ser dividida em três agrupamentos (T0-T2, T3-T7, T8-T21), apresentando diferença apenas entre todos os agrupamentos ($t = 28,01$; $p = 0,001$), indicando uma tendência constante de modificação, neste caso positiva. Considerando a maior e a menor área registradas (T15 e T1, respectivamente), pode-se dizer que o local apresentou uma acreção máxima de 56.597 m², ou seja, um aumento de 114,63%.

Na região Norte se observava pequenas variações na área da restinga entre 2011 (T1) e 2015 (T8), com variações consideradas normais dentro dos ciclos geológicos que envolvem a dinâmica sedimentar de praias arenosas (Rangel-Buitrago *et al.*, 2020). A partir de 2016 (T9) houve evidente



Legenda: T0 – 13/07/2004, T1 – 04/07/2011, T2 – 17/10/2012, T3 – 19/11/2012, T4 – 16/12/2013, T5 – 05/03/2014, T6 – 03/08/2014, T7 – 30/03/2015, T8 – 13/12/2015, T9 – 20/04/2016, T10 – 24/02/2017, T11 – 22/04/2017, T12 – 10/06/2017, T13 – 29/06/2017, T14 – 30/09/2017, T15 – 11/12/2018

Figura 4. Imagens satelitais da região Sul (praia do Pontal) mostrando a variação da faixa de restinga entre 13/7/2004 (T0) e 11/12/2018 (T15). Fonte: Google Earth. Acessado em 10/3/2020.

perda de área de restinga anualmente até 2018 (T15), indicando que os processos erosivos nesta região da orla estão em um nível grave e crônico (Figura 5).

Em 2004 (T0) a região Norte apresentava uma área total de 16.572 m², enquanto a região Sul (Pontal) apresentava 53.605 m². A maior área registrada na região Norte foi em 2011 (T1), quando o local atingiu 21.462 m², tendo ocorrido um acréscimo de área de 4.890 m² em relação à área registrada em (T0). A partir de 2017 (T11) o processo erosivo fica mais evidente e significativo ($z= 2,70$; $p= 0,007$), e culmina com a menor área registrada em 2019 (T21), com 14.031 m². Considerando a diferença na área entre T0 e T21, a região Norte sofreu significativa ($t= 30,79$; $p= 0,001$) erosão de 2.541 m², e

considerando a diferença entre área registrada em T1 e a área em T21, a redução foi de 7.431 m², (34,62%) ou 495,4 m²/ano.

3.3 Estimativa do volume sedimentar com o uso de VANT

Foram realizados seis sobrevoos em cada uma das regiões. O voo inicial na região Sul ocorreu em 26/4/2019 (T16), e na região Norte em 17/5/2019 e último voo ocorreu em 23/7/2019 (T21). Nesta menor janela temporal utilizada neste estudo, em T16 a região Norte apresentou uma área remanescente de restinga de 14.372 m², enquanto a região Sul apresentou 97.004 m².

