



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ANÁLISE E PLANEJAMENTO
ESPACIAL**

RELATÓRIO DE MESTRADO

**MIGRAÇÃO DO CAMPO DE DUNAS TRANSGRESSIVAS DA LOCALIDADE
TATUS, ILHA GRANDE-PI**

SAMUEL CAMPÊLO DE VASCONCELOS MAIA

**Orientador: Prof. Dr. Érico Rodrigues Gomes
Co-orientador: Dr. João Wagner Alencar Castro (UFRJ / MUSEU
NACIONAL)**

TERESINA - PI

2023

SAMUEL CAMPÊLO DE VASCONCELOS MAIA

**MIGRAÇÃO DO CAMPO DE DUNAS TRANSGRESSIVAS DA LOCALIDADE
TATUS, ILHA GRANDE-PI**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Análise e Planejamento Espacial do Instituto Federal do Piauí, como parte integrante dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Análise e Planejamento Espacial.

Área de concentração: Planejamento territorial e geoprocessamento

Orientador: Dr. Érico Rodrigues Gomes (IFPI)

Coorientador: Dr. João Wagner Alencar Castro (UFRJ / MUSEU NACIONAL)

TERESINA - PI

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Maia, Samuel Campêlo de Vasconcelos

M193m Migração do campo de dunas transgressivas da localidade Tatus,
IlhaGrande - PI / Samuel Campêlo de Vasconcelos Maia. - 2023.
71 f.

Dissertação (Mestrado Profissional em Análise e Planejamento Espacial) -
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus
Teresina Central, 2023.

Orientador : Prof Dr. Érico Rodrigues Gomes.

1. Dunas. 2. Geoprocessamento. 3. Taxa de migração. I. Título.

CDD - 910

Elaborado por Tanize Maria Sales CRB 3/1024

SAMUEL CAMPÊLO DE VASCONCELOS MAIA

MIGRAÇÃO DO CAMPO DE DUNAS TRANSGRESSIVAS DA LOCALIDADE
TATUS, ILHA GRANDE-PI

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Análise e Planejamento Espacial do Instituto Federal do Piauí, como parte integrante dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Análise e Planejamento Espacial.

Aprovada em: 02/08/2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Érico Rodrigues Gomes (Orientador)
Instituição: Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Dr. Glairton Cardoso Rocha
Instituição: Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Dr. Jorge Eduardo de Abreu Paula
Instituição: Universidade Estadual do Piauí (UESPI)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pelo dom da vida e da sabedoria, e assim poder chegar até esse momento e a todas as conquistas adquiridas até hoje.

Ao Instituto Federal de Ciência, Educação e Tecnologia do estado do Piauí - IFPI pela oportunidade de todo o conhecimento acadêmico.

Ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Análise e Planejamento Espacial - MAPEPROF e a todos os professores que o fazem parte.

Ao professor Orientador Dr. Érico Rodrigues Gomes (IFPI) pelos ensinamentos e por todo apoio na construção desta pesquisa, juntamente com o professor Co-orientador João Wagner Alencar Castro (UFRJ/MUSEU NACIONAL).

À minha esposa Maria Clara e meus filhos Nahan e Lisbella pela paciência, dedicação e por serem motivo de persistência. Aos meus pais, por terem me proporcionado com toda dificuldade a oportunidade de estudar, ao meu irmão e a todos os meus familiares pelo apoio. À minha cunhada Martha Vitória por toda ajuda e apoio na reta final desta pesquisa.

À Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - SEMARH e aos amigos do Centro de Geotecnologia Fundiário e Ambiental - CGEO ao apoio e amizade em cada momento.

Ao professor e grande amigo Dr. Francisco de Assis da Silva Araújo (Analista ambiental - IBAMA) por todos os seus ensinamentos e apoio.

RESUMO

As dunas têm um importante papel no ambiente litorâneo quanto à preservação da zona costeira, protegendo contra ações de ondas de tempestades e de ressacas. A presente pesquisa que tem como área de estudo as dunas localizadas na localidade Tatus, situado no município de Ilha Grande – PI, as quais estão inseridas da APA do Delta do Parnaíba, e através do uso das geotecnologias, geoprocessamento e o sensoriamento remoto têm como objetivo geral quantificar a taxa de movimentação de dunas entre o período de 1990 e 2022 sobre recursos hídricos, áreas urbanas e vegetação, possibilitando definir zonas de interdição submetidas a soterramentos por dunas. As dunas transgressivas da localidade Tatus apresenta um conjunto de formas e feições eólicas com morfologias variadas, que se movimentam de acordo com a direção predominante do vento, compondo a dinâmica de praia como suporte de sedimento que alimenta esse sistema para controlar as erosões através das ondas e marés. Através do programa *Hysplit* (versão online) foram calculadas as trajetórias e frequências dos ventos, no qual foi encontrada a direção predominante do vento, sentido NE/SW, e após mapeamento dos campos de dunas para os anos de 1990, 2000, 2010 e 2022 foram calculadas as taxas de migração para três frentes das dunas obtendo-se na seção A 11,20 m/ano, na seção B 20,45 m/ano e na seção C 18,65 m/ano. Ao final, gerou-se um mapa identificando a evolução das dunas e delineando sua frente indicando áreas que estão em risco de soterramento por transporte de sedimentos.

Palavras - chave: Dunas, geoprocessamento, taxa de migração.

ABSTRACT

The dunes play an important role in the coastal environment in terms of preserving the coastal zone, protecting against storm waves and undertows. The present research that has as study area the dunes located in the locality Tatus, located in the municipality of Ilha Grande – PI, which are included in the APA Delta do Parnaíba, and through the use of geotechnologies, geoprocessing and remote sensing, it has the general objective of quantifying the dune movement rate between the period of 1990 and 2022 on water resources, urban areas and vegetation, making it possible to define prohibition zones subjected to burials by dunes. The transgressive dunes of the Tatus locality present a set of eolian forms and features with varied morphologies, which move according to the prevailing wind direction, composing the beach dynamics as a support of sediment that feeds this system to control erosions through waves and tides. Through the Hysplit program - online version, the trajectories and frequencies of the winds were calculated, in which the prevailing wind direction was found, NE/SW direction, and after mapping the dune fields for the years 1990, 2000, 2010 and 2022, the migration rates for three dune fronts were calculated, obtaining in section A 11.20 m/year, in section B 20.45 m/year year and in section C 18.65 m/year. In the end, a map was generated identifying the evolution of the dunes and outlining their front, indicating areas that are at risk of burial due to sediment transport.

Keywords: Dunes, geoprocessing, wind process.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Mapa de Localização da Área de Estudo no contexto do litoral do Piauí.....	27
Figura 02 – Mapa de Localização da Área de Estudo.....	28
Figura 03 – Software para simulação da trajetória de ventos gerados dos tipos Normal e Frequência - Escolha do tipo de trajetória.....	31
Figura 04 – Seleção dos dados meteorológicos utilizados no Hysplit pela versão on-line.....	32
Figura 05 – Seleção dos arquivos meteorológicos para o cálculo da trajetória de ventos tipo Normal no Hysplit versão on-line.....	33
Figura 06 – Seleção dos parâmetros para o cálculo da trajetória de ventos tipo Normal gerado no Hysplit versão on-line.....	34
Figura 07 – Seleção dos parâmetros para o cálculo da trajetória de ventos tipo Frequência gerado no Hysplit versão on-line.....	35
Figura 08 – Etapas do levantamento.....	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP	Antes do presente
APA	Áreas de Proteção Permanentes
DP	Deriva de areia
GPS	Global Positioning System
HYSPLIT	Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MDEs	Modelos digitais de elevação
MDT	Modelo Digital do Terreno
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NRM	Nível Relativo do Mar
OLI - 2	Operational Land Imager 2
PNGC	Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro
SEMAR	Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Piauí
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
UTM	Universal Transversa de Mercator
WGS	World Geodetic System

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
2.1 Processos eólicos e dunas costeiras.....	14
2.2 Dunas Transgressiva.....	18
2.3 Dinâmica Litorânea.....	23
2.4 Geotecnologias.....	24
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	26
4 INSTRUMENTOS E TÉCNICAS DE PESQUISA.....	30
4.1 Processamento das trajetórias de vento.....	30
4.2 Processamento das imagens orbitais.....	35
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	37
REFERÊNCIAS.....	39

1 INTRODUÇÃO

A natureza vem sofrendo mudanças progressivamente mais drásticas pelo homem, que para alcançar seu desenvolvimento, utiliza de recursos adquiridos no ambiente para transformá-los em bens de consumo. As inovações tecnológicas e a urbanização trazem consigo não somente benefícios, mas também alguns prejuízos, pois o homem em busca desse avanço, por diversas vezes, deixa à margem o equilíbrio entre a retirada dos recursos que a natureza oferece e a capacidade que a mesma tem de se recompor.

Para que isso não ocorra, vem a ser indispensável um gerenciamento ambiental, envolvendo regulação do uso, controle, proteção e conservação dos recursos naturais evitando maiores prejuízos resultantes da ação antrópica.

Segundo Castro *et al.* (2017) e Miguel & Castro (2018), a origem e evolução dos depósitos eólicos costeiros no litoral brasileiro e na África Austral é determinada pelas variações do relativo nível do mar durante o Holoceno, regime de ventos com velocidades superiores a 6,0 m/s, suprimento de sedimentos, baixos índices pluviométricos e espaço apropriado para acumulação. Castro *et al.* (2017) sugerem que a evolução morfológica das dunas da costa setentrional do Nordeste Brasileiro, deve-se a uma sucessão de eventos geológicos ocorridos após o optimum climático holocênico entre 6.335 - 4.800 anos AP (antes do presente). O rebaixamento do nível relativo do mar (NRM) propiciou o desenvolvimento de uma ampla planície costeira, bordejada por tabuleiros da Formação Barreiras. À medida que a planície costeira se expandia, gerou-se novo espaço para deposição de sedimentos eólicos, formando assim, dunas costeiras submetidas a regime de vento unimodal provenientes principalmente do quadrante nordeste.

Conforme estudos desenvolvidos por Bagnold (1941), Nickling (1986), Sherman & Hotta (1990), Castro (2005), Hesp (2013), Miguel & Castro (2018), os processos físicos de sedimentação eólica, associados ao desenvolvimento de dunas costeiras podem ser aferidos através de estimativas de taxas de transporte induzidas pelo vento. Em relação às estimativas de transporte eólico, Werner *et al.* (1988) realizaram os primeiros trabalhos em dunas na região de Alexandria, costa da África do Sul. As movimentações de dunas

transversais foram obtidas por análise aerofotogramétricas de diferentes datas de vôos e pela expressão desenvolvida por Simons et al. (1965) para o cálculo de estimativa de taxas de transporte eólico em diversos pontos do campo de dunas estudado. Castro (2005) aplicou metodologia semelhante nos campos de dunas de Paracuru no litoral do Estado do Ceará.

O uso de geotecnologias, envolvendo geoprocessamento e sensoriamento remoto em estudos sobre dunas móveis transgressivas, torna-se uma ferramenta útil no monitoramento dessas feições eólicas, que muitas vezes, acarretam processos de soterramentos sobre áreas urbanas e rurais do litoral do Nordeste Brasileiro (Castro, 2005).

Estudos geológicos e ambientais a partir de trabalhos de campo e laboratório, visam de certa forma, minimizar os impactos sobre as atividades sociais e econômicas da localidade de Tatus, município de Ilha Grande, Piauí, evitando assim, grandes perdas patrimoniais. Desta forma, as geotecnologias a serem utilizadas nesse trabalho, apontam para o comportamento dos processos eólicos em escala decadal, indicando as taxas de movimentação eólica a cada ano, distribuição geográfica das feições e formas eólicas e áreas de soterramento nesta região.

O campo de dunas transgressivas da localidade de Tatus, município de Ilha Grande, Piauí, apresenta um conjunto de formas e feições eólicas com morfologias variadas, que se movimentam de acordo com a direção predominante do vento, compondo a dinâmica costeira como suporte de sedimento que alimenta esse sistema para controlar as erosões através das ondas e marés. É limitado a oeste pelo rio dos Morros e a leste por uma extensa planície costeira composta por brejos e lagoas e pela PI-210. O regime de ventos predominante é de nordeste com rajadas de vento que podem chegar a 7,0 m/s. A incidência de ventos constantes sobre a zona de alimentação do sistema eólico (praia) forma um ângulo de 30°, resultando no desenvolvimento de dunas móveis transgressivas (Castro, 2001).

Através de ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, o presente trabalho busca quantificar a taxa de movimentação de dunas entre o período de 1990 e 2022 sobre recursos hídricos, áreas urbanas e vegetação da

Área de Proteção Ambiental do Delta do Parnaíba possibilitando definir zonas de interdição submetidas a soterramentos por dunas.

Diante disso, o objetivo desta pesquisa foi mapear a movimentação do campo de dunas do Tatus e sua distribuição espacial no período de 1990 a 2022. Assim os objetivos específicos foram mapear o campo de dunas nos anos de 1990, 2000, 2010 e 2022; calcular a taxa de migração das dunas; identificar se a direção das dunas poderá soterrar parcialmente ou totalmente a localidade dos Tatus e Áreas de Proteção Permanentes da APA do delta do Parnaíba; e apresentar as principais dunas que possuem uma maior taxa de migração frente à possibilidade de soterramento pela migração destas dunas.

Desta forma, o uso de geotecnologias e conhecimentos sobre dunas e dinâmica litorânea trará uma base concreta de informações sobre a situação atual da área, que servirá de base para os estudos da dinâmica de migração de sedimentos. Dando suporte também para planejar e organizar o espaço, visando à elaboração e implantação de programas e políticas que recuperem e preservem toda a região.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Dunas são caracterizadas por deposições de grãos de areia na forma ondulada ou assimétrica, os quais o processo eólico se torna o agente relevante, que permite o levantamento, transporte e deposição dessas partículas nas regiões da interface entre a terra e o mar (GIANNINI et al., 2008). Algumas alterações ocorridas no curso dessas movimentações repercutem diretamente no campo de dunas, de modo que indica a viabilidade temporal e/ou espacial dos morfotipos das dunas, suas dimensões interdunares, na taxa de migração de dunas, bem como, na taxa de acumulação vertical ou deflação, e essas variações fazem com que o campo de dunas se mobilize, através da sua expansão ou estreitamento ao longo do tempo (MOUNTNEY, 2012).

As dunas têm um importante papel no ambiente litorâneo, pois ajudam na preservação da zona costeira, protegendo contra ações de ondas de tempestades e de ressacas. As zonas costeiras tem uma função que desempenha um papel de ligação entre os ecossistemas terrestres e marinhos,

abrigando diversos ecossistemas como manguezais, sistemas de dunas, recifes de corais, entre outros. Segundo Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro - PNGC, BRASIL (1988):

A Zona Costeira abriga um mosaico de ecossistemas de alta relevância ambiental, cuja diversidade é marcada pela transição de ambientes terrestres e marinhos, com interações que lhe conferem um caráter de fragilidade e que requerem, por isso, atenção especial do poder público, conforme demonstra sua inserção na Constituição brasileira como área de patrimônio nacional.

As zonas costeiras configuram-se por uma variedade de ambientes, como campos de dunas, manguezais, pântanos, recifes de corais, praias e costões rochosos. Nesse contexto, as dunas costeiras são ecossistemas dinâmicos, as quais se enquadram como primeira linha de defesa contra o mar, protegendo o vento, as ondas, as marés tempestuosas e a subida do nível do mar (GRAELLS et al., 2021). Em particular, as dunas costeiras oferecem diversas funções ao ecossistema que contribuem para aprimorar o desenvolvimento e progresso das comunidades locais (DRIUS et al., 2019). Algumas dessas atribuições estão associadas ao: controle da erosão, fornecimento de habitat para a vida selvagem, proteção das pessoas e da biodiversidade de riscos naturais, fornecimento de uma fonte de turismo recreativo, educação, pesquisa e participação no patrimônio histórico e cultural (CHARBONNEAU; COCHRAN; AVENARIUS, 2019).

Entretanto, essas dunas localizadas nas zonas costeiras são frequentemente ameaçadas por fatores antrópicos, como a mudança no uso da terra e o turismo não regulamentado, bem como, consideradas pelos gestores da região como terras inertes e não funcionais, para serem convertidas em agricultura, resorts turísticos, ou qualquer outro tipo de infraestrutura (GAO; KENNEDY; KONLECHNER, 2020).

2.1 PROCESSOS EÓLICOS E DUNAS COSTEIRAS

Meireles e Rubio (1998) destacam que o conhecimento sobre as oscilações do nível médio do mar e as mudanças climáticas durante o Quaternário são de fundamental importância para qualquer estudo

geoambiental relacionado às planícies costeiras. Dessa forma, Meireles (2014, p.87) afirma que a dinâmica costeira é completamente dependente do aporte de areia proveniente das dunas e que foi regulado a partir dos eventos transgressivos e regressivos que ocorreram durante o Quaternário.

Para os estudos de avanço de dunas, vários trabalhos já foram realizados no Brasil e no mundo buscando compreender a dinâmica de sistema de dunas, levando em consideração que as dunas têm um importante papel para as zonas costeiras. Werner, Ilemberguer e Rust (1988), no intuito de calcular a taxa de transporte eólico através da migração de dunas transversais, realizam o primeiro trabalho sobre balanço sedimentar em dunas na região de Alexandria, costa da África do Sul. As medidas foram obtidas por fotografias aéreas de diferentes datas de voo e pelo método de ortofotocartas na escala de 1:10.000. Os autores utilizaram uma expressão desenvolvida por Simons, Richardson e Mordin (1965) para o cálculo de estimativa de taxas de transporte eólico em diversos pontos do campo de dunas estudado.

Os processos costeiros são diretamente influenciados pelo efeito das marés altas e baixas e correntes de maré associadas, e fatores como ar, temperatura do mar e salinidade, determinados pelo clima e pelos padrões das correntes oceânicas. Ao longo dos tempos históricos, a evolução costeira também sofreu modificação pelos efeitos das várias atividades humanas na costa e no interior. (BIRD, 2001)

Castro (2001) e Castro (2005) estudando a geomorfologia do sistema sedimentar eólico de Paracuru - CE se propuseram a identificar a origem e evolução morfológica do sistema eólico associado ao promontório de Paracuru, com ênfase particular no processo de migração de dunas transversais atuais, identificando os principais agentes responsáveis pelo soterramento da planície costeira. Através de técnicas de geoprocessamento e monitoramento de dunas, individualizou o modelo proposto em quatro subsistemas encadeantes bem definidos. De acordo com esses estudos, mantidas as condições atuais de ventos e precipitações pluviométricas, a longo prazo, pôde-se concluir que em torno de 120 anos, parte da cidade de Paracuru será soterrada pelas dunas.

Portz (2012) em sua tese de doutorado desenvolveu uma proposta de gestão de dunas e praias no intuito de auxiliar pessoas que trabalham com

gestão e desenvolvimento de praias, conduzindo esta região a um desenvolvimento econômico e social com manutenção das características naturais. Incluiu em sua tese uma análise de degradação da praia de Xangrilá - RS e oferece técnicas e respostas sobre como lidar com a reconstrução do ambiente erodido, principalmente no sistema de dunas.

Estudando um campo de dunas de Mangue Seco, Guamaré - RN, Chaves et al. (2017) buscaram determinar taxas de migração de três dunas, baseando-se em medições da variação de volume entre junho de 2013 a maio de 2014. Utilizaram de uma combinação de medições de GPS geodésico e coleta de sedimentos para caracterizar sua morfodinâmica. Foi gerado o MDT (Modelo Digital do Terreno), utilizando a técnica de krigagem e foi calculado o volume das dunas. Seus resultados do monitoramento mostraram que apenas uma das dunas estudadas mostrou migração significativa e que a direção preferencial de migração não foi alterada.