A maior área registrada na região Sul foi em 17/7/2019

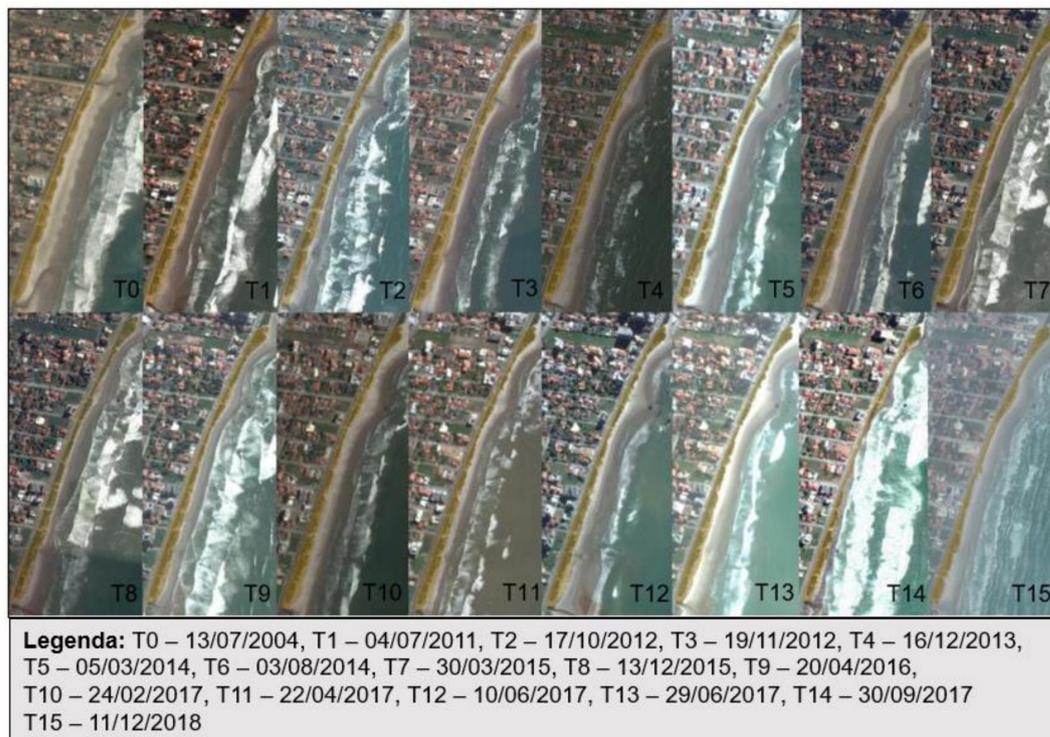


Figura 5. Imagens satelitais da região Norte (praia do Gravatá) mostrando a variação da faixa de restinga entre 13/7/2004 (T0) e 11/12/2018 (T15). Fonte: Google Earth. Acessado em 10/3/2020.

(T20), quando o local apresentou 98.929 m², e a menor área foi em 26/4/2019 (T16), com 97.004 m², e uma área média de 97.589 m². Neste período (T16-T21) o processo de erosão consumiu 1.925 m², uma redução de 1,97% em relação à média do período (Figura 6).

Na região Norte, a maior área registrada nos aerolevantamentos foi em 30/6/2019 (T18), quando o local atingiu 14.670 m². E a menor área de todo o período analisado, considerando a análise histórica apresentada foi 14.031 m² registrada em 23/7/2019 (T21). Considerando apenas o período compreendido entre 17/5/2019 (T16) e 23/7/2019 (T21), a região Norte apresentou uma área média de 14.354 m², e um processo erosivo que consumiu 639 m², ou seja, uma redução de 4,45% em relação à área média do período (Figura 7).

Uma das principais vantagens do uso do VANT consiste na possibilidade de estimar o volume de sedimentos contidos em ambos os locais estudados através da inserção de curvas de nível nos polígonos pré-estabelecidos. Os resultados dos levantamentos (Tabela 1) mostraram que ambos os locais estudados podem apresentar tanto processo de acreção quanto de erosão provocados pelos agentes naturais como os eventos

meteorológicos extremos. A média de volume de sedimentos na região Norte foi de 6.032,02 m³ dentro da área de 46.297 m² utilizada para o estudo, com uma acreção média de 227,52 m³. Ao se considerar o volume médio de sedimentos na região Norte, têm-se uma altura média de apenas 13,03 cm.

Na região Sul, a média de sedimentos foi de 76.032,95 m³ dentro da área de 73.408 m² utilizada para o estudo. A erosão média foi de 2.239,68 m³. Considerando o volume médio de sedimentos pela área, têm-se uma altura média de 103,57 cm, o que representa um volume de sedimentos 7,92 vezes superior, quando comparado com a região Norte.

O incremento dessa área (região Sul), se deu ao longo dos anos de execução do projeto de dunas embrionárias no local, tendo ocorrido a fixação de um grande volume de sedimentos que proporcionou a expansão da faixa de areia e da restinga. Essa região possui uma grande reserva de sedimentos, o que harmoniza a dinâmica sedimentar e uma maior capacidade de suportar os eventos meteorológicos extremos sem comprometer a infraestrutura pública, tal qual ocorre na região Norte.



Figura 6. Ortoimagens dos aerolevantamentos da região Sul (Pontal) mostrando a variação da faixa de restinga entre 26/4/2019 (T16) e 23/7/2019 (T21). Fonte: elaborado pelos autores.

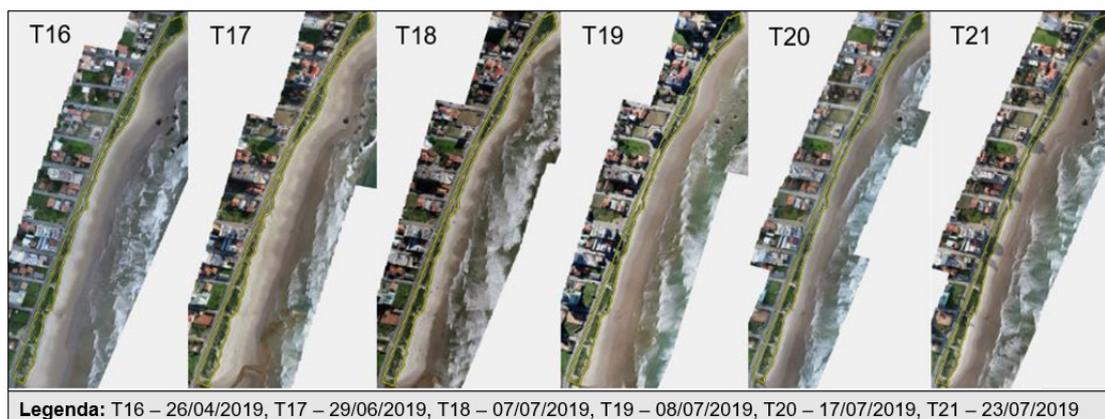


Figura 7. Ortoimagens dos aerolevantamentos da região Norte (praia do Gravatá) mostrando a variação da faixa de restinga entre 17/5/2019 (T16) e 23/7/2019 (T21). Fonte: elaborado pelos autores.

Tabela 1. Volumes de sedimentos calculados nas porções Norte e Sul da Praia de Navegantes durante o intervalo de tempo entre T16 e T21. Diferença (m³) representa o valor discrepante em relação à faixa de restinga de cada uma das porções.

NORTE: 46.297 m ²				SUL: 73.408 m ²		
	Data	Volume (m ³)	Diferença (m ³)	Data	Volume (m ³)	Diferença (m ³)
T16	17/5/2019	3.686,50	0,00	26/4/2019	80.313,50	0,00
T17	29/6/2019	5.968,40	+ 2.281,90	29/6/2019	73.071,10	- 7.242,40
T18	30/6/2019	6.332,20	+ 363,80	7/7/2019	67.560,50	- 5.510,60
T19	7/7/2019	4.801,80	- 1.530,40	8/7/2019	65.613,50	- 1.947,00
T20	17/7/2019	10.351,60	+ 5.549,80	17/7/2019	102.763,70	+ 37.150,20
T21	23/7/2019	5.051,60	- 5.300,00	23/7/2019	66.875,40	- 35.888,30
Média		6.032,02	227,52		76.032,95	-2.239,68

3.4 Avisos de mau tempo

Um total de duzentos e cinquenta (250) avisos foram emitidos entre os anos de 2004 e 2019 para a área *Charlie*, o que perfaz uma média de 15,63 avisos/ano. Os anos com o maior número de avisos (Figura 8) emitidos foram 2010 e 2016 (27), 2005 (24), 2011 (20), 2018 (19), 2006 e 2008 (18) e 2009 com 16 avisos. Os meses do ano com maior frequência foram maio, setembro, agosto, novembro, abril, julho e março (Figura 9).

Dentre os avisos emitidos, alguns de fato se tornaram ressaca e atingiram as duas áreas estudadas durante o interstício que foram realizados os sobrevoos: n° 378/2019, n° 705/2019 e n° 754/2019. A ressaca promoveu erosão nas regiões Norte e Sul, com 1.530,40 m³ e 5.510,60 m³, respectivamente, conforme constatado nos sobrevoos realizados em 7/7/2019. Em 8/7/2019 foi realizado novo sobrevoos sobre a região Sul, onde novamente foi constatada erosão de 1.947,00 m³, mostrando o efeito continuado da ressaca.