Silveira et al. (2021) desenvolveram estudos de dinâmica das dunas escalonares transgressivas na região do Perú, em Cabo Frio, Rio de Janeiro, que se projetam sobre áreas urbanas, no qual o objetivo de seu trabalho foi estudar o processo de soterramento decorrente da movimentação de dunas. Foi feita através de sensoriamento remoto a análise do comportamento espaço-temporal entre 1990 a 2020. Através do software HYSPLIT - *Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory* (versão online), desenvolvido pela NOAA e pelo *Bureau of Meteorology* da Austrália, foi obtida a trajetória do vento. Encontrando assim, um regime de ventos que apresenta distribuição homogênea ao longo da série temporal analisada entre 2007 a 2019, e constatando que a movimentação da frente de dunas em direção à planície costeira do Perú, apesar de não ser constante durante o ano, vem causando diversos problemas de soterramentos no local.

No Piauí alguns estudos norteiam pesquisas no litoral. Em suas contribuições para a pesquisa Cavalcanti e Viadana (2007) desenvolvem uma pesquisa com o objetivo o estudo dos impactos e das condições naturais e socioeconômicas, decorrente das atividades antrópicas, onde constataram que a dinâmica natural nas praias e dunas dissipadas é responsável pelo elevado suprimento de sedimentos arenosos transportados pelo vento, propiciando

modificações constantes na linha da costa e o avanço de dunas. Verificando nestas áreas o incremento da urbanização com construções residenciais e comerciais, tendo em vista o turismo e atividades de lazer. Constatando que a retirada de sedimentos e construção de habitações e rodovias provoca alterações ambientais consideráveis, como a desestabilização do relevo, eliminação de espécies, desestruturação da cadeia de alimentos e perda do potencial genético, principalmente próximo aos núcleos residenciais e comerciais, sofrendo as consequências desses impactos.

Baptista (2012) estudou os recifes de arenito da zona litorânea piauiense do ponto de vista físico, considerando suas características morfossedimentares, visando seu reconhecimento como feição litorânea relevante para o estado do Piauí. De acordo com a pesquisadora os recifes de arenito ocorrem no litoral piauiense de forma linear e paralela à costa, geralmente descontínuos, servindo de substrato para o desenvolvimento de diferentes espécies marinhas animais e vegetais. Atuam como obstáculos naturais frente à ação das ondas e marés mais fortes e altas, atenuando o impacto das mesmas.

Com o objetivo de levantar e discutir o comportamento das variáveis que comandam os processos costeiros atuantes nas praias oceânicas da planície costeira do Estado do Piauí, Paula (2013) tem em sua tese, o intuito de compreender a relação destes com as formas de intervenção humana e os indicadores de erosão da área, abordando a dinâmica morfológica e costeira. Realizou a construção de perfis topográficos, coleta e análise de sedimentos, levantamento de dados do clima de ondas, identificação de indicadores da variação do nível do mar na região e identificação de indicadores de vulnerabilidade à erosão costeira. Podendo afirmar que a área apresenta muitos indicadores de vulnerabilidade à erosão, no entanto estes geralmente têm causas associadas a condicionantes naturais e que o comportamento do fluxo de sedimentos na região e a configuração da costa denotam que a área representa em geral um “sumidouro” para os sedimentos litorâneos.

Rocha (2015) em sua tese de doutorado apresenta propostas para elaboração de plano de gestão na área que compreende a praia de Macapá, no município de Luís Correia, estado do Piauí, que pertence à Microrregião do

Baixo Parnaíba Piauiense, assim sendo necessário compreender a dinâmica natural.

Sousa (2019) realizou uma proposta de zoneamento geoecológico do complexo fluviomarinho dos rios Cardoso/Camurupim e porção costeira adjacente, como subsídio ao planejamento ambiental, utilizando como base teórica e metodológica a Geoecologia das Paisagens. Como resultados foram delimitados quatro unidades geoecológicas: planície costeira (praia e pós-praia, dunas móveis, dunas fixas, planície de deflação eólica, terraço marinho e a planície fluviomarinha); planície fluviolacustre (lagoas costeiras); planície fluvial (planície fluvial e terraço fluvial) e Tabuleiro litorâneo (falésias e interflúvios tabulares) que formam o complexo fluviomarinho dos rios Cardoso/Camurupim. A partir das unidades geoecológicas se definiram quatro zonas ambientais e funcionais: Zona de Proteção Permanente - ZPP, Zona de Conservação Ambiental – ZCA, Zona de Uso Disciplinado – ZUD e Zona de recuperação Ambiental – ZRA.

2.2 DUNAS TRANSGRESSIVAS

De acordo com Andreucci et al. (2010), dunas transgressivas se desenvolvem frequentemente ao longo da planície costeira; no entanto, elas também podem se formar ao longo de costas rochosas dominadas por falésias e enseadas. Com isso, pesquisadores investigaram dois sistemas dunares transgressivos litificados desenvolvidos ao longo da costa algarvia de falésias, no noroeste da Sardenha, Itália, a fim de verificar o tempo de formação das mesmas. Cinco amostras da sucessão eólica nos locais de estudo foram coletadas para Luminescência Opticamente Estimulada (OSL) para determinar a idade dos sistemas dunares. Verificou-se idades de 75 ka, caracterizada por um nível do mar relativamente baixo (15 m abaixo do nível do mar atual) e foi precedido por um nível do mar alto (+1 m de altitude) em torno de 81 ka. Essa rápida queda do nível do mar expôs uma enorme quantidade de sedimentos marinhos, transportados para o interior por fortes ventos de norte e depositados em frente a falésias ou em cabeças de vales. Portanto, entendeu-se que o suprimento de sedimentos e a queda do nível do mar parecem ser fatores

críticos os quais controlaram a formação de dunas ao longo das costas rochosas, que geraram os eolianitos.

Da mesma forma, Mathew, Davidson-Arnott e Ollerhead (2010) avaliaram o comportamento das dunas de Greenwich, ao longo da costa nordeste no Parque Nacional da Ilha do Príncipe Eduardo, Canadá, que são um continente arenoso e um complexo de dunas de praia que se estende por cerca de 10 km. Em outubro de 1923, uma onda associada a uma intensa tempestade produziu inundações catastróficas ao longo de toda a extensão da área de pesquisa. Assim, os investigadores conseguiram quantificar a evolução subsequente do sistema a partir de fotografias aéreas históricas tiradas em 1936, 1953, 1971, 1997 e 2005. Mosaicos de ortofotos gerados para cada conjunto de fotos foram obtidas por meio da utilização de um software fotogramétrico digital denominado *PCI Geomatica OrthoEngine*. Dessa forma, foi possível observar mudanças lineares na posição da linha de costa e modificações de área em unidades geomórficas, as quais foram avaliadas para cada conjunto de fotos. Além disso, extraíram modelos digitais de elevação (MDEs) das imagens aéreas de 1953, 1971 e 1997, permitindo a análise de mudanças topográficas e volumétricas. As fotografias registradas em 1936 mostram a destruição completa de todas as dunas frontais, com dunas transbordantes e transgressivas estendendo-se de 300 a 600 m para o interior. Consequentemente, os autores propõem um modelo descritivo das fases de evolução do sistema com base nos processos por controle de cura por excesso e estabilização das dunas. Passaram-se quase 40 anos até que um sistema contínuo de dunas frontais fosse restabelecido e mais 30 anos antes que as dunas transgressivas interiores se tornassem completamente estabilizadas.

Por meio da análise dos campos de dunas transgressivas na Ilha Fraser, na Austrália, Yizhaq et al (2013) propõem um modelo matemático geral para a dinâmica espaço-temporal da cobertura vegetal em dunas de areia e destacaram a dinâmica das dunas transgressivas. Entre outras possibilidades, o modelo prevê o crescimento paralelo ao vento com encolhimento perpendicular ao vento, o qual uma duna transgressiva pode crescer inicialmente, dependendo da geometria e tamanho, mas eventualmente

encolher. Com isso, entende-se que quanto maior a área inicial, mais lento será o processo de estabilização.

Hernandez-Cordero et al. (2015) exploram a relação entre a dinâmica da vegetação e a mobilidade dunar num sistema árido de dunas costeiras transgressivas, especificamente o campo dunar de Maspalomas (Gran Canaria, Ilhas Canárias). Nesse contexto, foram verificadas algumas estratégias de colonização e sobrevivência as quais as comunidades vegetais têm desenvolvido em restingas que enfrentam o avanço das dunas. A relação entre a colonização vegetal e a migração das dunas foi realizada por vários anos, acompanhando as plantas *Tamarix canariensis* mais conhecidas como Tamargueira e *Traganum moquinii* o qual em espanhol popularmente chamada de “balancón”, que quer dizer gangorra. Assim, foram medidos dados morfológicos sobre cada indivíduo, bem como a distância de cada planta à duna. Dessa maneira, os dados analisados mostram que tanto a colonização de plantas quanto o desenvolvimento de plantas adultas estão amplamente relacionados à mobilidade das dunas.

Outros pesquisadores tiveram a percepção de examinar as mudanças na atividade das dunas e no estabelecimento de dunas frontais na Ilha Moreton, localizada na Austrália. Levin e colaboradores (2017) utilizaram ilustrações fotográficas aéreas históricas, imagens de satélite e dados do LIDAR para quantificar as mudanças nas áreas de areia nua, nas taxas de movimento das dunas, no desenvolvimento de dunas frontais e nas alterações no litoral entre 1944 e 2015. Dessa maneira, com o auxílio da utilização de dados de vento (1957 – 2016) para quantificar mudanças no potencial de deriva de areia (DP) e na direcionalidade do vento, bem como, dados de ondas (1977-2016) para examinar mudanças na altura e direção das ondas, descobriu-se que as dunas transgressivas na Ilha Moreton começaram a se estabilizar no início dos anos 1970, após uma série de dunas frontais contínuas desenvolvidas na costa leste da Ilha, apesar do aumento nos valores de DP. Assim, verificou-se que as dunas frontais começaram a se estabelecer nas décadas de 1960 e 1970 durante um período de menor altura das ondas e diminuição da direcionalidade do vento. Constataram, dessa forma, que uma vez estabelecidas, essas dunas frontais diminuíram o suprimento de areia para

as dunas transgressivas, causando uma mudança de fase no estado de atividade das dunas na ilha.

Já os pesquisadores Miguel e Wagner (2018) estudaram os condicionantes geomorfológicos do sistema laguna-barreira de Bilene, situado no Sul de Moçambique, a partir dos padrões climáticos regionais e dinâmica sedimentar eólica. Foram analisadas informações de precipitação pluviométrica de 52 anos, regime de ventos de 37 anos, registros de temperatura atmosférica de 56 anos, mapa geológico na escala de 1:50.000 além de monitoramento de movimentação de dunas por um período de um ano. Com base nessas informações, os autores verificaram que as dunas costeiras associadas ao sistema laguna – barreira são controladas principalmente pelo regime de ventos, com taxa de migração de 23 m/ano. Além disso, a taxa de transporte de sedimento eólico proveniente de SSW, S e SSE foi estimada em 1,4 kg/m/s, bem como o índice de mobilidade dos sedimentos eólicos, com ausência ou presença de vegetação, encontra-se na faixa entre 50 e 200 mm/ano, conforme o índice pluviométrico regional de 1600 mm/ano, o qual resultou em 70% de cobertura vegetal sobre os campos de dunas do sistema laguna-barreira analisado. Portanto, a atuação persistente desses fatores climáticos e sucessivas variações do nível relativo do mar durante o Holoceno combinadas ao alto suprimento de sedimentos, definiram o campo de dunas transgressivas associadas a um sistema laguna-barreira de Bilene, costa do sul de Moçambique.

Da mesma maneira, a investigação desenvolvida por Miguel et al. (2019) examinou as mudanças do nível do mar no Holoceno e as condições e controles climáticos recentes em um sistema de barreira costeira de 150 m de altura em Moçambique, no sudeste da África. A abordagem metodológica foi baseada no uso de 7 kyr B.P. curva relativa do nível do mar; 37 anos de registros de vento de 1979 a 2016; 52 anos de registros pluviométricos de 1960 a 2012; e 56 anos de temperaturas médias registradas de 1960 a 2016. Migrações locais de campos de dunas foram monitoradas pelos autores e a taxa de transporte de areia foi medida de 2016 a 2017. De acordo com a pesquisa, os efeitos combinados da elevação relativa do nível do mar e do suprimento de sedimentos indicam a formação da barragem da laguna no sul

de Moçambique. Enquanto isso, as recentes condições climáticas secas e úmidas sugerem que elas podem ser um fator de controle na geração de campos de dunas transgressivas que migram para a terra. Esta migração é refletida na taxa de transporte de areia, que é controlada pelos ventos dos quadrantes SSW, S e SSE. As dunas parabólicas ativas monitoradas indicaram uma taxa de migração SE-NW de 22,5 milhões de anos, que rapidamente enterra lagos e sistemas lagunares. A formação de diferentes feições geomorfológicas nas paleodunas transgressivas e nas dunas modernas refletem sua exposição aos ventos predominantes S, SSE, SE, E e N, a precipitação anual de 1600 mm ano e a ausência de chuva por 7 meses no ano. As modificações escalonadas do nível do mar no Holoceno combinadas com o alto suprimento de sedimentos e a atuação persistente de condições climáticas secas e úmidas sazonais levaram à sedimentação e definição da morfologia transgressiva dos campos de dunas na costa sul de Moçambique.

Portz et al. (2021) em seu objeto de estudo analisou a degradação de dunas transgressivas no Parque Nacional Lagoa do Peixe - RS causado pela plantação de árvores de Pinheiros e pela degradação existente na região. Através de fotografias aéreas, imagens de satélite e dados topográficos coletados desde a década de 1970, pode-se observar, analisar e comparar a evolução geomorfológica do campo dessas dunas. Constatou-se que por meio da plantação de pinheiros foi possível a fixação das dunas transgressivas, e em consequência disso, evitou-se o enchimento de dunas rasas, embora áreas degradadas tenham sido geradas a sotavento na lateral dos pinheiros. Simultaneamente a execução da plantação de pinheiro também pôde evitar a entrada de sedimentos no campo de dunas, o que gerou uma grande área interdunar juntamente com o desenvolvimento de dunas parabólicas, que resultou na destruição das dunas transgressivas. Em vista disso, os pesquisadores concluíram que, embora controverso internacionalmente, o presente estudo de caso revela que a remoção desta vegetação exótica, através de programas de recuperação da vegetação dunar, muitas vezes pode ser mal sucedida, além de gerar a formação de mais áreas degradadas. No entanto, no caso aqui apresentado, era essencial a remoção da floresta a fim

de garantir a ocorrência da geodinâmica do campo de dunas e, portanto, a base do sistema natural.

2.3 DINÂMICA LITORÂNEA

A implantação de equipamentos públicos e privados nas planícies costeiras interfere diretamente nos processos sedimentares e morfológicos que regem a dinâmica da faixa de praia, o que induz a um novo comportamento evolutivo, muitas vezes para o avanço de erosão (MEIRELES, 2014)

Castro (2001) associa a quantidade de sedimento disponível a ser transportado longitudinal para o interior do sistema eólico a dois fatores ambientais: a deriva litorânea resultante do transporte longitudinal de sedimento e condiciona a quantidade de material depositado na praia pela ação das ondas; e pelas variações do perfil de praia relacionadas ao regime de ondulação de maior ou menor energia que determinam a quantidade de sedimento disponível a ser transportado.

Segundo Paula (2013) a zona costeira é sujeita aos processos dinâmicos que são compostos pelas ações dos agentes de transporte, erosão e deposição, tendo como principais causas a variação do nível do mar, a corrente de deriva litorânea, a influência das marés, o comportamento climático, a ação eólica e, principalmente, a ação antrópica. Para Rocha (2015) o estudo da dinâmica da costa e consequentemente das praias, está fortemente ligado à Geomorfologia e à Geologia Costeira.

Meireles (2014) explica a ação das marés, das ondas e dos ventos predominantes de leste e nordeste através da deriva litorânea dos sedimentos de leste para oeste. Durante o período de maré baixa, se o volume de areia for suficiente e os ventos apresentarem competência, os ventos transportam parte dos sedimentos sobre o estirâncio para a berma e daí para o interior do continente, dando origem às dunas frontais e em seguida às dunas móveis. Ao serem edificadas as estruturas dunares e com a continuidade do processo de migração, as que alcançam canais fluviomarinhas são consumidas pela hidrodinâmica estuarina, com os sedimentos originando bancos de areia no leito do canal. Ao atingir a desembocadura e lançado para a linha de praia, o

transporte sedimentar é controlado pelo sistema de correntes litorâneas (novamente pela ação das ondas, marés e correntes marinhas).

Parte da dinâmica costeira é processada através da relação de interdependência entre morfologias estabelecidas como praia, dunas móveis, canais estuarinos e promontórios, com a manutenção de um fluxo contínuo de areia para a faixa de praia, com os sedimentos provenientes dos campos de dunas móveis. O autor afirma ainda que a interferência do homem modificando a trajetória, energia e volume de areia em transporte, inicia-se uma nova dinâmica, predominantemente para processos erosivos.

2.4 GEOTECNOLOGIAS

Por meio da observação das demandas específicas para a realização do estudo de migração de dunas, entende-se a necessidade da compreensão integral dos instrumentos os quais permitem o fornecimento de dados em tempo hábil e com agilidade para o processamento dessas informações. Por conseguinte, a aplicação de ferramentas em geotecnologias como o sensoriamento remoto, o geoprocessamento, sistemas de informação geográficos, entre outras, permitem a possibilidade para que essas análises possam ser desenvolvidas de forma remota, com menor custo e precisão na coleta e análise dos dados.

O geoprocessamento, conforme Xavier-da-Silva (2001, p. 47) “[...] focaliza, primordialmente, o levantamento e a análise de situações ambientais representadas por conjuntos de variáveis georreferenciadas e integradas em uma base de dados digitais [...]”. O autor conclui ainda que, para isso, é necessária uma base cartográfica confiável exigindo, portanto, um conhecimento em cartografia automatizada.

Para isso deve-se levar em conta a importância dos dados e informações, e Gomarasca (2004) diferencia esses dois conceitos, onde o dado constitui a base das informações e em geral representa uma medida no espaço ou uma característica específica, e somente um sistema inteligente (humano ou não) é capaz de converter um dado em informação.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG's) sobrepõem-se aos sistemas de informações tradicionais, tanto na rapidez quanto ao

processamento dos dados, além de agregar a componente espacial, ou seja, relacionar características de um objeto localizado no espaço em um ambiente SIG, com isso realizar análise referentes ao espaço geográfico.

Dessa forma, Câmara (2005, p. 2) indica algumas características importantes dos SIG's:

Inserir e integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de meio físico-biótico, de dados censitários, de cadastros urbano e rural, e outras fontes de dados como imagens de satélite, e GPS.

Oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar e visualizar o conteúdo da base de dados geográficos.

Frequentemente, SIG é confundido com o conceito de geoprocessamento, todavia é uma das ferramentas utilizadas nesse conjunto de tecnologias. Geoprocessamento “pode ser entendido como técnicas matemáticas e computacionais para tratar dados de objetos ou fenômenos geograficamente identificados ou extrair informações desses objetos ou fenômenos, quando eles são observados através de um sistema sensor”. (MOREIRA, 2007)

O geoprocessamento, por meio de suas características, permite diferenciar cada espaço identificando e separando os fenômenos ocorrentes, de forma mais segura e rigorosa, onde pode atuar com mais credibilidade e com menos interferência. (VEIGA; XAVIER-DA-SILVA, 2011)

Para Poveda e Vázquez (2012, p. 96), “*en resumen, un SIG es un sistema informático (software y hardware) que gestiona una base de datos con información espacial georreferenciada*”.