Efeito contrário foi observado a partir do sobrevoos realizado dias após a emissão do aviso n° 754/2019, onde em ambas

as regiões foi observada acreção - 5.549,80 m³ na região Norte e 37.150,20 m³ na região Sul. A maior erosão registrada em ambas as regiões foi no último sobrevoos, ocorrido em 23/7/2019, com 5.300,00 m³ na região Norte e 35.888,30 m³ na região Sul. No entanto, na ressaca registrada nessa data não foram emitidos avisos de mau tempo pela Marinha do Brasil.

Na região de estudo predominam os ventos associados à Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), que por sua vez podem sofrer a influência do ciclone extratropical, o que pode intensificar os ventos e persistir por alguns dias (Reboita *et al.*, 2010). Os ciclones extratropicais são centros profundos de baixas pressões migratórias, resultantes de oclusões, que se deslocam de Oeste para Leste a uma velocidade de 30 Km/h a 50 Km/h, sendo mais rápidos no inverno (Monteiro & Mendonça, 2014).

A ocorrência de vendavais no litoral além de estarem relacionadas com os sistemas frontais e convecções localizadas, também são originados de ciclones extratropicais. Esses fenômenos são comuns no litoral catarinense, principalmente

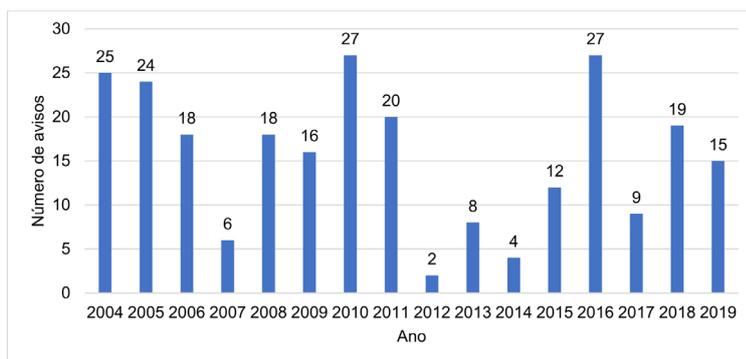


Figura 8. Frequência anual de avisos de mau tempo no período compreendido entre 2004 e 2019. Fonte: Centro de Hidrografia da Marinha, Serviço Meteorológico Marinho da Marinha do Brasil, 2020.

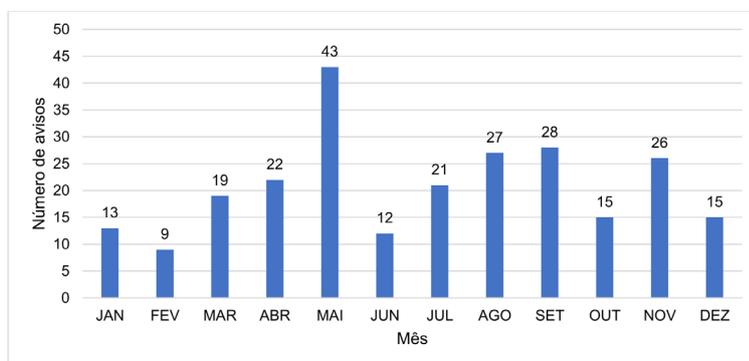


Figura 9. Frequência mensal de avisos de mau tempo no período compreendido entre 2004 e 2019. Fonte: Centro de Hidrografia da Marinha, Serviço Meteorológico Marinho da Marinha do Brasil, 2020.

no período outono-primavera, com picos mais intensos e frequentes no inverno (Marcelino *et al.* 2014). A ocorrência desses fenômenos provoca mudanças sazonais na morfologia da praia, onde se observa erosão no período outono-primavera, e acreção no verão. As mudanças sazonais na morfologia praial tradicionalmente atribuída a uma variação no nível de energia das ondas incidentes com condições calmas no verão, resultando em praias amplas com bermas subaeriais pronunciadas e condições energéticas no inverno, causando praias estreitas com morfologia de barras próximas à costa devido a troca de sedimentos entre a praia emersa e a praia imersa (Masselink & Pattiratchi, 2001).