Olaya (2012) afirma que 70% das informações que é manejada em qualquer disciplina estão georreferenciada. O autor diz ainda que se trata de uma informação que se pode atribuir uma posição geográfica, e por tanto informação que vem acompanhada de outra informação relativa à sua localização. Assim, “*un SIG es fundamentalmente una herramienta para trabajar con información georreferenciada, una definición en la que pueden entrar un gran número de tecnologías y de otros elementos no tecnológicos*.” (OLAYA, p. 6, 2012)

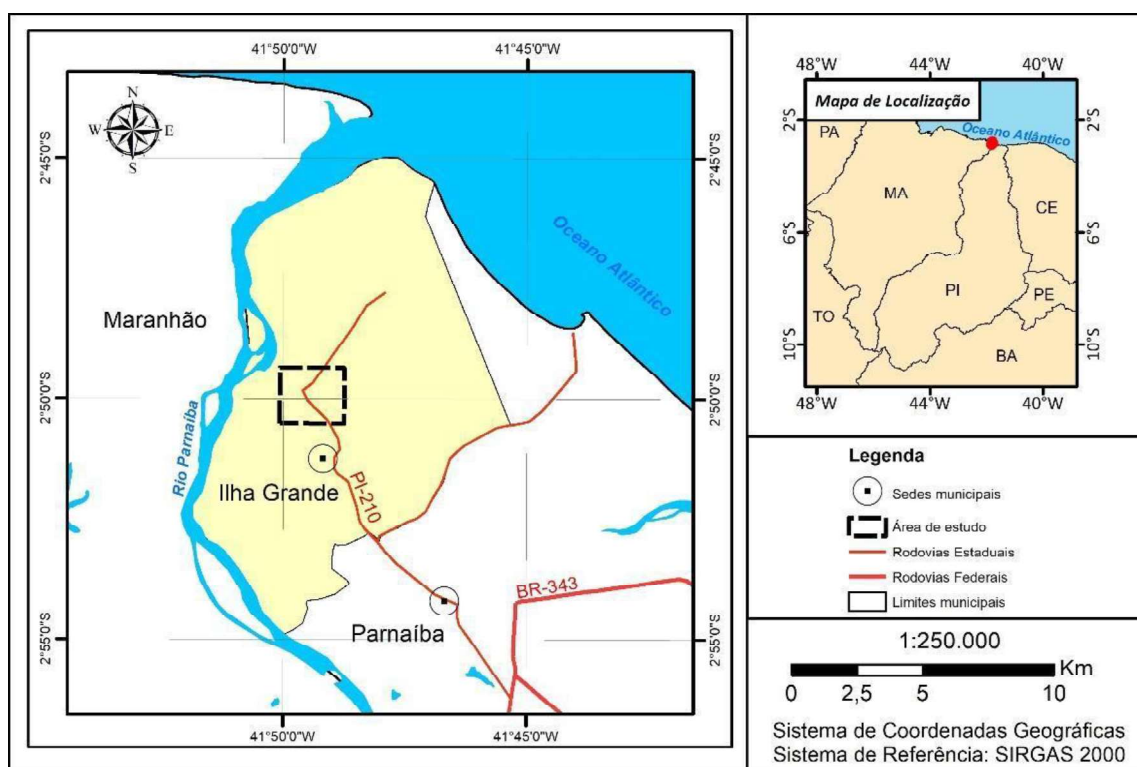
Segundo o IBGE (2013, p. 155), “SIG é uma estrutura de processamento automático de dados destinados à coleta, armazenamento, recuperação, transformação e visualização de dados e informações a ele vinculadas”. Ainda é uma ferramenta constituída por várias tecnologias de geoprocessamento que tem como objetivo fornecer informação seja na forma de dados espaciais e ou de dados de atributos e possibilita tratar um conjunto de dados, de forma integrada ou individualizada.

Desenvolvidas a partir dos avanços tecnológicos, essas ferramentas, combinadas, trazem aos estudos ambientais e, principalmente aos estudos de gerenciamento costeiro, um grande desenvolvimento tanto na confiabilidade das informações extraídas como na rapidez do processamento dos dados. Além disso, apresenta de forma rápida e eficaz a avaliação dos resultados na forma de mapas, gráficos e tabelas.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo pertence ao recorte espacial do município de Ilha Grande, que está inserido na Área de Proteção Ambiental do Delta do Parnaíba, formada pela zona costeira piauiense (Cajueiro da Praia, Ilha Grande, Luís Correia, e Parnaíba). Sua sede tem as coordenadas geográficas de 02°51'28" de latitude sul e 41°49'15" de longitude oeste de Greenwich e dista cerca de 326 km de Teresina - PI, como mostra a figura 01.

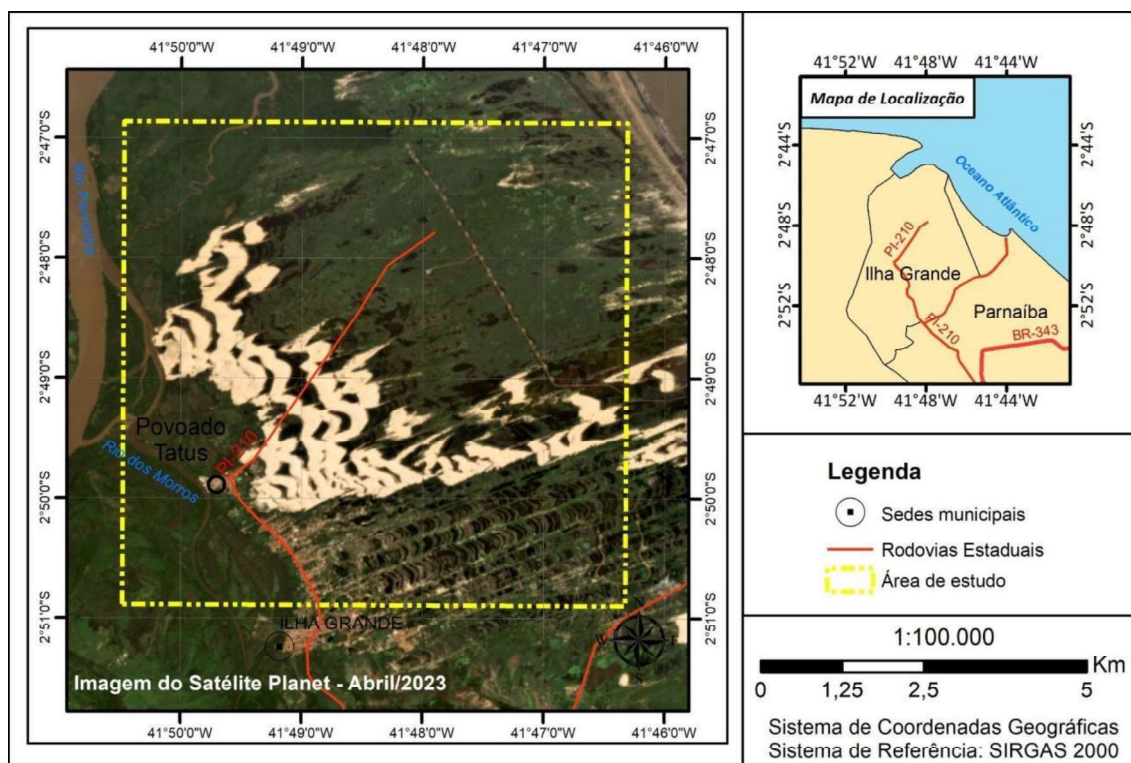
Figura 01: Mapa de Localização da Área de Estudo no contexto do litoral do Piauí.



Banco de dados: IBGE (2022). Organização e Geoprocessamento: Samuel Maia, 2023.

O recorte da área de estudo foi definido a partir da localização das dunas existentes na região, a qual estejam em direção às áreas antropizadas, mais especificamente ao povoado Tatus (Figura 02), que distam a cerca de 6 km do oceano Atlântico, e no ano de 2022 possuía uma área de aproximadamente 761 ha.

Figura 02: Mapa de Localização da Área de Estudo.



Banco de dados: IBGE (2022). Organização e Geoprocessamento: Samuel Maia, 2023.

O povoado Tatus, localizado no município de Ilha Grande – PI, é uma localidade inicialmente voltada para a pesca e atividade extrativista, com estrutura pública de escolas, praças, vias asfaltadas, onde sua localização se destaca devido a existência do porto que dá acesso ao passeio do Delta do Parnaíba, o porto de Tatus.

A área em estudo, com base na classificação de Thornthwaite e Mather (1955), Andrade Júnior (2004) diz que o clima do município de Ilha Grande é úmido. Com temperaturas mínimas de 25° e máximas de 35°, configura-se clima quente tropical, a uma altitude de 10 m acima do nível do mar. A precipitação pluviométrica média anual é definida no Regime Equatorial Marítimo, com isoietas anuais entre 800 a 1.600 mm, cerca de 5 a 6 meses como os mais chuvosos e período restante do ano de estação seca (AGUIAR, 2004).

Segundo Aguiar (2004), as unidades geológicas predominantes no município de Ilha Grande pertencem às coberturas sedimentares holocênicas, onde 30% da área total correspondem às Dunas Inativas. Em 25% ocorrem

turfa, areia e argila, integradas na unidade Depósitos Litorâneas do período holocênico, e o restante da área, 45% composto por areia e argila, pertencem a unidade geológica Depósitos de Pântanos e Mangues.

A planície costeira do Piauí, para Ferreira e Dantas (2010), abrange uma área restrita do território piauiense, inserida entre a linha de costa e os tabuleiros costeiros do Grupo Barreiras, devido ao seu reduzido litoral, e representa um complexo conjunto de ambientes deposicionais de origem eólica, fluvial, marinha e lagunar. Esse domínio é representado por extensos campos de dunas, dos tipos barcanas e transversais; planícies fluviomarinhas, apresentando extensos manguezais, e a planície aluvionar do baixo curso do rio Parnaíba.

São vistos na área de estudo, conforme Aguiar (2004) grupamento indiscriminado de planossolos eutróficos, solódicos e não solódicos, fraco a moderado, textura média, fase pedregosa e não pedregosa, com caatinga hipoxerófila associada. Os solos hidromórficos, gleizados. Os solos aluviais, álicos, distróficos e eutróficos, de textura indiscriminada e transições vegetais caatinga/cerrado caducifólio e floresta ciliar de carnaúba/caatinga de várzea. Os solos arenosos essencialmente quartzosos, profundos, drenados, desprovidos de minerais primários, de baixa fertilidade, com transições vegetais, fase caatinga hiperxerófila e/ou cerrado e/ou carrasco.

Ferreira e Dantas (2010) caracterizam a vegetação da região com a presença de vegetação de brejos em áreas de planícies lagunares ou fluviolagunares, e vegetação de mangues em ambientes de planícies intermarés.

Conforme Aguiar (2004), o Piauí está representado pela bacia hidrográfica do rio Parnaíba, a mais extensa dentre as vertentes do nordeste, ocupando uma área de 330.285 km², o que equivale a 3,9% do território nacional, onde o rio Parnaíba possui 1.400 km de extensão. O principal curso d'água que percorre o município é o rio Parnaíba. Na área de estudo delimitada passa o rio dos Morros, onde encontra-se o porto dos Tatus, principal ponto de saída para o passeio turístico do Delta do Parnaíba. Além de ser encontrado também o riacho do Baixão e outros riachos e córregos que formam a drenagem do local.

4 INSTRUMENTOS E TÉCNICAS DE PESQUISA

4.1 PROCESSAMENTO DAS TRAJETÓRIAS DE VENTO

Silveira et al. (2021) em trabalhos versando sobre as dunas costeiras da região de cabo frio Rio, utilizaram o programa *Hysplit* - versão online para calcular as trajetórias de frequências de direções dos ventos naquela região, utilizando a reanálise meteorológica, composta por uma base de dados globais desde 1990. Neste trabalho foram geradas 12 trajetórias de frequências do tipo “*forward*” para cada mês de 2019. Na simulação das trajetórias dos ventos, utilizaram-se os seguintes parâmetros: método de cálculo vertical; tempo total de execução de 48 horas; intervalo de seis horas entre cada geração de trajetórias e altura de 25 m.

O modelo *HYSPLIT*, anacrônico para *Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory*, é um híbrido entre a abordagem Lagrangiana, referencial móvel para os cálculos de advecção e difusão e a metodologia Euleriana que utiliza uma grade tridimensional fixa para calcular as concentrações de ar (STEIN et al., 2015). Para esse trabalho utilizaram-se dessa mesma metodologia de Silveira et al. (2021) e Castro (2001) em dados ainda a serem obtidos.

Dessa forma, seguindo a metodologia citada, utilizou-se o *software Hysplit* - versão online, desenvolvido pela NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) e pelo Bureau of Meteorology da Austrália, e das bases de dados integradas da NCAR (*National Center for Atmospheric Research*) e NCEP (*National Centers for Environmental Prediction*). Foram calculadas diversas trajetórias para intervalos de tempo selecionados de acordo com as datas das imagens de satélite obtidas nos anos de 1990, 2000, 2010 e 2022.

A simulação da trajetória de ventos, no software *Hysplit* da NOAA, versão online, é encontrada em <https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT.php>. As etapas ocorrem da seguinte forma: ao acessar o sítio, foi selecionada a opção “*Run HYSPLIT Trajectory Model*”, em seguida a opção “*Compute archive trajectories*”. Nesse momento, abre a página em que se pode escolher as

opções de trajetória em “*Type of Trajectory*”. São até três números de locais iniciais de trajetória e quatro tipos de trajetória, sendo elas em quatro tipos, Normal, Matriz, Conjunto e Frequência. Neste trabalho foram gerados os tipos Normal e Frequência (Figura 03).

Figura 03: Software para simulação da trajetória de ventos gerados dos tipos Normal e Frequência - Escolha do tipo de trajetória

Type of Trajectory(ies)

Number of Trajectory Starting Locations

☒ 1 ☐ 2 ☐ 3

Note: By choosing just one source location, more options for selecting the location will be presented on the next page, such as choosing by latitude/longitude, by WMU ID, or by plant location. Multiple source locations limit the input to just latitude/longitude positions. This option is ignored for trajectory ensemble and frequency.

Type of Trajectory

☒ Normal ☐ Matrix ☐ Ensemble ☐ Frequency

Next>>

Details

Trajectory Matrix

The trajectory matrix option will run a grid of trajectories bounded by the first 2 source locations (trajectory 1 is the lower left grid point and trajectory 2 is the upper right grid point) and evenly spaced with a grid increment given by the distance between the lower left grid point (trajectory 2) and trajectory 3. Only one height is allowed.

Trajectory Ensemble

The trajectory ensemble option will start multiple trajectories from the first selected starting location. Each member of the trajectory ensemble is calculated by offsetting the meteorological data by a fixed grid factor (one grid meteorological grid point in the horizontal and 0.01 sigma units in the vertical). This results in 27 members for all-possible offsets in X,Y, and Z. Note: the starting height should be greater than 250 m for optimal configuration of the ensemble.

Trajectory Frequency

The trajectory frequency option will start a trajectory from a single location and height every 6 hours and then sum the frequency that the trajectory passed over a grid cell and then normalize by either the total number of trajectories or endpoints. A trajectory may intersect a grid cell once or multiple times (with residence time options 1, 2 or 3).

Fonte: <https://www.ready.noaa.gov/hypub-bin/trajtype.pl?runtime=archive>

Após a seleção do tipo de trajetória, faz-se a escolha dos parâmetros do modelo para a geração da mesma. No tipo de meteorologia, foi utilizado o “*Reanalysis (global, 1948 – present)*” e foi colocada a localização em graus decimais das dunas do Povoado Tatus, Ilha Grande, e seguiu-se para a próxima aba.

Figura 04: Seleção dos dados meteorológicos utilizados no Hysplit versão on-line

Trajectory Calculation

Meteorology: REANALYSIS (global, 1948-present) [More info](#)

Source Location (enter using **one** of the following methods):

Click a location on the map or select from below:

☒ Decimal Degrees Latitude: Longitude:

☐ DDD/MM/SS Latitude: Longitude:

☐ City (Country or State: name: lat: lon):

☐ Airport or WMO ID (i.e., dca): [ID Lookup](#)

Fonte: <https://www.ready.noaa.gov/hypub-bin/trajasrc.pl>

Na página seguinte é necessário escolher o arquivo do ano desejado. O arquivo é nomeado pela sigla seguida pelo ano e mês em seu nome. Para este trabalho foram geradas 04 trajetórias referentes às 04 imagens orbitais utilizadas para calcular a dinâmica das migrações das dunas: com o arquivo “RP199006.gbl”, referente ao mês de junho de 1990, “RP200008.gbl”, referente ao mês de agosto de 2000, “RP201006.gbl”, referente ao mês de junho de 2010 e “RP202212.gbl”, referente ao mês de dezembro de 2022.

Figura 05: Seleção dos arquivos meteorológico para o cálculo da trajetória de ventos tipo Normal no Hysplit versão on-line

Fonte: <https://www.ready.noaa.gov/hypub-bin/trajsrcm.pl>

Na aba seguinte, o *software* permite selecionar dados como direção da trajetória, que podem ser *forward*, representando a direção do vento a partir do ponto selecionado ou *backward*, representando a direção do vento até o ponto selecionado, dia e hora do início desejado para rodar a trajetória. Lembrando que o aplicativo tem trajetórias do ano de 1948 no *Reanalysis* até os dias atuais, que foi o tipo meteorológico utilizado nesta pesquisa. O aplicativo permite também escolher até três altitudes de trajetória de vento, como também intervalos de tempo das análises, dentre diversas outras opções de parâmetros.

Conforme figura 06, podem-se verificar todos os parâmetros de entrada utilizados para a geração da trajetória do tipo Normal, que representa um tipo de trajetória singular com o intuito de uma análise mais simplificada das direções de vento. Nesta análise, todas as trajetórias foram geradas sob os mesmos parâmetros, mudando apenas as datas, com 24h de análise total com novas trajetórias começando a cada 12h e altitude máxima do vento de 50m.

Figura 06: Seleção dos parâmetros para o cálculo da trajetória de ventos tipo Normal gerado no Hysplit versão on-line

Model Run Details Request trajectory

The archived data file (reanalysis) has data beginning at 06/ 1/90 0000 UTC.

Model Parameters

Trajectory direction: ☒ Forward ☐ Backward (Change the default start time!) More info ▶

Vertical Motion: ☒ Model vertical velocity ☐ Isobaric ☐ Isentropic More info ▶

Start time (UTC): Current time: 22:25
 year: 90 month: 06 day: 29 hour: 13 More info ▶

Total run time (hours): 24 More info ▶

Start a new trajectory every: 6 hrs **Maximum number of trajectories:** 12 More info ▶

Start 1 latitude (degrees): -2.819018 More info ▶

Start 1 longitude (degrees): -41.756935 More info ▶

Start 2 latitude (degrees):

Start 2 longitude (degrees):

Start 3 latitude (degrees):

Start 3 longitude (degrees):

Automatic mid-boundary layer height? ☐ Yes ☒ No More info ▶

Will override selections below.

Level 1 height: 100 ☒ meters AGL ☐ meters AMSL More info ▶

Level 2 height: 50

Level 3 height: 25

Fonte: <https://www.ready.noaa.gov/hypub-bin/traj1.pl>

Assim como nas trajetórias do tipo Normal, os parâmetros de entrada para a geração das trajetórias tipo Frequência foram os mesmos, sendo apenas alteradas as datas (Figura 07).

Figura 07: Seleção dos parâmetros para o cálculo da trajetória de ventos tipo Frequência gerado no Hysplit versão on-line

Model Run Details

Request trajectory

The archived data file (reanalysis) has data beginning at 10/ 1/22 0000 UTC.

Model Parameters

Trajectory direction:
☐ Forward
☒ Backward (Change the default start time!)

More info ▶

Vertical Motion:
☒ Model vertical velocity
☐ Isobaric
☐ Isentropic

More info ▶

Start time (UTC):
Current time: 03:49

year

month

day

hour

22

10

22

3

More info ▶

Total run time (hours):

48

More info ▶

Number of days to calculate trajectory frequencies (<32):

2

 days

More info ▶

Trajectory frequency grid resolution:
☐ 0.25 deg.
☐ 0.50 deg.
☒ 1.0 deg.
☐ 2.0 deg.

More info ▶

Trajectory starting interval:
☐ 3 hrs
☒ 6 hrs
☐ 12 hrs

More info ▶

Start 1 latitude (degrees):

-2.819018

More info ▶

Start 1 longitude (degrees):

-41.756935

More info ▶

Automatic mid-boundary layer height?
Will override selections below.
☐ Yes
☒ No

More info ▶

Level 1 height:

50

☒ meters AGL
☐ meters AMSL

More info ▶

Display Options

Plot resolution (dpi):

300

More info ▶

Zoom factor:

70

More info ▶

Plot projection:
☒ Default
☐ Polar
☐ Lambert
☐ Mercator

More info ▶

U.S. county borders?
☐ Yes
☒ No

More info ▶

Postscript file?
☐ Yes
☒ No

More info ▶

PDF file?
☒ Yes
☐ No

More info ▶

Request trajectory (only press once!)

Fonte: <https://www.ready.noaa.gov/hypub-bin/traj1.pl>

4.2 PROCESSAMENTO DAS IMAGENS ORBITAIS

Para a confecção dos mapas de uso e cobertura das terras foram utilizadas as imagens do satélite Landsat 5 com resolução espacial de 30 metros, com sensor TM, datadas de 14/06/1990, 28/08/2000 e 05/06/2010; e Landsat 9 com resolução espacial de 30 metros, com sensor *Operational Land Imager 2* (OLI-2), datada de 07/12/2022. Para se chegar a ponto de classificá-las foram realizados alguns procedimentos descritos a seguir:

Inicialmente no aplicativo *ArcGIS* 10.5, as imagens foram reprojetadas, pois originalmente estão em Datum WGS 1984 UTM Hemisfério Norte, transformando assim para WGS 1984 UTM Fuso ao 24 Sul, e posteriormente transformadas para o Sistema de referência oficial brasileiro atualmente, SIRGAS 2000, UTM, fuso 24 Sul.

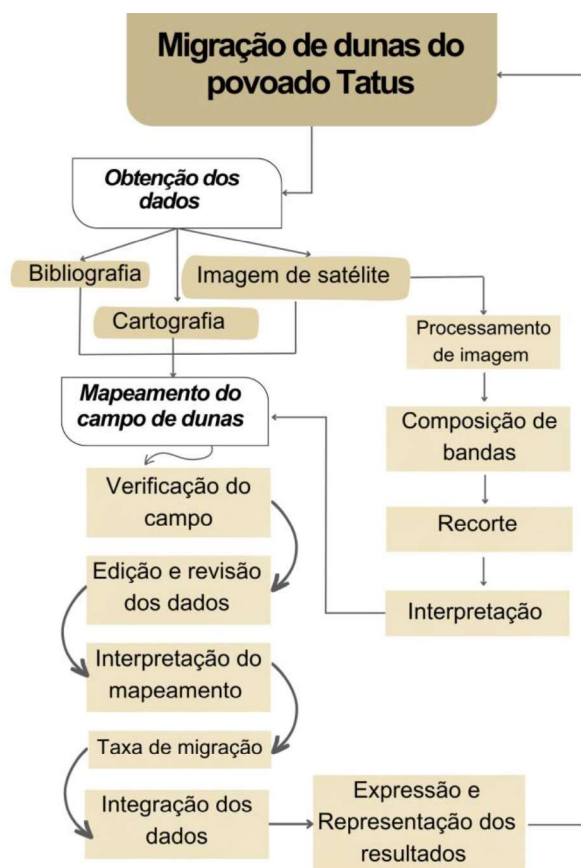
Após este procedimento foi feita a composição de imagens, que é encontrado no *Arctoolbox* em *Data Management Tools – Raster – Raster Processing – Composite Bands*. Foram utilizadas na composição as Bandas 6, 5, 4 e 5,4,3 para Landsat 5.

Depois de corrigido o sistema de referência e feito às devidas correções na imagem, no software *eCognition*, foi feito a segmentação, que representa, geralmente, o primeiro passo a preparar as imagens de satélite para uma futura classificação temática, passo este que pode determinar o eventual sucesso ou fracasso de uma análise. Para Santos, Peluzio e Saito (2010, p. 39) “o ato de segmentar uma imagem consiste em agrupar pixels com características similares em termos tonais e texturais, formando regiões homogêneas”. Como parâmetros para a segmentação utilizou-se forma 0.3 e compacidade 0.8.

O método de classificação de imagens utilizado foi orientado ao objeto. Orientação a objeto pode ser entendida, no âmbito da imagem, como a análise da relação de um objeto com os seus objetos vizinhos. Define-se objeto como elemento da imagem constituído de relações espaciais, os quais podem se agregar a objetos maiores, criando-se níveis de segmentação (ANTUNES; STURM, 2005).

Todo o levantamento foi baseado em pesquisas já realizadas em outras regiões com comportamentos similares de dinâmica litorâneas. Importante relatar que para o mapeamento foi realizado visita de campo, parte indispensável em um mapeamento para corrigir possíveis erros dos processamentos e para tomada de pontos de controle para validação dos dados gerados remotamente, onde foi possível compreender melhor como se comporta o sistema de dunas, principalmente onde foi perceptível a ação antrópica interferindo no transporte de sedimentos que compõem esse processo. A figura 08 mostra o resumo das etapas do levantamento.

Figura 08: Etapas do levantamento



Fonte: Autor, 2023.

Na etapa final foram gerados mapas com base nos arquivos vetoriais das três datas para análise e expressões dos resultados. Portanto, elaborou-se um produto com o compilado dessas informações.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O papel fundamental das dunas costeiras como função ambiental é de: estabilização da linha de costa, proteção do lençol freático, constituição de barreira natural contra as ressacas do mar, são habitat para diferentes espécies da fauna e flora. O Campo de Dunas da localidade Tatus está inserido na APA do Delta do Parnaíba e tem importante papel na manutenção da dinâmica do litoral piauiense.

De acordo com os resultados gerados através dos modelos, demonstrou-se que a direção preferencial dos ventos da região é no sentido de

NE para SW. Por meio da análise dos dados de vento e pluviometria, pode-se concluir que a maior movimentação do campo de dunas se dá no segundo semestre do ano, entre os meses de Julho e Novembro, onde a ausência de chuvas e a maior intensidade de vento nessa época facilita e acelera o transporte de sedimentos, além de maior insolação e evaporação, que contribui para a sua movimentação. Já nos meses de chuva, entre Dezembro e Maio, há um menor transporte de sedimentos, devido à maior umidade nos grãos de areia manterem-nos mais coesos, dificultando o transporte desses sedimentos pela ação dos ventos e resultando na limitação do avanço da frente de dunas.

Os resultados obtidos trouxeram um avanço em três pontos de frente de dunas entre 1990 e 2022, onde ao longo de 32 anos na seção A avançou 358,402m, na seção B avançou 654,543m e na seção C, houve um deslocamento de 596,813m, gerando, respectivamente, uma taxa de migração de 11,20m/ano, 20,45m/ano e 18,65m/ano.

O modelo de trajetória e frequência HYSPLIT on-line se mostrou uma ferramenta bastante satisfatória para corroborar a direção predominante do vento em conformidade com a literatura indicando sentido do vento de nordeste para sudoeste, em conformidade com os dados do INMET que deram subsídio para encontrar a direção do vento.

Conclui-se assim, que o sistema de dunas da localidade Tatus está migrando a uma média de 16,73 m/ano no sentido NE/SO onde frente a essa migração encontra-se o povoado, dessa forma faz-se o alerta a possibilidade de soterramento dos equipamentos públicos e privados de acordo com os taxas de migração encontrados, trazendo transtornos à população e ao governo local. Esta pesquisa servirá de base para outros estudos relacionados à dinâmica litorânea do município de Ilha Grande, bem como o mapeamento gerado como produto, auxiliará ao poder público local, assim como à sociedade a tomar a melhor perante aos riscos iminentes.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, R. B. Diagnóstico do município de Ilha Grande. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado do Piauí. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais-Serviço Geológico do Brasil, Fortaleza, 2004.**
- ANDREUCCI, S.; CLEMMENSEN, L. B.; PASCUCI, V. Transgressive dune formation along a cliffed coast at 75 ka in Sardinia, Western Mediterranean: a record of sea-level fall and increased windiness. **Terra Nova**, v. 22, n. 6, p. 424-433, 2010.
- ANGELIDIS, I., LEVIN, G., DÍAZ-VARELA, R. A., & MALINOWSKI, R. Assessment of changes in formations of non-forest woody vegetation in southern Denmark based on airborne LiDAR. **Environmental monitoring and assessment**, 189, 1-14, 2017.
- ANTUNES, A. F. B.; STURM, U. Segmentação orientada a objeto aplicado ao monitoramento de ocupações irregulares em áreas de proteção ambiental. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil**, p. 16-21, 2005.
- BAGNOLD, R. A. The Physical of Blown Sand and Desert Dunes. **Ed. London: Methuen**, 1941. 265p.
- BAPTISTA, E. M. D. C. (2012). Estudo morfossedimentar dos recifes de arenito da zona litorânea do estado do Piauí, Brasil.
- BRASIL. Código Florestal Brasileiro. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Brasília, 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm Acesso em: 19nov. 2020.
- BRASIL. Constituição (1988). Lei nº 7.661, de 16 de maio de 1988. Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro e dá outras providências. Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro - PNGC. Brasília, DF, 16 maio de 1988.
- CÂMARA, G. et al. Bancos de Dados Geográficos. 1. ed. **Curitiba: Editora Mundo Geo**, 2005. v. 1. 504p.
- CASTRO, J. W. A. Burying processes carried out by a mobile transversal dunefield, Paracuru County, State Ceará, Brazil. **Environmental Geology**, v. 49, n. 2, p. 214-219, 2005. DOI: 10.1007/s00254-005-0055-6

CASTRO, J. W. A. Geomorfologia do Sistema Sedimentar Eólico de Paracuru - Ceará – Rio de Janeiro: UFRJ/PPGG, 2001.

CASTRO, J. W. A.; MALTA, J. V.; MIGUEL, L. L. A. J.; CABRAL, C. L.; PASSEMILIO, A. B. Chronological reconstruction of aeolianites and transversal mobile dunes of northwest coast of Ceará State - Brazil, in the last 3000 cal yrs BP. **Aeolian Research**, v. 28, p. 51-57, 2017. DOI: 10.1016/j.aeolia.2017.07.006

CAVALCANTI, A.; VIADANA, A. G. Organização do espaço e análise da paisagem. **Rio Claro: UNESP – IGCE**, 2007.

CHARBONNEAU, B. R., COCHRAN, C., & AVENARIUS, C. What we know and what we think we know: Revealing misconceptions about coastal management for sandy beaches along the US Atlantic Seaboard. **Journal of environmental management**, 245, 131-142, 2019.

CHAVES, M. S. et al. Vulnerabilidade costeira e dinâmica sedimentar - Campo de dunas de Mangue Seco, Guamaré/RN, NE do Brasil. **Investigaciones Geográficas**, (53), pp. 25–36, 2017. <https://doi.org/10.5354/0719-5370.2017.43252>.

DE ANDRADE JÚNIOR, A. S., BASTOS, E. A., DA SILVA, C. O., GOMES, A. A. N., & DE FIGUEREDO JÚNIOR, L. G. M. Atlas climatológico do Estado do Piauí, 2004.

DRIUS, M., JONES, L., MARZIALETTI, F., DE FRANCESCO, M. C., STANISCI, A., CARRANZA, M. L. Not just a sandy beach. The multi-service value of Mediterranean coastal dunes. **Science of the total environment**, 668, 1139-1155, 2019.

FERREIRA, R. V.; DANTAS, M. E. Relevô. In: PFALTZGRAFF, P. A. dos S. (org) Geodiversidade do Estado do Piauí. Recife: CPRM, 2010.

GAO, J., KENNEDY, D. M., & KONLECHNER, T. M. Coastal dune mobility over the past century: A global review. **Progress in Physical Geography: Earth and Environment**, 44(6), 814-836, 2020.

GIANNINI, P. C. F., ASSINE, M. L., SAWAKUCHI, A. O. Ambientes eólicos. **Ambientes de sedimentação siliciclástica do Brasil**, 73-101, 2008.

GOMARASCA, Mario A.. ELEMENTI DI GEOMATICA. Milano: Associazione L'Italiana di Telerilevamento, 2004. 618 p.

GRAELLS, G., NAKAMURA, N., CELIS-DIEZ, J. L., LAGOS, N. A., MARQUET, P. A., PLISCOFF, P., GELCICH, S. A Review on coastal urban ecology:

research gaps, challenges, and needs. **Frontiers in Marine Science**, 8, 617897, 2021.

HERNÁNDEZ-CORDERO, A. I.; HERNÁNDEZ-CALVENTO, L.; ESPINO, E. P. C. Relationship between vegetation dynamics and dune mobility in an arid transgressive coastal system, Maspalomas, Canary Islands. **Geomorphology**, v. 238, p. 160-176, 2015.

HESP, P. A. Conceptual models of the evolution of transgressive dunefield systems. **Geomorphology**, v. 199, p. 138-149, 2013. DOI: 10.1016/j.geomorph.2013.05.014

IBGE [2006]. Manual técnico de uso da terra. 2. Ed. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/recursos_naturais/manuais_tecnicos/manual_uso_da_terra.pdf. Acesso em: 04 jul. 2013.

MATHEW, S.; DAVIDSON-ARNOTT, R. G. D; OLLERHEAD, J. Evolution of a beach–dune system following a catastrophic storm overwash event: Greenwich Dunes, Prince Edward Island, 1936–2005. **Canadian Journal of Earth Sciences**, v. 47, n. 3, p. 273-290, 2010.

MEIRELES, A. J. A.; RUBIO, P. R. Geomorfología litoral: una propuesta metodológica sistémica en la llanura costera de Ceará (nordeste de Brasil). **Revista de geografia**, [en linha], 1998, Vol. 32, Núm. 1, p. 165-82, <https://raco.cat/index.php/RevistaGeografia/article/view/46110>. Acesso em: 29 jun. 2022.

MIGUEL, L. L. A. J.; CASTRO, J. W. A. Evolução Geomorfológica do Sistema Laguna - Barreira de Bilene, Costa de Moçambique, África: Padrões Climáticos e Dinâmica Sedimentar. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, n. 1, p. 75-91, 2018. DOI: 10.20502/rbg.v19i1.1276

MIGUEL, L. L.A.J.; NEHAMA, F. P. J.; CASTRO, J. W. A. A mecânica do transporte de sedimentos em suspensão no estuário do Rio Macuse, Moçambique, Sudeste de Africa. 2017.

MOREIRA, M. A. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. 3a ed. **Editora UFV**. 2007.

MOUNTNEY, N. P. A stratigraphic model to account for complexity in aeolian dune and interdune successions. **Sedimentology**, 59(3), 964-989, 2012.

NICKLING, W. G. Aeolian Geomorphology. Ed. London: Allen and Unwin, 1986. 311p.

OLAYA, V. Sistemas de Información Geográfica. Mexico: Víctor Olaya, 2012. 442 p. Disponível em: <http://volaya.github.io/libro-sig/>. Acesso em: 28 jun. 2022.

PAULA, J. E. D. A. (2013). Dinâmica morfológica da planície costeira do estado do Piauí: evolução, comportamento dos processos costeiros e a variação da linha de costa.

PORTZ, L. Gestão de praias e dunas: aplicações para a região costeira do rio grande do sul. 2012. 200 f. **Tese (Doutorado)** - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

PORTZ, L., MANZOLLI, R. P., ALCÁNTARA-CARRIÓ, J., ROCKETT, G. C., & BARBOZA, E. G. Degradation of a transgressive coastal Dunefield by pines plantation and strategies for recuperation (Lagoa Do Peixe National Park, Southern Brazil). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 259, 107483, 2021.

POVEDA, M. A. B.; VÁZQUEZ, C. M. L. Fundamentos de las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE). 1 ed. - Madrid, España. **Universidad Politecnica de Madrid**. 2012.

ROCHA, G. C. Propostas para a elaboração de plano de gestão para a praia de Macapá-Luis Correia-PI. 2015.

SANCHEZ, M. C. A Utilização da Terra em um Trecho da Média Depressão Periférica Paulista. **Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo**. São Paulo – SP, 1972. Disponível em: <https://docs.google.com/file/d/0B7OPINe3f0uzQno1WWVHU1hicG8/edit?pli=1>. Acesso em: 22ago. 2013.

SHERMAN, D. J.; HOTTA, S. Aeolian Sediment Transport: Theory and Measurements. In: NORDSTROM, K. F.; PSUTY, N. P.; CARTER, R. W. G. (orgs.). **Coastal Dunes: Form and Process**. John Wiley & Sons, Chichester, Inglaterra, 1990. p. 17-37.

SILVEIRA, I. R. L. et al. Dinâmica Das Dunas Escalonares Transgressivas Sobre a Região Do Perú - Cabo Frio, Rio De Janeiro. **Revista Brasileira De Geomorfologia** 22.4, 2021.

SIMONS, D. B.; RICHARDSON, E. V.; NORDIN JUNIOR, C. F. Bedload equation for ripples and dunes. **United States Geological Survey**, v. 462, n. H, p. H1-H9, 1965. DOI: 10.3133/pp462H

SOUSA, Roneide dos Santos. Zoneamento geoecológico do complexo fluviomarinho dos rios Cardoso/Camurupim e porção costeira adjacente, litoral leste piauiense. 2019.

SOUZA, W., LEITE, N. S., FARIAS, J. F., MEIRELES, A., & SILVA, E. Imagens Multitemporais de Sensores Remotos Aplicadas a Análise da Dinâmica Costeira em Icapuí–Ceará, Nordeste do Brasil. Simpósio latinoamericano de geografia física viii e simpósio iberoamericano de geografía física., iv, geotecnologías aplicadas a los riesgos y vulnerabilidades. **Anais santiago**, 605-612, 2014.

STEIN, A. F.; DRAXLER, R. R.; ROLPH, G. D.; STUNDER, B. J. B.; COHEN, M. D.; NGAN, F. NOAA's HYSPLIT Atmospheric Transport and Dispersion Modeling System. Bull. **American Meteoric Society**., v. 96, n. 12, p. 2059-2077, 2015. DOI: 10.1175/BAMS-D-14-00110.1

TESSLER, M. G.; GOYA, S.C. Processos costeiros condicionantes do litoral brasileiro. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 17, p. 11-23, 2005.

THORTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. Publications in Climatology. **New Jersey: Drexel Institute of Technology**; 1955.

VEIGA, C.; XAVIER DA SILVA, J. Geoprocessamento Aplicado à Identificação de Áreas Potenciais para Atividades Turísticas: O caso do município de Macaé – RJ. In: XAVIER DA SILVA, J.; ZAIDAN, R. T. **Geoprocessamento & Análise Ambiental: Aplicações**. 5. Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

WERNER, K.; ILENBERGUER, W. K.; RUST, L. A sand budget for the Alexandria coastal dunefield, South Africa. **Sedimentology**, v. 35, n. 3, p. 513-521, 1988. DOI: 10.1111/j.1365-3091.1988.tb01001.x

XAVIER DA SILVA, J. Geoprocessamento para Análise Ambiental. Rio de Janeiro-RJ. 2001.

YIZHAQ, H., ASHKENAZY, Y., LEVIN, N., TSOAR, H. Spatiotemporal model for the progression of transgressive dunes. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, 392(19), 4502-4515, 2013.



MIGRAÇÃO DO CAMPO DE DUNAS TRANSGRESSIVAS DA LOCALIDADE TATUS, ILHA GRANDE-PI

**Mapa do avanço de dunas frente ao povoado Tatus,
Ilha Grande - PI**

1 INTRODUÇÃO

O uso de geotecnologias, envolvendo geoprocessamento e sensoriamento remoto em estudos sobre dunas móveis transgressivas, torna-se uma ferramenta útil no monitoramento dessas feições eólicas, que muitas vezes, acarretam processos de soterramentos sobre áreas urbanas e rurais do litoral do Nordeste Brasileiro (Castro, 2005).

As geotecnologias utilizadas nesse trabalho, envolvendo estudos geológicos e ambientais a partir de trabalhos de campo e laboratório, apontam para o comportamento dos processos eólicos em escala decadal (nos últimos trinta anos). Indicam as taxas de movimentação eólica a cada ano, distribuição geográfica das feições e formas eólicas e áreas de soterramento na localidade de Tatus – Ilha Grande, Piauí. Estes resultados visam de certa forma, contribuir com as ações do poder público e iniciativas privadas que possam minimizar os impactos sobre as atividades sociais e econômicas, evitando assim, grandes perdas patrimoniais.