4. CONCLUSÕES

A erosão costeira tem sido observada ao longo do litoral brasileiro em decorrência de diversos fatores sobretudo nos municípios que apresentam a linha de costa modificada do estado natural para antrópico (MMA, 2006; Oliveira, 2009; Araújo *et al.*, 2010; Machado, 2010; Schmidt *et al.*, 2013). Em Navegantes desde meados da década de 1960 esse processo vem ocorrendo, inicialmente pela construção da malha viária do município, especialmente a Avenida Beira Mar, posteriormente com a sua utilização como estacionamento durante a temporada de veraneio, e a instalação dos decks e calçadas, contribuíram para suprimir os remanescentes da restinga, o que deixou o solo exposto aos agentes atmosféricos e tempestades que erodiram o pacote sedimentar e culminaram nos danos à infraestrutura urbana.

Rangel-Buitrago *et al.* (2020) afirmam que o aumento da urbanização na zona costeira está diretamente relacionado com a erosão, sobretudo com a destruição de ecossistemas, e McLaughlin *et al.* (2002), consideram a ocupação antrópica ao longo da costa como a principal causa da erosão praial. A disposição de rochas onde deveria ser o sistema de dunas e a construção de muros de contenção (sea walls) visando proteger a orla frente aos sucessivos eventos meteorológicos (ressacas), são “soluções” paliativas, e necessita estar associada com outras medidas de médio e longo prazo para recompor o sistema de dunas e a restinga de modo a garantir a retenção e o provimento de volume sedimentar para ser remobilizados durante os eventos meteorológicos extremos, como forma de dissipar a energia destes fenômenos e proteger a praia.

Os resultados obtidos demonstraram que a região Norte (Praia do Gravatá) está bastante suscetível aos eventos meteorológicos extremos, com avançado estado de degradação da orla pela

quase inexistência de restinga, sofrendo grande erosão costeira.

A região Sul (Pontal), local onde o projeto experimental de dunas embrionárias proporcionou condições para a fixação de sedimentos e desenvolvimento da restinga, demonstrou-se um acréscimo considerável de área nos últimos anos, o que resulta na maior proteção da orla contra eventos meteorológicos extremos, demonstrando que esta ação, contribuiu para a estabilização de sedimentos transportados pelo sistema de correntes de deriva associados com a climatologia de ondas neste trecho da orla.

Ambos os locais estudados estão sujeitos aos eventos meteorológicos extremos, tendo apresentado tanto acreção quanto erosão. Entretanto, os efeitos são mais visíveis e sentidos na região Norte em virtude de possuir um volume muito menor de sedimento quando comparado com o volume fixado na região Sul.

A utilização do VANT no monitoramento da dinâmica sedimentar se mostrou rápido, eficiente e com reduzido custo operacional. As limitações de uso se dão pelas condições meteorológicas (ventos fortes, chuvas, tempo nublado) e pela legislação vigente. Cabe ressaltar que Navegantes possui um aeroporto, e os voos com VANT no cone de aproximação da pista são proibidos, exceto em ocasiões especiais ou mediante prévia autorização dos órgãos competentes. O nível de precisão do equipamento utilizado demonstra grande resolução, podendo apresentar números exatos que podem ser usados para a tomada de decisões no que diz respeito ao gerenciamento costeiro.

A metodologia do uso do VANT demonstra ser promissora e permite ser utilizada pelas secretarias municipais, fundações de meio ambiente, ONGs e demais autarquias e entidades que necessitem monitorar a orla marítima e fornecer subsídios para elaboração de projetos e tomada de decisões.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Centro Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO) da Marinha do Brasil, pela disponibilização de dados sobre os avisos de ressaca no mar e mau tempo, de modo especial à Primeiro-Tenente Fabiana Franco, ao Primeiro-Tenente Fellipe Romão Sousa Correia, ao Segundo-Sargento Eliézer da Cunha Santana e a Terceiro-Sargento Andreza de Lira Reis pela colaboração e disponibilização de informações da meteorologia marítima, à equipe do Centro de Documentação e Memória Histórica (CDMH) de Itajaí pela disponibilização do seu acervo para pesquisa e à PORTONAVE por permitir o uso

dos relatórios técnicos do Projeto Nossa Praia como referências para o trabalho.