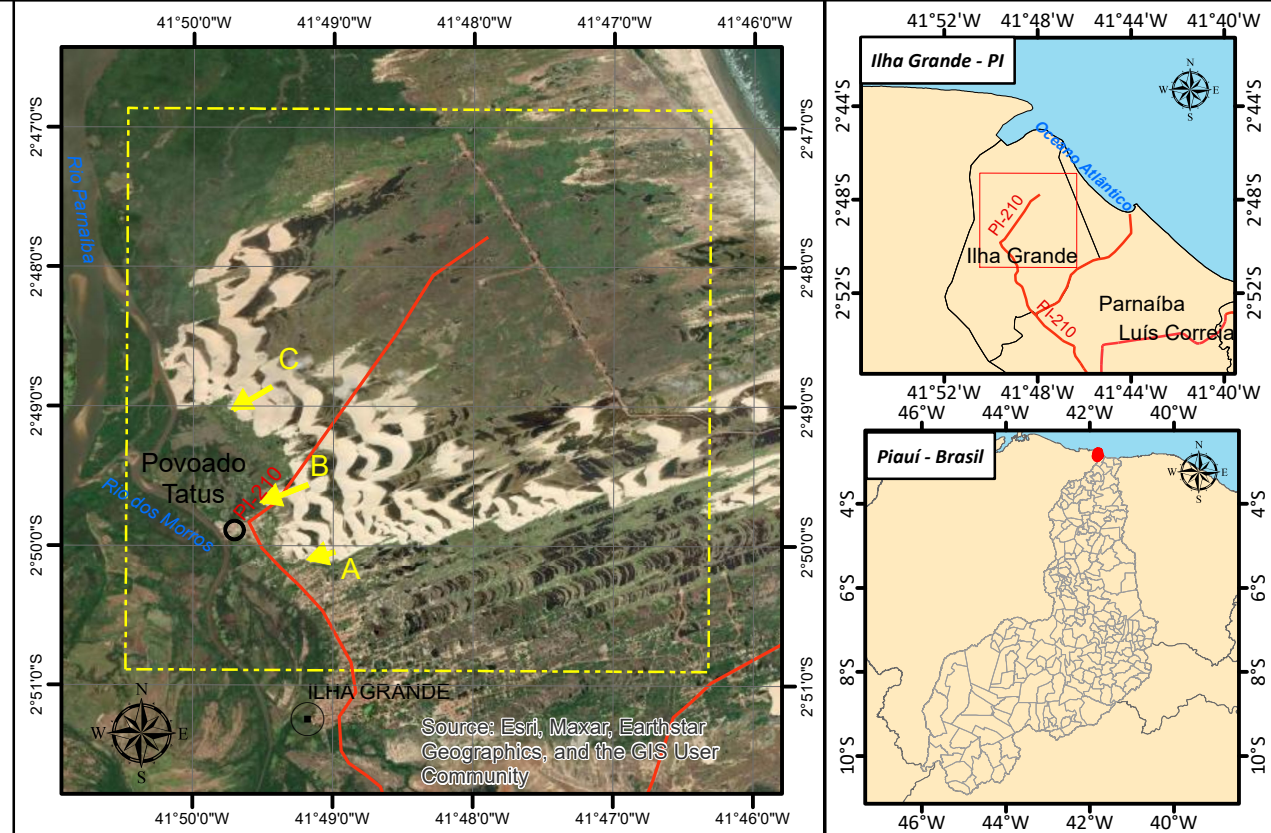
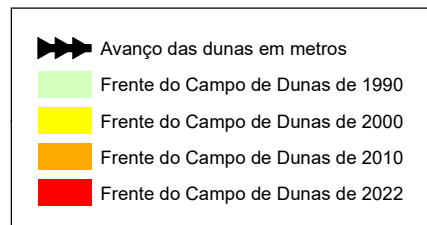
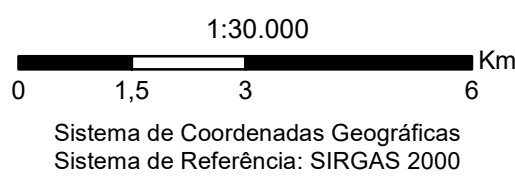
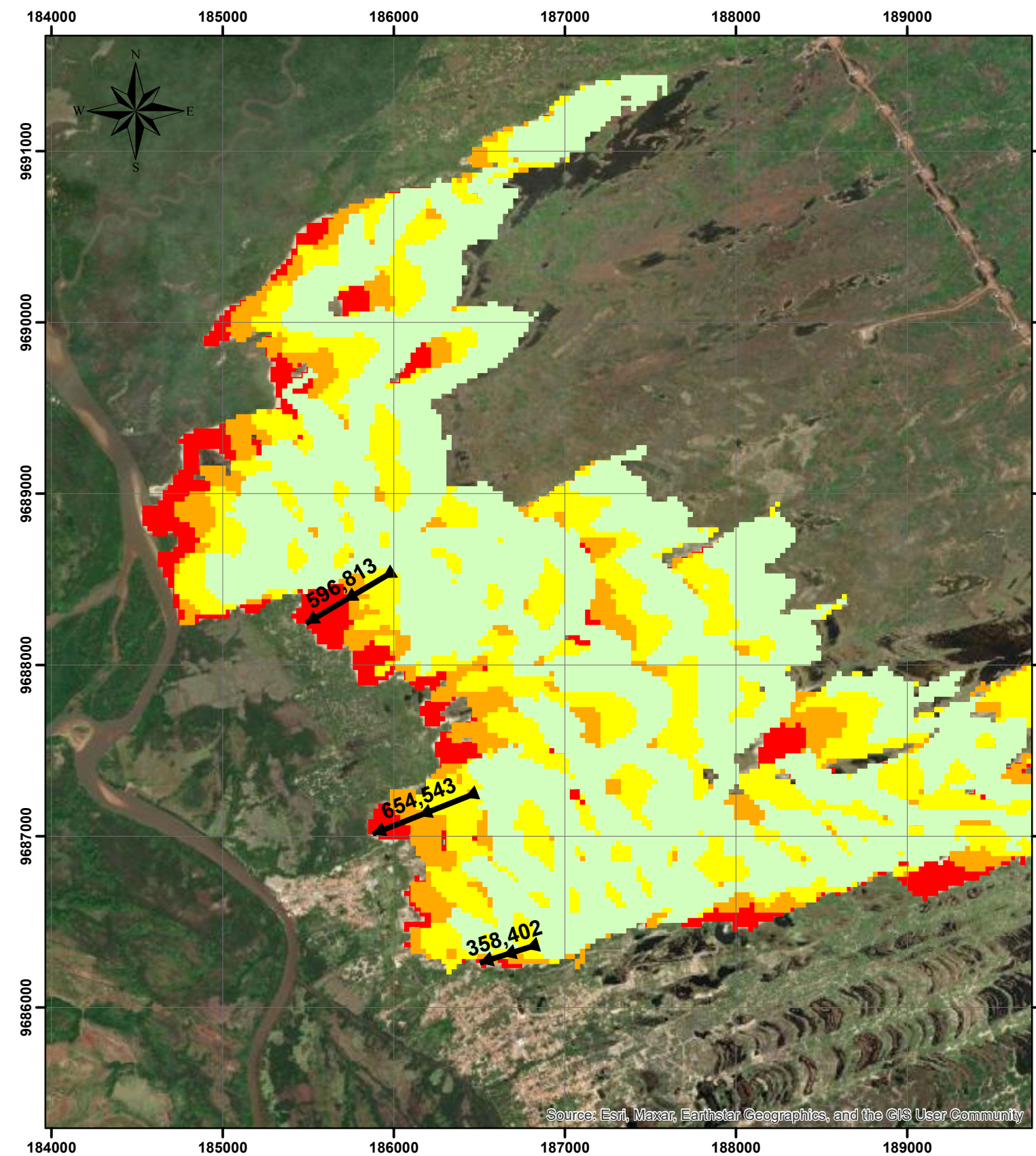
O campo de dunas transgressivas da localidade de Tatus, Município de Ilha Grande – Piauí, é limitado a oeste pelo rio dos Morros e a oeste por uma extensa planície costeira composta por brejos e lagoas, bem como pela rodovia PI - 210. Apresenta um conjunto de formas e feições eólicas com morfologias variadas, que se movimentam de acordo com a direção predominante do vento de nordeste para sudoeste com rajadas de vento que podem chegar a 7,0 m/s. A incidência de ventos constantes sobre a zona de alimentação do sistema eólico (praia) forma um ângulo de 30°, resultando no desenvolvimento de dunas móveis transgressivas (Castro, 2001).

Diante disso, o objetivo desta pesquisa foi mapear a movimentação do campo de dunas do Tatus e sua distribuição espacial no período de 1990 a 2022.

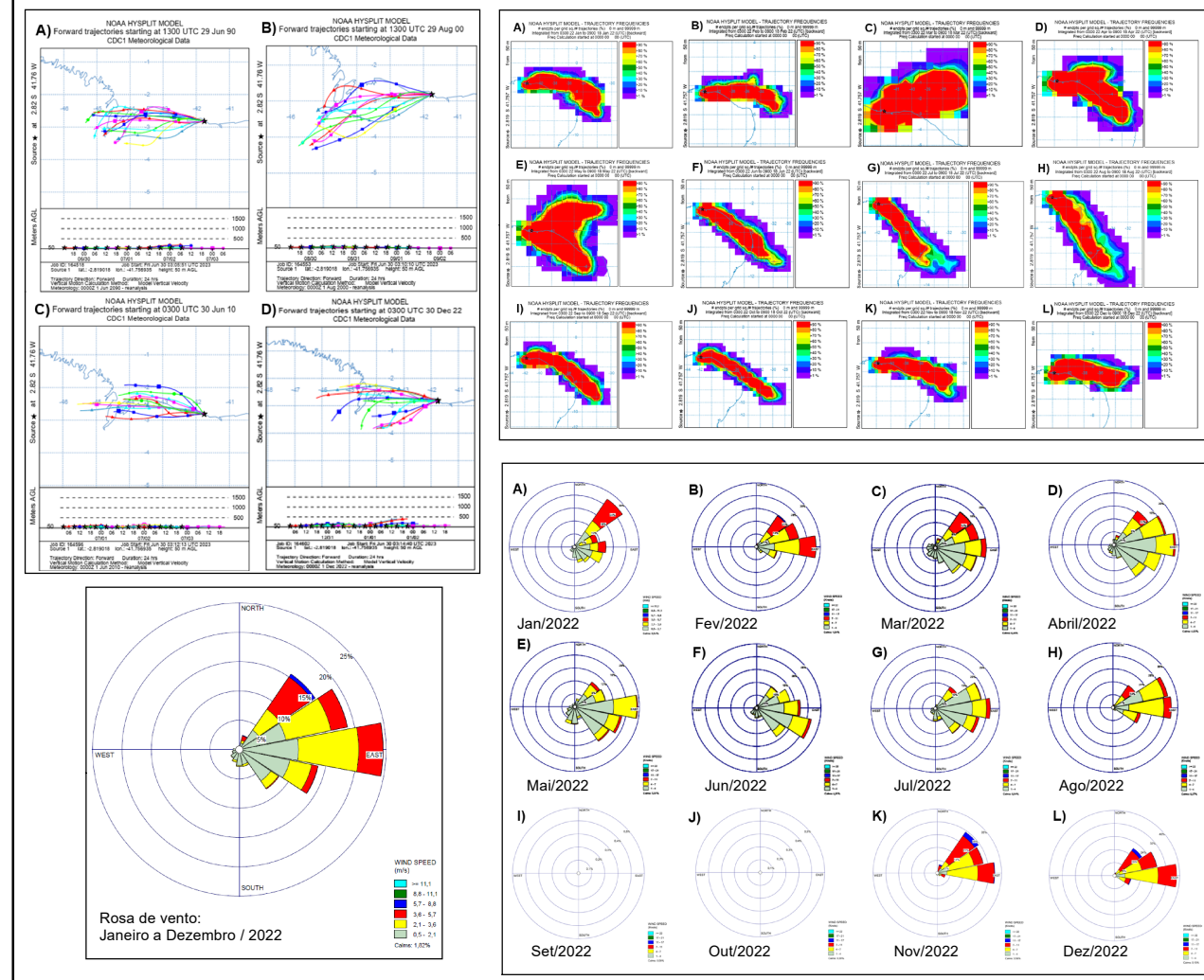
Assim os objetivos específicos foram mapear o campo de dunas nos anos de 1990, 2000, 2010 e 2022; calcular a taxa de migração das dunas; identificar se a direção das dunas poderá soterrar parcialmente ou totalmente a localidade dos Tatus, em sua área urbana, e Áreas de Proteção Permanentes da APA do delta do Parnaíba; apresentar as principais dunas que possuem uma maior taxa de migração frente à possibilidade de soterramento pela

migração das dunas e definir zonas de interdição submetidas a soterramento por dunas.

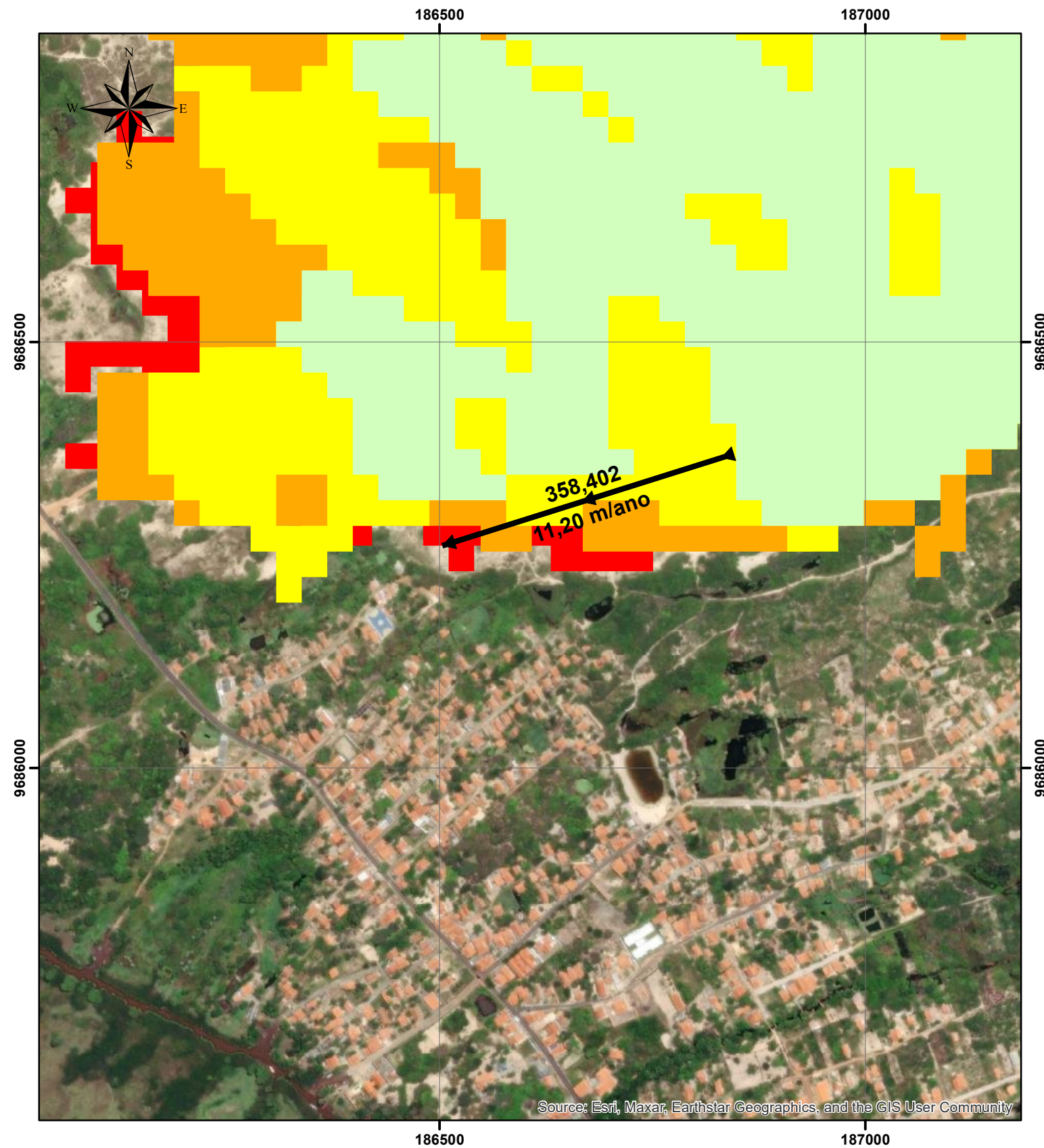
Mapa do avanço de dunas frente ao povoado Tatus, Ilha Grande - PI (SITUAÇÃO GERAL)



Dados de Direção e Frequência de vento
Fonte: INMET, NOAA

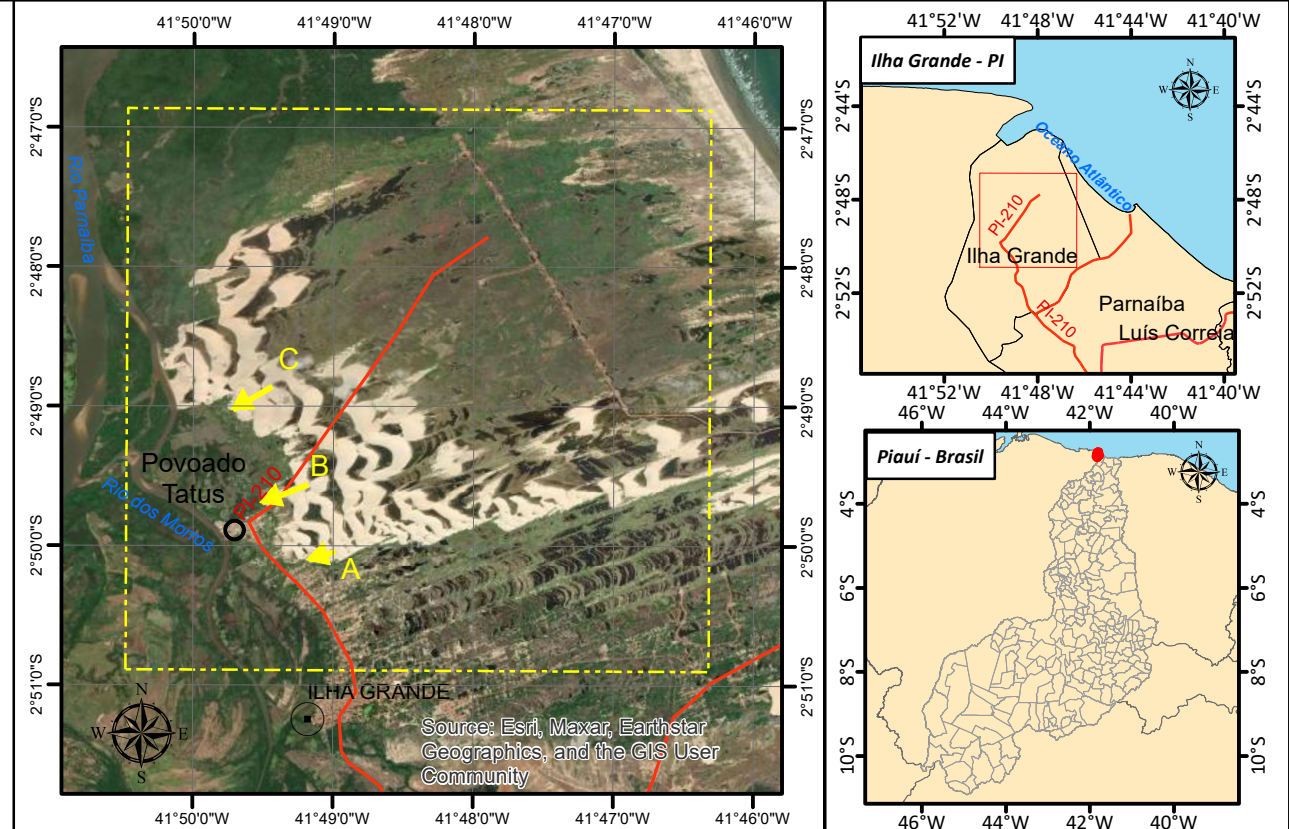


Mapa do avanço de dunas frente ao povoado Tatus, Ilha Grande - PI (SEÇÃO A)