A contribuição técnica e científica sobre a dinâmica de sedimentos da orla da praia do município de Navegantes servirá de base bibliográfica para análises de estudos ambientais, elaboração de projetos e monitoramentos relacionados a sedimentologia na faixa de areia e restinga.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araújo R. *et al.* Variação da morfologia praial e identificação de zonas de erosão acentuada (ZEA) na enseada do Itapocoróí – SC. *Brazilian Journal Aquatic Science Technology* [S.l.], v. 14 (1), p. 29-38. 2010.

Araujo, R. S.; Klein, A. H. F.; Petermann, R. M. *Determinação do Índice de Sensibilidade do Litoral ao Derramamento de Óleo (Isl) para as Regiões Norte e Centro-Norte do Estado de Santa Catarina (SC)*. 2005. 190 p. Trabalho de Conclusão do Curso de Oceanografia. Universidade do Vale do Itajaí – UNIVALI, Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar – CTTMar Itajaí, SC., 2005.

Bonetti, J.; Rudorff, F. M.; Campos, A. V.; Serafim, M. B. Geoindicador-based assessment of Santa Catarina (Brazil) Sandy beaches susceptibility to erosion. *Ocean & Coastal Management*: n. 156, p. 198-208. 2018.

Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 261, de 30 de junho de 1999. Aprova parâmetros básicos para análise dos estágios sucessivos de vegetação de restinga para o Estado de Santa Catarina. DOU nº 146, de 2 de agosto de 1999. Seção 1, páginas 29-31.

Del Vecchio, S.; Jucker, T.; Carboni, M.; Acosta, A. T. R. 2017. Linking plant communities on land and at sea: the effects of *Posidonia oceanica* wrack on the structure of dune vegetation. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 184: 30-36. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2016.10.041>. Acessado em 6/2/2019.

Dominguez, J. M. L.; Guimarães, J. K.; Bittencourt, A. C. da S. P. *Alagoas, Sergipe e Bahia*. p. 381-432). In: Brasil. Ministério do Meio Ambiente. *Panorama da erosão costeira no Brasil [recurso eletrônico] / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental, Departamento de Gestão Ambiental Territorial; Organização Dieter Muehe*. – Brasília, DF: MMA, 2018. 759 p. : il. (algumas color.).

Eamer, J. B. R.; Walker, I. J. 2010. Quantifying sand storage capacity of large woody debris on beaches using LiDAR. *Geomorphology* 118: 33-47. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.12.006>. Acessado em 6/2/2019.

Gujar, A. R.; Ganesan, P.; Iyer, S. D. Gaonkar, S. S.; Ambre, N. V.; Loveson, V. J. Mislankar, P. G. Influence of morphodynamic variability over seasonal beach sediments and its probable effect on coastal development. *Ocean & Coastal Management*: n. 54, p. 514-523. 2011.

Horn Filho, Norberto Olmiro. Ilha de Santa Catarina. In: Muehe D. (ed.). *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos, 2006. P. 413-436.

Horn Filho, N. O.; Schmidt, A. D.; Abreu, J. G. N.; Estevam, C. N.; Araujo, R. S. Santa Catarina. In: Brasil. Ministério do Meio Ambiente. *Panorama da erosão costeira no Brasil [recurso eletrônico] / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental, Departamento de Gestão Ambiental e Territorial; Organização Dieter Muehe*. – Brasília, DF: MMA, 2018. 759 p. : il. (algumas color.).

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/navegantes/panorama> . Acessado em: 18/5/2021.

Klein, A. H. F. *Morphodynamics of headland bay beaches*. Algarve: Universidade do Algarve, 2004. 450p. PhD Thesis.

Klein, A. H. F. *et al.* Litoral Centro-norte de Santa Catarina. In: Dieter Muehe. (ed.). *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos, 2006. p. 402-412.

Lins-de-Barros, F.; Zeidan, F.; Lima, R. F. Adaptação e percepção da população a eventos de ressaca no mar no litoral de Maricá, Rio de Janeiro, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*: v. 16, n. 2, 15 p. 2016.

Machado B. V. *Mapeamento e análise de obras de engenharia costeira no litoral do estado de Santa Catarina*. Itajaí: Universidade do Vale do Itajaí, 2010. 251p. Monografia. Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar.