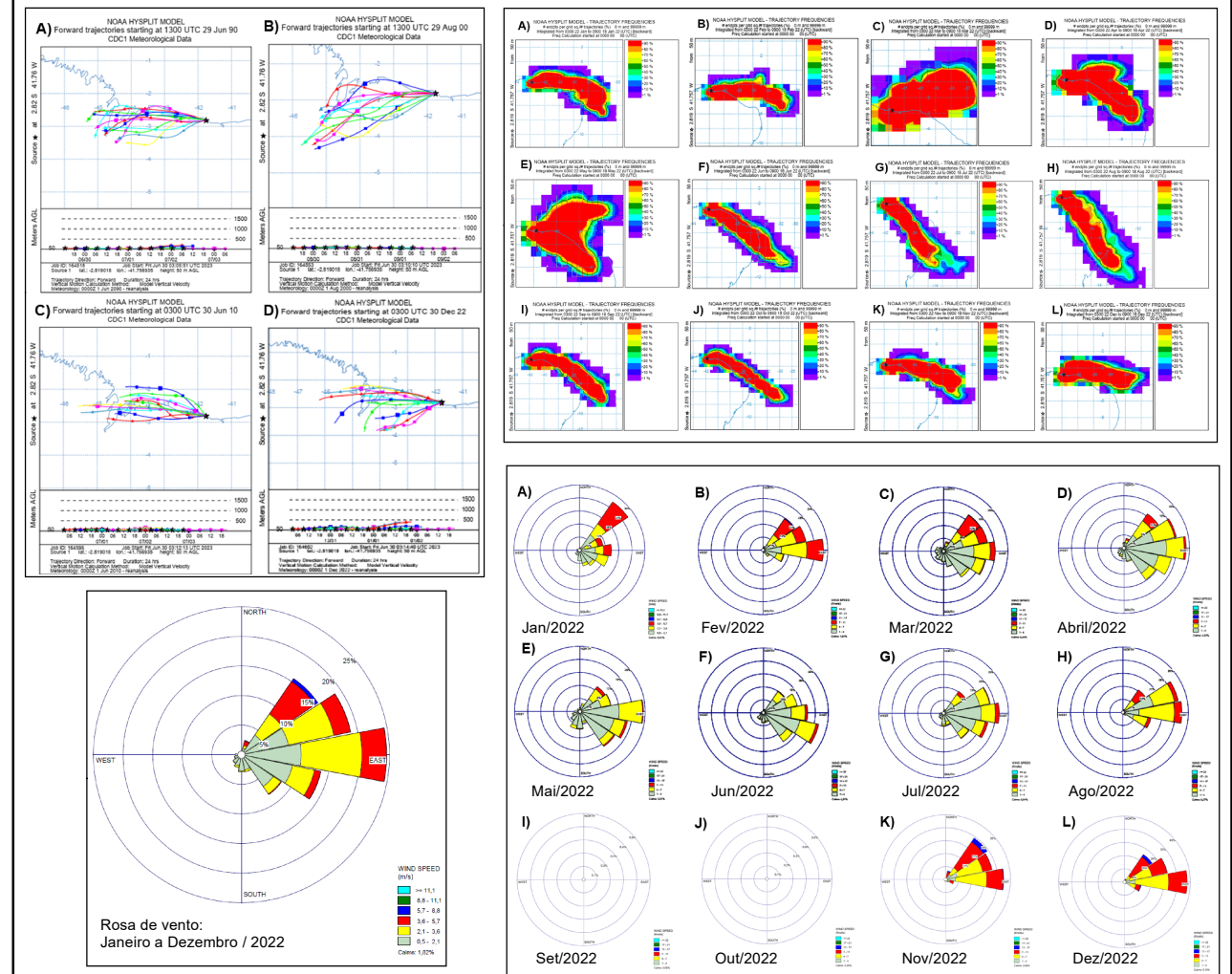


1:6.000
0 1,5 3 6 Km
Sistema de Coordenadas Geográficas
Sistema de Referência: SIRGAS 2000

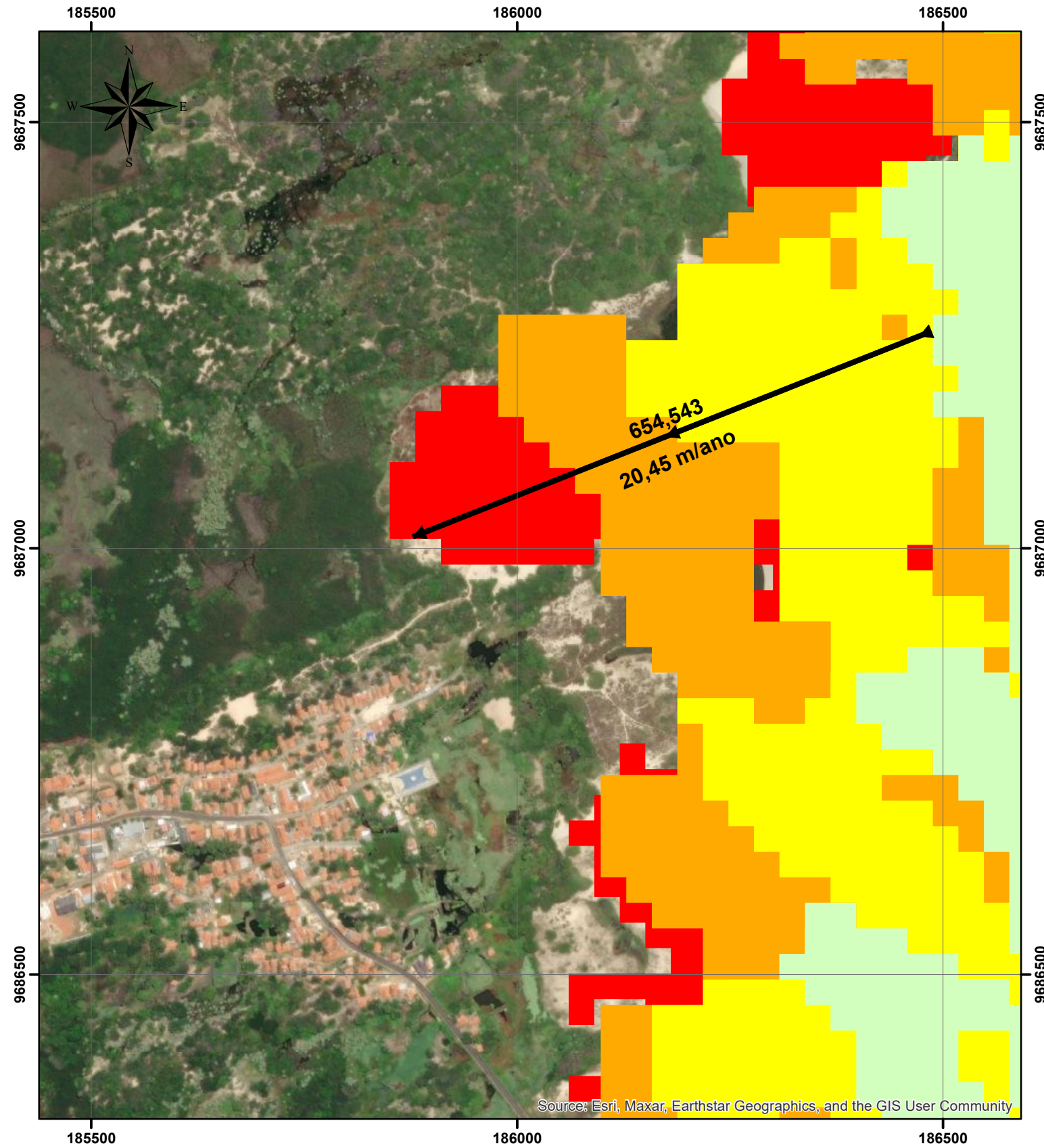
- Avanço das dunas em metros
- Frente do Campo de Dunas de 1990
- Frente do Campo de Dunas de 2000
- Frente do Campo de Dunas de 2010
- Frente do Campo de Dunas de 2022



Dados de Direção e Frequência de vento Fonte: INMET, NOAA

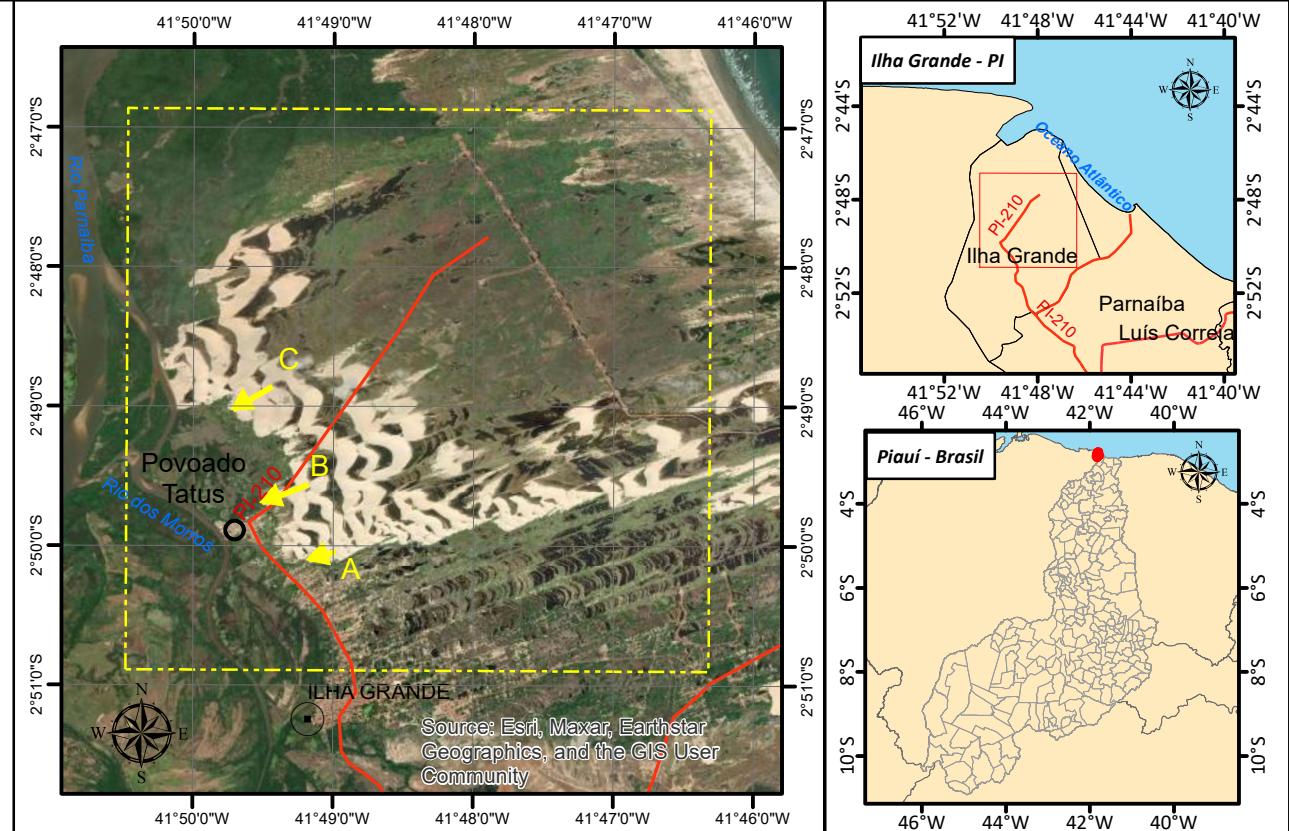


Mapa do avanço de dunas frente ao povoado Tatus, Ilha Grande - PI (SEÇÃO B)

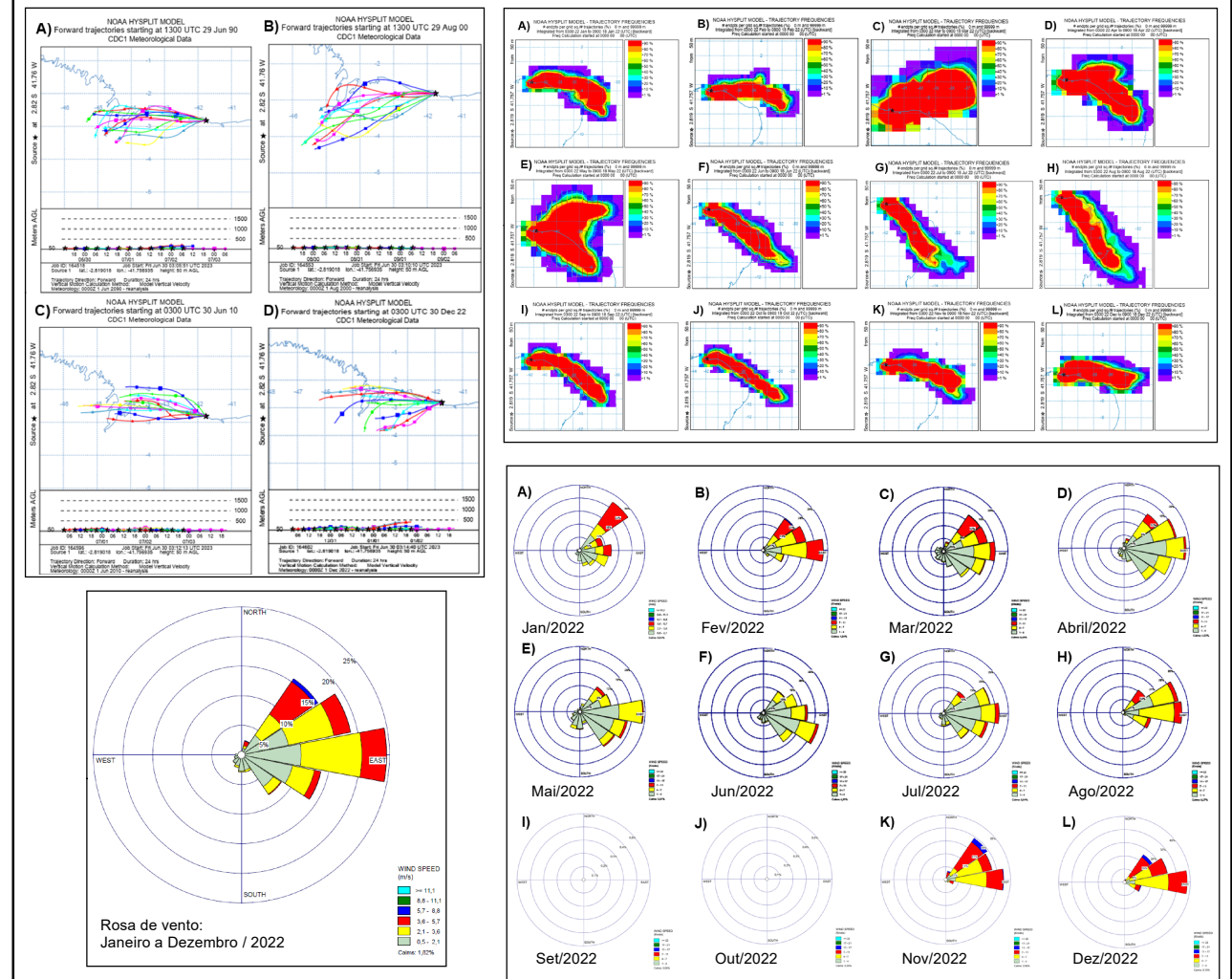


1:6.000
0 1,5 3 6 Km
Sistema de Coordenadas Geográficas
Sistema de Referência: SIRGAS 2000

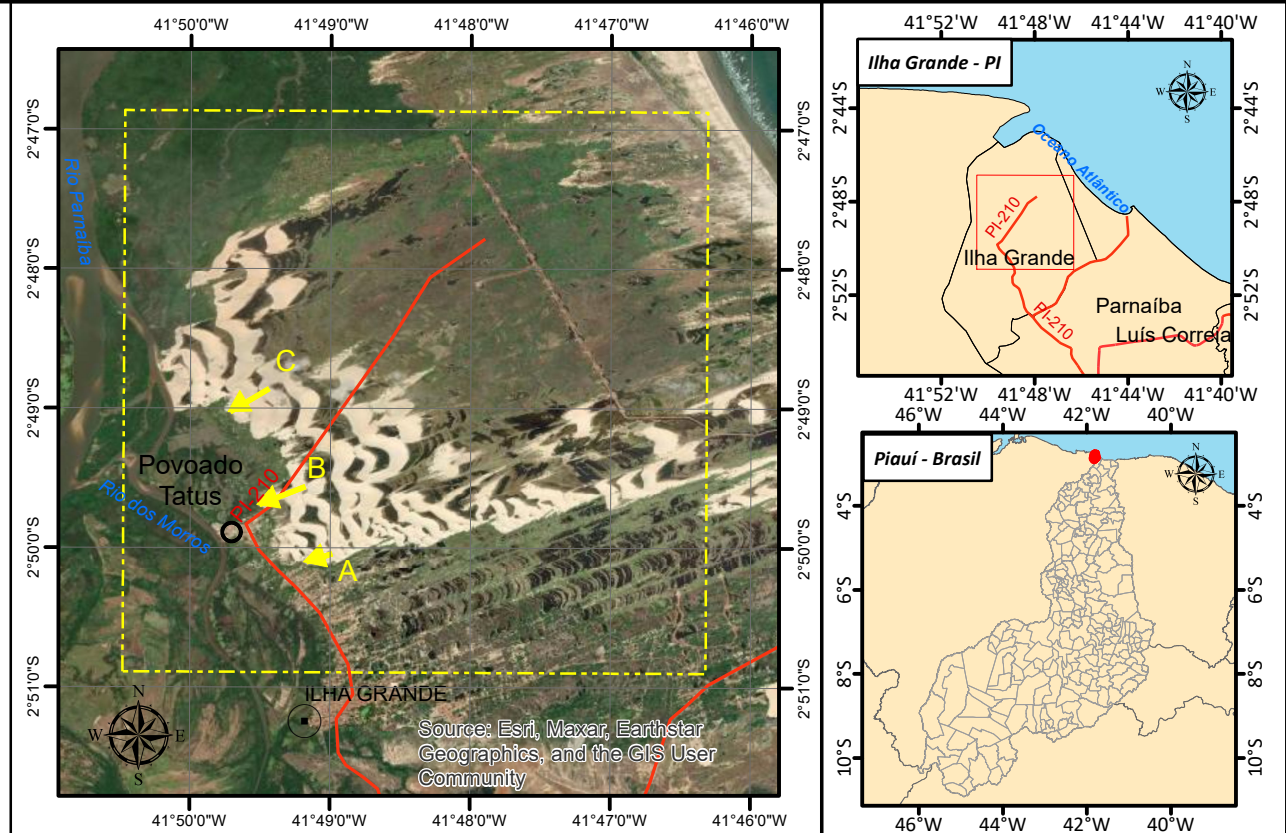
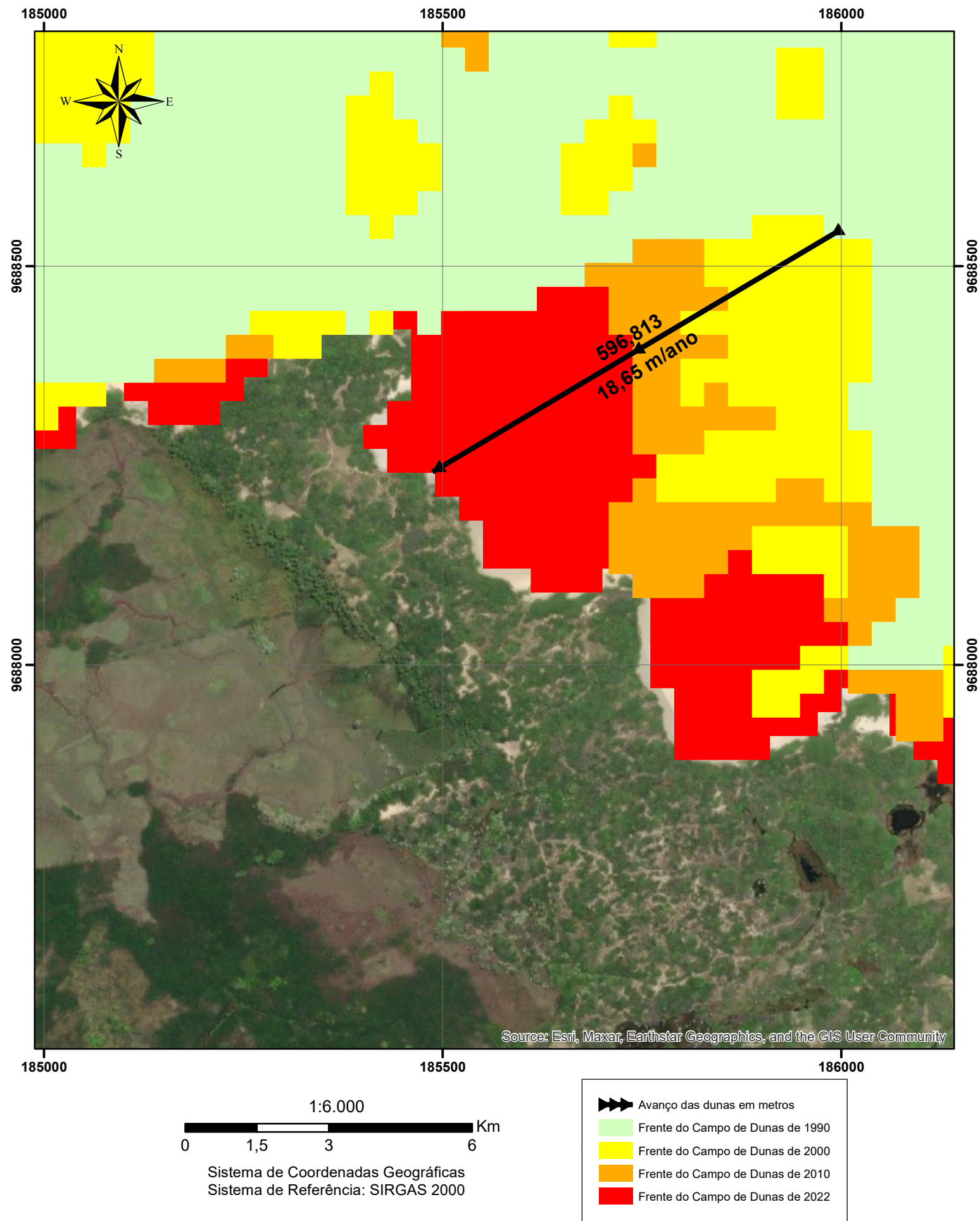
- Avanço das dunas em metros
- Frente do Campo de Dunas de 1990
- Frente do Campo de Dunas de 2000
- Frente do Campo de Dunas de 2010
- Frente do Campo de Dunas de 2022



Dados de Direção e Frequência de vento Fonte: INMET, NOAA

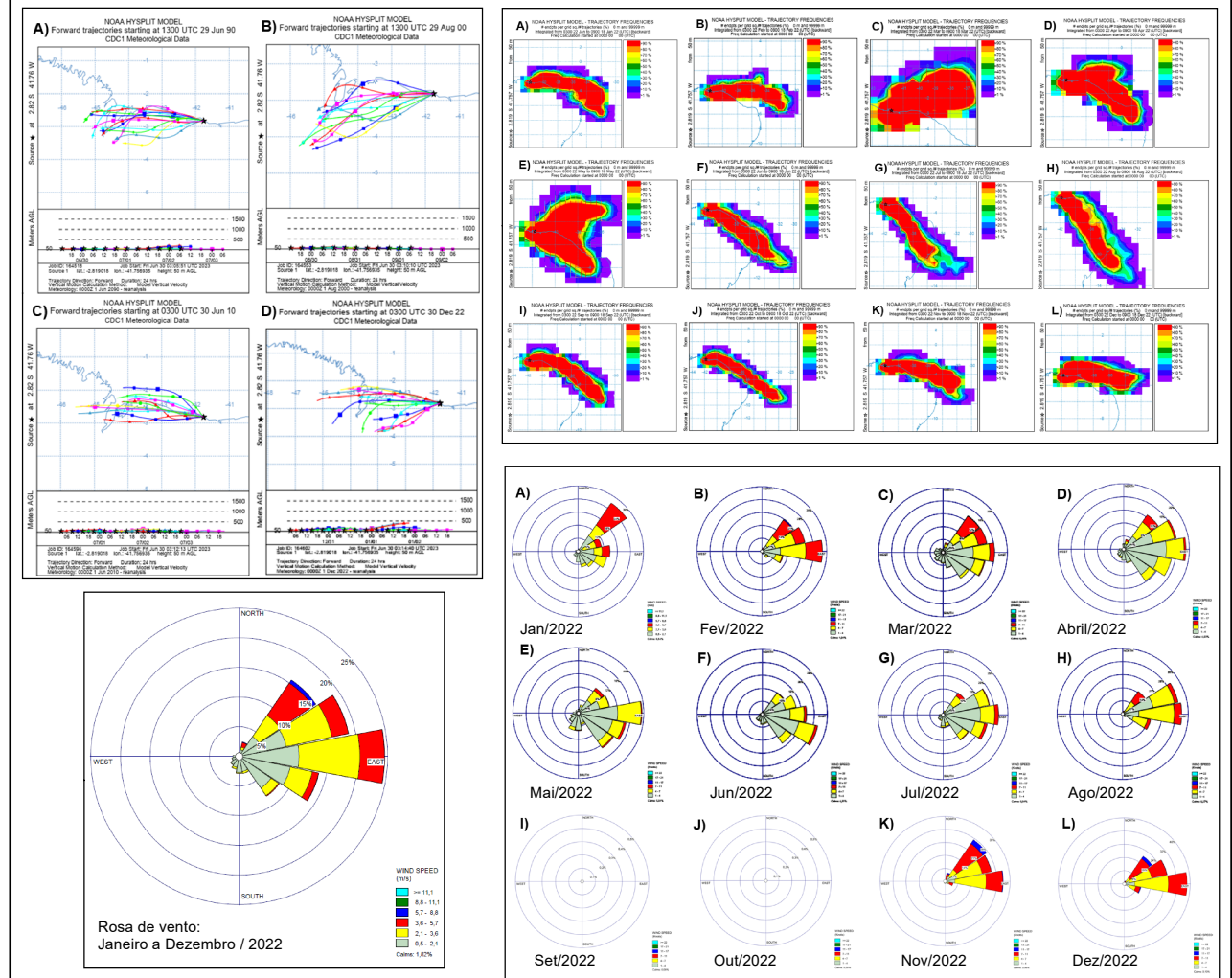


Mapa do avanço de dunas frente ao povoado Tatus, Ilha Grande - PI (SEÇÃO C)



Dados de Direção e Frequência de vento

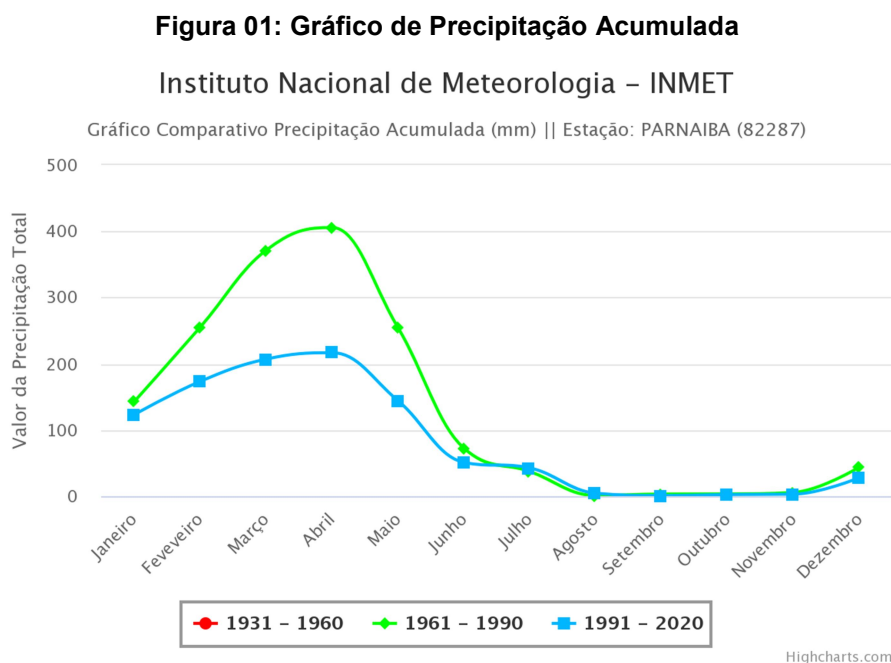
Fonte: INMET, NOAA



2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados climatológicos disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), pode-se compreender o comportamento sazonal do regime de chuvas, insolação, evaporação e assim delimitar e entender melhor o período mais favorável para a migração das dunas. Através dos dados obtidos da estação climatológica A308 de Parnaíba, estação mais próxima da localidade Tatus verificou-se algumas informações que dão suporte para compreender tal comportamento.

De acordo com as normais climatológicas representadas no gráfico da Figura 01 de precipitação acumulada, pode-se verificar que o período chuvoso da região ocorre no primeiro semestre, entre os meses de janeiro e julho com máximas de precipitação mensal de aproximadamente 400 mm para o período de 1961 – 1990 nos meses de março e abril, enquanto no período de 1991 - 2020, houve uma redução de aproximadamente 50% da precipitação acumulada nestes mesmos meses, alcançando valores aproximados de 200 mm.

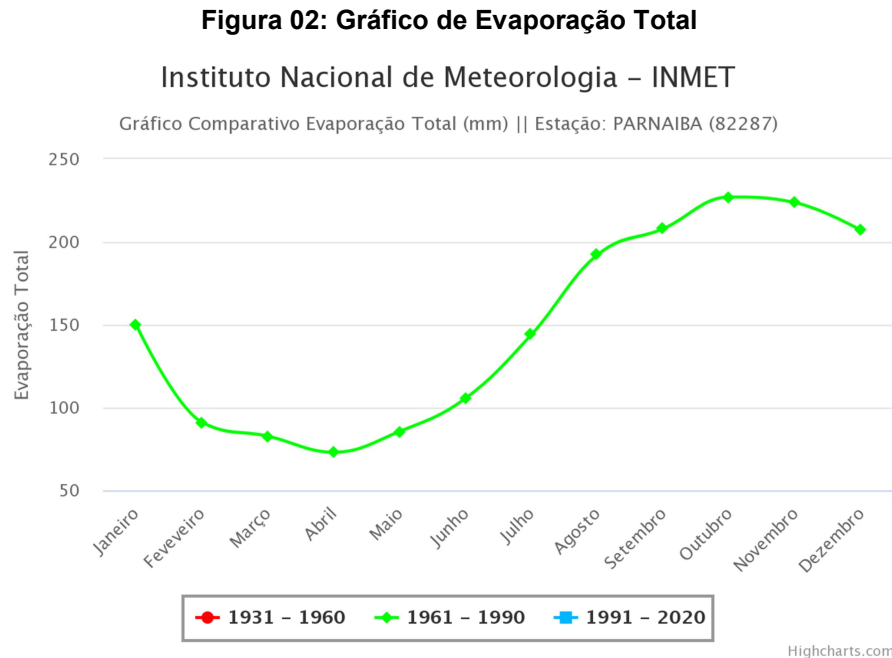


Nota: Os dados de 1931 - 1960 não foram gerados pela fonte de análise.

Fonte: INMET, 2023.

O período seco inicia-se em agosto e finaliza em novembro, voltando a iniciar o período chuvoso ainda no mês de dezembro, totalizando um volume de 996,9 mm/ano nos dados coletados pela normal climatológica de 1991 - 2020. Por conta deste comportamento entende-se que nesse período seco entre os meses agosto a novembro, pela ausência de chuvas, os sedimentos fiquem sem umidade, mais leves, facilitando com que a força do vento os arrastem provocando deslocamento (erosão eólica). Isso se comprova através do gráfico visto na Figura 02, de evaporação confirmando que as mais altas taxas de evaporação ocorreram entre os meses de agosto a dezembro em torno de 200 mm ao mês.

Enquanto a precipitação anual para o período entre 1961 a 1990 foi de 1.596,4 mm, no mesmo período, a evaporação anual foi de 1.190,1 mm, demonstrando que a evaporação é maior que a precipitação, acarretando assim, um balanço hídrico negativo. Vale ressaltar que para os dados de evaporação foram disponibilizados apenas para as normais climatológicas do período de 1961 - 1990.

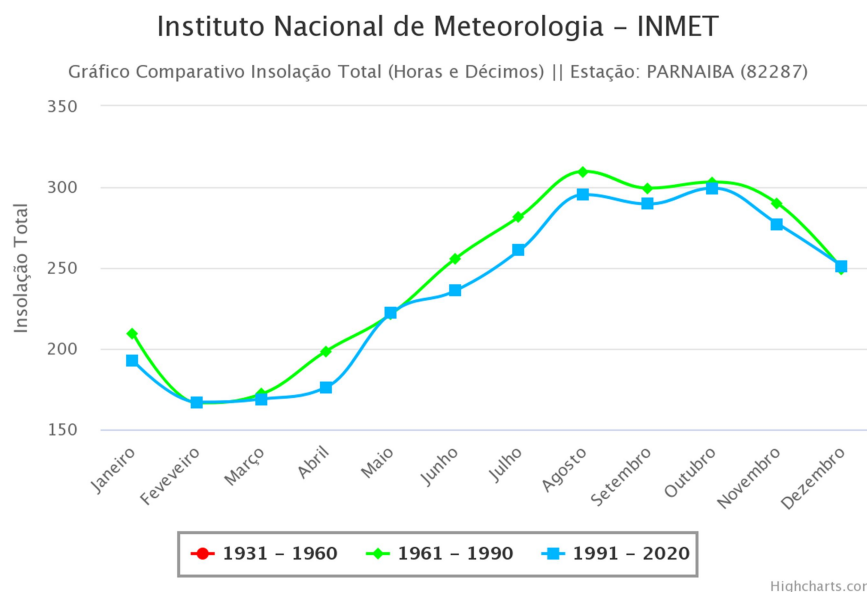


Nota: Os dados de 1931 - 1960 e de 1991 - 2020 não foram gerados pela fonte de análise.

Fonte: INMET, 2023.

Aliado a essas informações, verifica-se também um alto índice de insolação durante o período seco, no segundo semestre (Figura 03), que auxilia na redução da umidade presente nos sedimentos arenosos. De acordo com as normais climatológicas de 1991 - 2020 foi identificado um total de 2.835,60 horas de insolação, as quais a maior taxa de insolação foi observada no mês de outubro equivalente a 299,30 horas.

Figura 03: Gráfico de Insolação Total

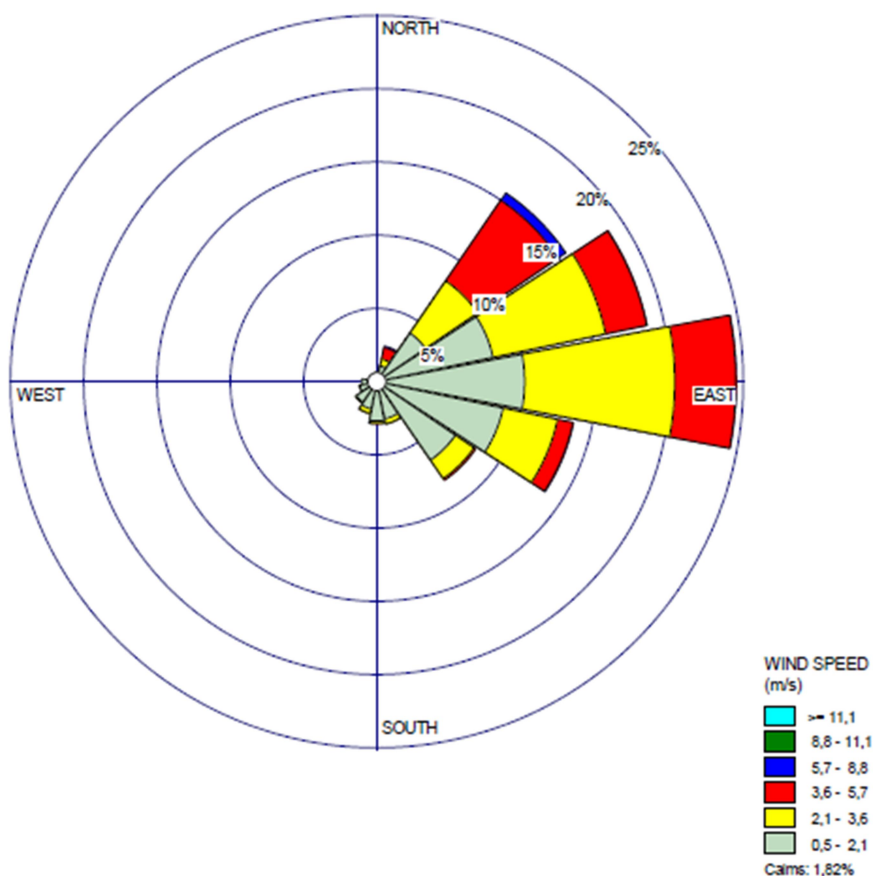


Nota: Os dados de 1931 - 1960 não foram gerados pela fonte de análise.

Fonte: INMET, 2023.

Diante dessas condições climatológicas procurou-se compreender o comportamento da direção e frequência dos ventos na região (Figura 04). O gráfico mostra que há duas direções de vento vindo de Nordeste para Sudoeste, uma com aproximadamente 18% e outra componente com 15%, totalizando 33%, enquanto o vento de Leste para Oeste tem um único vetor, com quase 25% dos ventos.

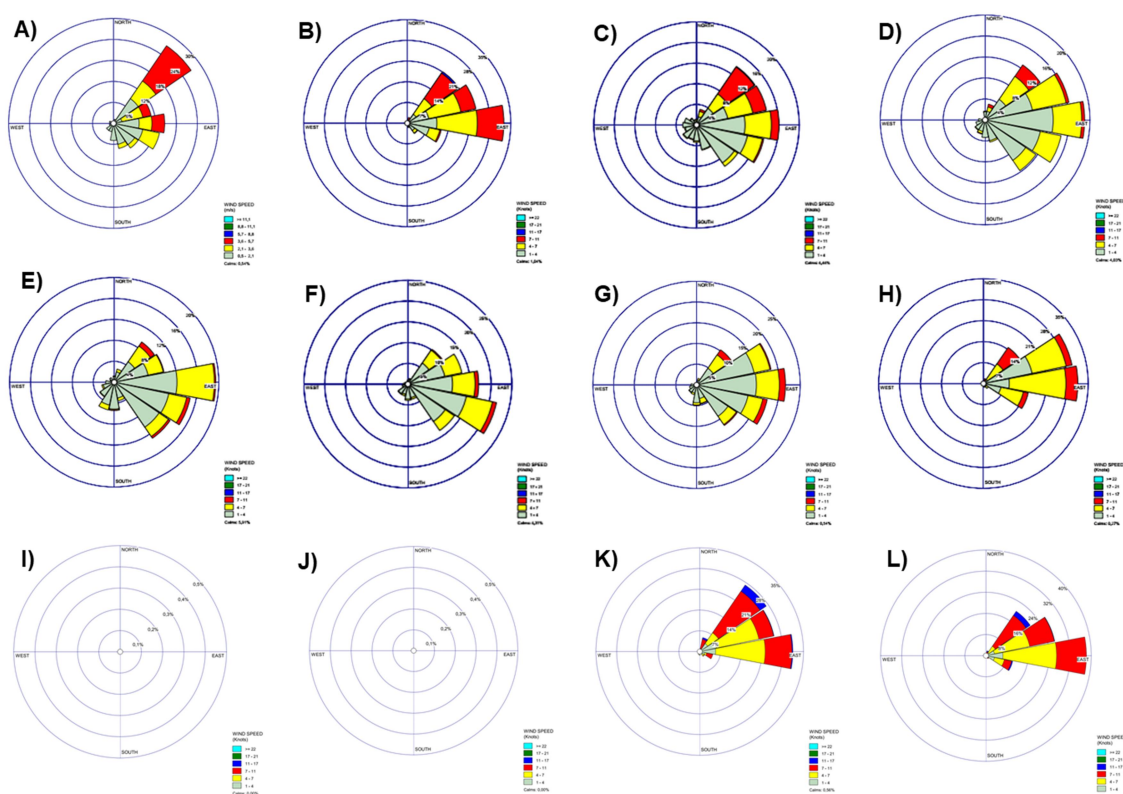
Figura 04: Gráfico representando a direção e velocidade dos ventos em Parnaíba durante o ano de 2022



Fonte: INMET, 2023.