Marcelino, I. P. V. O.; Marcelino, E. V.; Oliveira, C. A. F.; Alves, D. B. Vendaval. In: Herrmann, M. L. P. *Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina: Período de 1980 a 2010*. 2ª Edição. Florianópolis (SC): Instituto Histórico e Geográfico de Santa Catarina – IHGSC; Cadernos Geográficos – GCN/UFSC. 2014. p. 5-12.

Marcelino, I. P. V. O.; Moller, G. S. F.; Goerl, R. F.; Marcelino, E. V.; Moreno, D. A.; Rudorff, F. M.; Oliveira, C. A. F.; Alves, D. B.; Herrmann, M. L. P.; Debortoli, N. S.; Murara, P. G. Adversidades atmosféricas no Estado de Santa Catarina no período de 1980 a 2010. In: Herrmann, M. L. P. *Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina: Período de 1980 a 2010*. 2ª Edição. Florianópolis (SC): Instituto Histórico e Geográfico de Santa Catarina – IHGSC; Cadernos Geográficos – GCN/UFSC. 2014. p. 13-82.

Marinha do Brasil. Centro de Hidrografia da Marinha. Divisão de Previsões Meteorológicas. Avisos de mau tempo para a área “Charlie” entre os anos de 2004 e 2019. 2020.

Masselink, G.; Pattiaratchi, C. B. Seasonal changes in beach morphology along the sheltered coastline of Perth, Western Australia. *Marine Geology*: n. 172. P. 243-263. 2001.

McLaughlin, S.; McKenna, J.; Cooper, J. A. G. Socioeconomic data in coastal vulnerability indices: constraints and opportunities. *Journal of Coastal Resources*: n. 36, p. 487-497. 2002.

Medeiros, E. C. S.; Maia, L. P.; Araújo, R. C. P. Capacidade de carga de uma praia sob o impacto do processo de erosão costeira (praia de Icaraí). Subsídios para o gerenciamento costeiro do estado do Ceará, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*: v. 16, n. 2, 9 p. 2016.

- Menezes, J. T.; Klein, A. H. F. 1997. Variações Morfológicas das Praias do Litoral Centro Norte do Estado de Santa Catarina. In: X Semana Nacional de Oceanografia, 1997, Itajaí. *Anais da X Semana Nacional de Oceanografia*, Itajaí (SC), 1997. 58-60p.
- Menezes, J. T. *Alimentação artificial do segmento praias Navegantes/Gravatá*. SC. 2002. 114 p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina. 2002.
- Menezes, J.T. e Klein, A. H.F. 2002. *Método de Análise da Vulnerabilidade Costeira à Erosão*. II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa, IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, II Congresso do Quaternário dos Países de Língua Ibéricas. Pg. 1-4.
- Ministério do Meio Ambiente – MMA. *Projeto Orla: fundamentos para gestão integrada*. Brasília: MMA/SQA; Brasília: MP/SPU, 2006. 74p. ISBN 85-7738-029-7. 2006.
- Monteiro, M. A.; Mendonça, M. Dinâmica Atmosférica no Estado de Santa Catarina. In: Herrmann, M. L. P. *Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina: Período de 1980 a 2010*. 2ª Edição. Florianópolis (SC): Instituto Histórico e Geográfico de Santa Catarina – IHGSC; Cadernos Geográficos – GCN/UFSC. 2014. p. 5-12.
- Montreuil, A.; Bullard, J.; Chandler, J. H.; Millett, J. Decadal and seasonal development of embryo dunes on an accreting macrotidal beach: North Lincolnshire, UK. *Earth Surface Processes and Landforms*: n. 38, p. 1851-1868, 2013.
- Navegantes. Decreto nº 259 de 7 de maio de 2001. Declara em estado de calamidade pública áreas que especifica no Município de Navegantes e dá outras providências. Data de inserção no Sistema Leis Municipais: 30/8/2006. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a1/sc/n/navegantes/decreto/2001/26/259/decreto-n-259-2001-declara-em-estado-de-calamidade-publica-areas-que-especifica-no-municipio-de-navegantes-e-da-outras-providencias?q=decreto+259%2F2001> Acessado em 5/3/2021.
- Navegantes. Decreto nº 181 de 31 de outubro de 2016. Declara situação de emergência nas áreas do Município afetadas por ciclones – mares de tempestade (ressacas), Cobrade 13112, conforme IN/MI 01/2012. DOM/SC Edição nº 2114, de 1/11/2016. Página 322.
- Navegantes. Decreto nº 435 de 8 de setembro de 2017. Declara situação de emergência nas áreas do Município afetadas por ciclones – mares de tempestades (ressacas), Cobrade 13112, conforme IN/MI 01/2012. DOM/SC Edição nº 2336, de 11/09/2017. Página 915.
- Navegantes. Determinação – FUMAN inicia retirada de quiosques das dunas. Notícia publicada no site da Prefeitura em 19/6/2021. Disponível em: <https://www.navegantes.sc.gov.br/noticia/6803/determinacao-fuman-inicia-retirada-de-quiocques-das-dunas> Acessado em 26/1/2021.
- Navegantes. Projeto de recuperação da praia de Navegantes já é desenvolvido desde 2010. Notícia publicada no site da Prefeitura em 30/10/2017. Disponível em: <https://www.navegantes.sc.gov.br/noticia/11310/projeto-de-recuperacao-da-praia-de-navegantes-ja-e-desenvolvido-desde-2010> Acessado em 26/1/2021.
- Oliveira U. R. *Relações entre a morfodinâmica e a utilização em trechos da costa oceânica da ilha de Santa Catarina, SC, Brasil*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2009. 222 p. PhD Thesis.
- Porto de Itajaí. Histórico. Disponível em: <http://www.portoitajai.com.br/novo/c/historia>. Acessado em: 20/6/2020.
- Rangel-Buitrago, N.; Neal, W. J.; Jonge, V. N. Risk assessment as tool for coastal erosion management. *Ocean & Coastal Management*: n. 186, 15 p. 2020.
- Reboita, M. S.; Gan, M. A.; Rocha, R. P.; Ambrizzi, T. Regimes de Precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*: v. 25, n. 2, p. 185-204. 2010.
- Schettini, C. A. F.; Carvalho, J. L. B.; Jabor, P. 1996. Comparative hydrology and suspended matter distribution of four estuaries in Santa Catarina State – Southern Brazil. In: Anais, *Workshop on Comparative Studies of Temperate Coast Estuaries*. Bahia Blanca, 1996.
- Schmidt A. D.; Horn Filho N. O.; Estevam C. N. Estratégias adotadas para conter a erosão costeira no litoral de Santa Catarina, Brasil. In: Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa, 7., Maputo, *Short Papers*, 2013. p. 1-12.
- Serafim, M. B.; Siegle, E.; Corsi, A. C. Bonetti, J. Coastal vulnerability to wave impacts using a multi-criteria index: Santa Catarina (Brazil). *Journal of Environmental Management*, v. 230, p. 21-32. 2019.
- Serraglio, J. Entre Balneários e Pontais: a invenção da paisagem em Navegantes. In: Andrade, F. C. D.; Carvalho, M. C. W.; Miranda, N. *Rumo a Navegantes*. São Paulo: M. Carrilho Arquitetos, 2014. 192 p.: il. Color. – (Paisagens Culturais Brasileiras).
- Sherman, D. J.; Bauer, B. O. Dynamics of beach-dune systems. *Progress in Physical Geography*, 17, 4 (1993) p. 413-447.
- Short A. D. *Handbook of beach and shoreface morphodynamics*. England: Wiley, 1999. 379 p.
- Van Puijenbroek, M. E. B.; Limpens, J.; Groot, Riksen, M. J. P. M.; Gleichman, M.; Slim, P. A.; Van Dobben, H. F.; Berendse, F. Embryo dune development drivers: beach morphology, growing season Precipitation, and storms. *Earth Surface Processes and Landforms*: n. 42, p. 1733-1744. 2017.
- Yoo, C. I.; OH, T. S. Beach volume change using UAV Photogrammetry Songjung Beach, Korea. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences: Vol. XLI-B8, 2016. XXIII ISPRS Congress, 12-19 July 2016, Prague, Czech Republic. p. 1201-1205.