Pode-se perceber na figura 05, a existência de uma variação na direção dos ventos ao passar dos meses do ano. Entre os meses de janeiro a abril os ventos têm maior frequência vindos do nordeste e leste, já nos meses de maio, junho e julho variam com leve tendência de ventos vindo de também de sudeste, e de agosto a dezembro voltando a ter ventos com maior frequência vindos do nordeste e leste. Vale ressaltar que os dados dos meses de setembro e outubro não estavam disponíveis na base do INMET, porém as informações obtidas através da construção da rosa de ventos confirmam as informações da literatura que segue sentido nordeste para sudoeste.

Figura 05: Gráfico representando a direção e velocidade dos ventos em Parnaíba durante Janeiro a Dezembro de 2022



Fonte: INMET, 2023.

Legenda: Direção e velocidade dos ventos sendo A) em Janeiro 2022; B) em Fevereiro 2022; C) em Março 2022; D) em Abril 2022; E) em Maio 2022; F) em Junho 2022; G) em Julho 2022; H) em Agosto 2022; I) em Setembro 2022; J) em Outubro 2022; K) em Novembro 2022; L) em Dezembro 2022.

Com a utilização do aplicativo *Hysplit on-line*, gerou-se imagens representando as trajetórias de vento em diferentes datas. Foram obtidas trajetórias do tipo Normal em *Forward* (do ponto de partida adiante) e trajetórias do tipo Frequência em *Backward* (do ponto para trás). Observou-se com os resultados que para as trajetórias do tipo Normal em *Forward* na figura 06, para apenas um ponto de partida selecionado.

Demonstram que na área de estudo, os ventos têm uma tendência de seguir para o quadrante SW após passarem pelo ponto de controle nos anos de 1990, 2000 e 2022. No ano de 2010 algumas das trajetórias tiveram direção para Oeste, diferentemente dos outros anos.

Figura 06: Trajetória do vento do tipo Normal em *Forward* durante 1990 a 2022

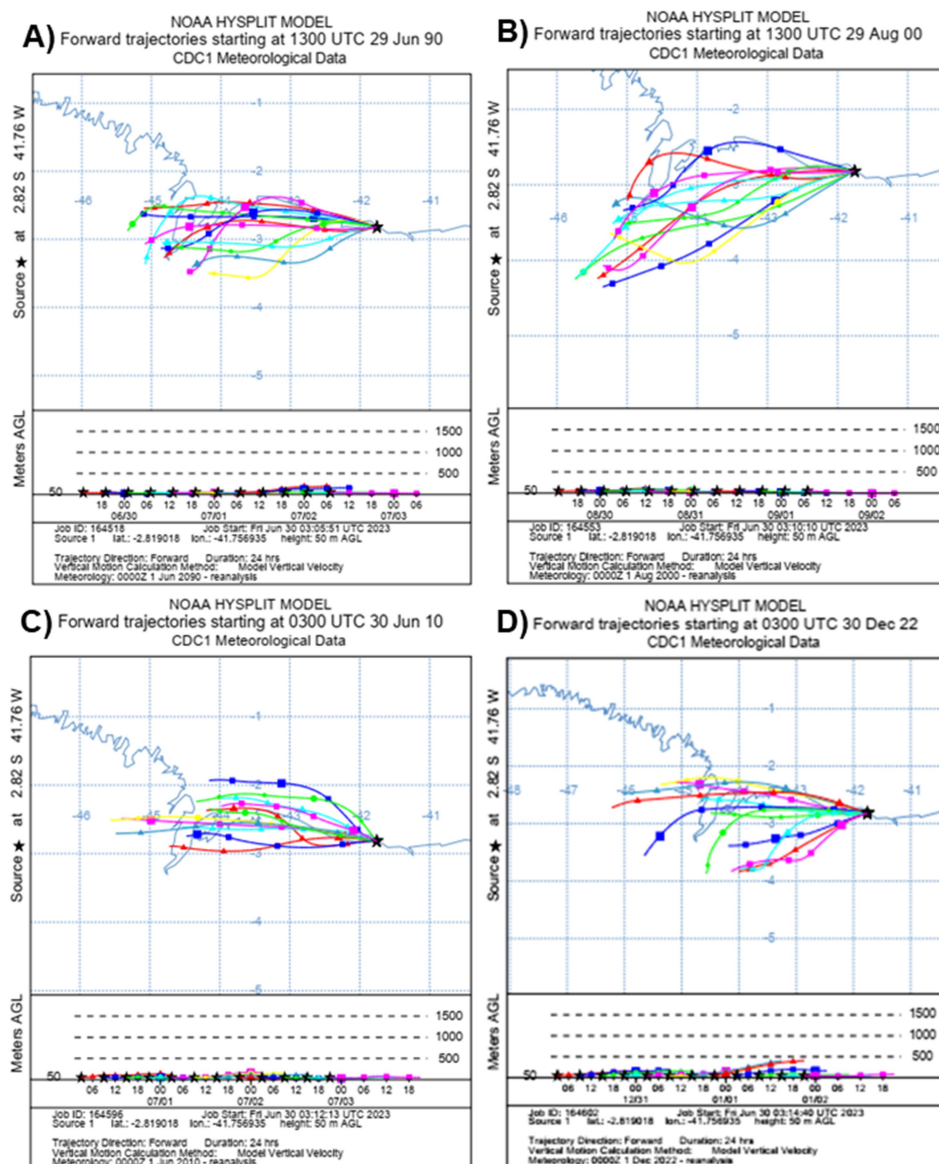
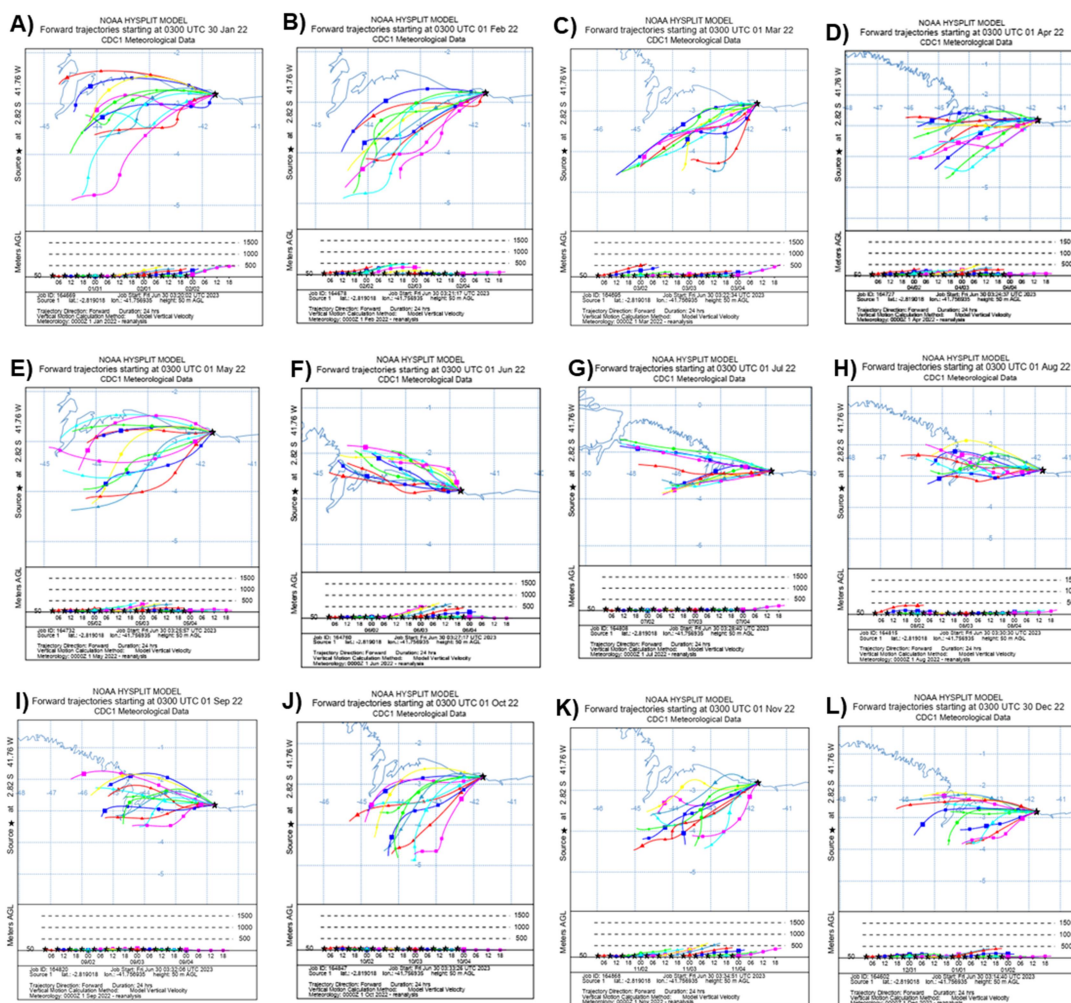


Figura 07: Trajetória do vento do tipo Normal em *Forward* de Janeiro a Dezembro de 2022

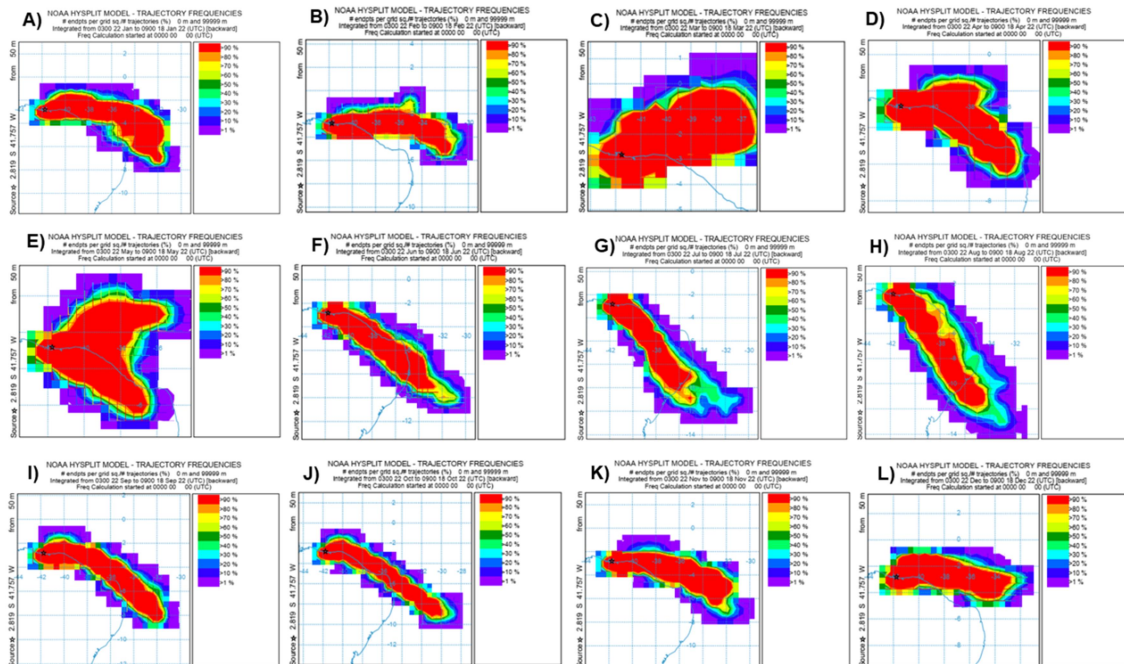


Fonte: NOAA, 2023.

Legenda: Trajetória do vento do tipo Normal em *Forward* sendo A) em Janeiro 2022; B) em Fevereiro 2022; C) em Março 2022; D) em Abril 2022; E) em Maio 2022; F) em Junho 2022; G) em Julho 2022; H) em Agosto 2022; I) em Setembro 2022; J) em Outubro 2022; K) em Novembro 2022; L) em Dezembro 2022.

Nas trajetórias do tipo Frequência, foram geradas imagens com ventos em *Backward* utilizando os dados de 30 dias. De acordo com as imagens obtidas (figura 08), nos meses de março, abril e maio têm uma maior frequência de ventos vindos do nordeste. Porém os resultados indicam uma tendência dos ventos na direção Leste/Oeste e ligeiramente em alguns meses ventos vindos de Sudoeste acompanhando a costa nordestina até o ponto na região da pesquisa. Entretanto, mesmo com pontuais mudanças da frequência gerados pelo software, confirma-se que o padrão para os ventos desta região tendem a vir de nordeste sentido sudoeste.

Figura 08: Trajetória do vento do tipo Frequência em *Backward* de Janeiro a Dezembro de 2022

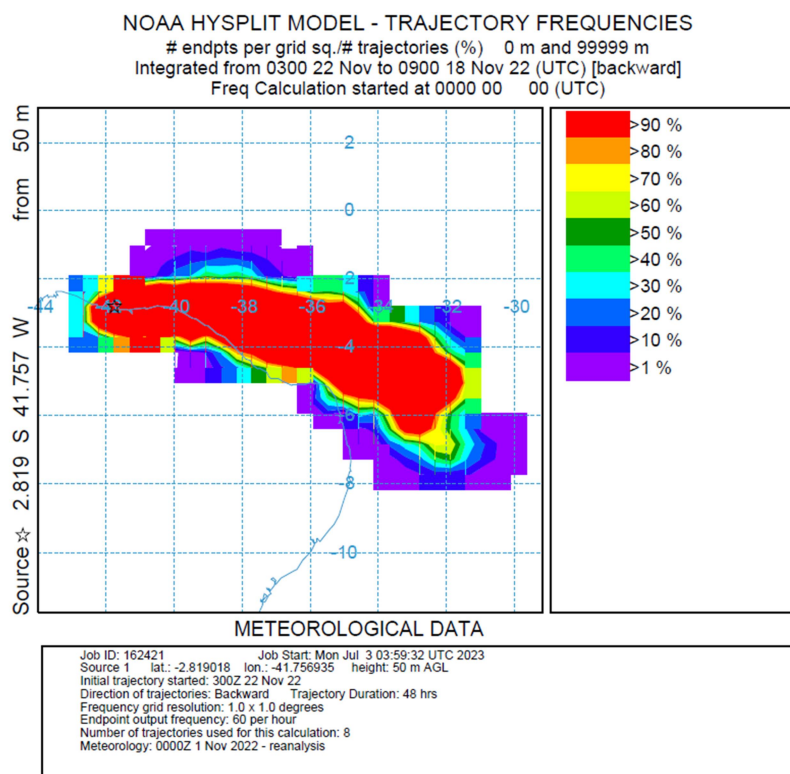


Fonte: INMET, 2023.

Legenda: Trajetória do vento do tipo Frequência em *Backward* sendo A) em Janeiro 2022; B) em Fevereiro 2022; C) em Março 2022; D) em Abril 2022; E) em Maio 2022; F) em Junho 2022; G) em Julho 2022; H) em Agosto 2022; I) em Setembro 2022; J) em Outubro 2022; K) em Novembro 2022; L) em Dezembro 2022.

Assim, de forma geral, a figura 09 mostra que o gráfico de frequência de ventos gerado pelo modelo dos dados obtidos do satélite NOAA mostrou que os ventos acompanham a costa nordestina vindo de Leste para oeste, levemente de com tendência a vir de sudeste.

Figura 09: Trajetória do vento do tipo Frequência em *Backward* de Novembro de 2022



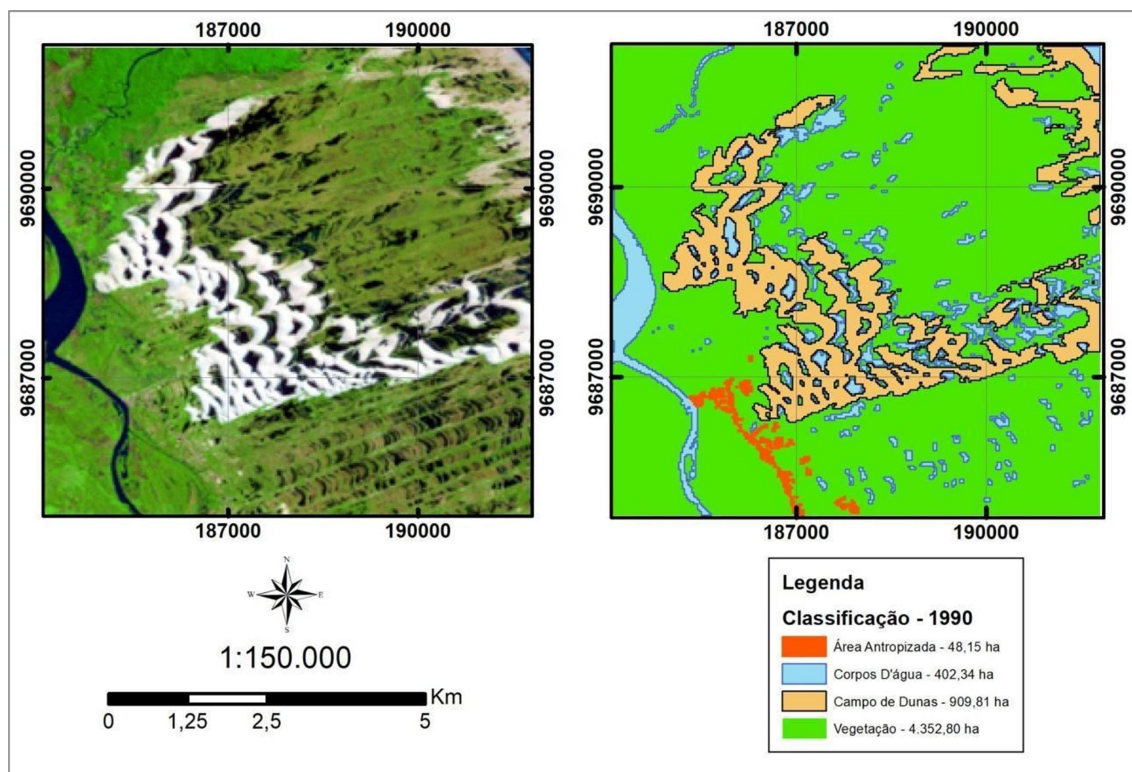
Fonte: INMET, 2023.

Diante das análises de dados pluviométricos e de ventos, parte-se para a análise dos mapas de uso e cobertura das terras no município de Ilha Grande, mais especificamente o Campo de Dunas da região dos Tatus.

Inicialmente, foi realizado um mapeamento preliminar, onde foram levados em consideração os padrões gerados pelo software a partir da segmentação, depois pela observação do pesquisador quanto aos padrões existentes na imagem, como vegetação, água, área urbana, etc. No ano de 1990 consegue-se verificar que as dunas se deslocam de forma transversal em relação à praia, deixando rastros do seu deslocamento e criando uma significativa quantidade de lagoas formadas pelo acúmulo de água das chuvas concentradas entre as dunas e por onde elas passam. Verifica-se que a oeste da imagem as dunas possuem uma frente de deslocamento que se aproxima do Rio Parnaíba, e verifica-se também um tímido núcleo urbano de casas do povoado Tatus, área antropizada que acompanha as margens da via de acesso, Rodovia Estadual PI-210 e concentrando ao porto dos Tatus.

A feição do Campo de Dunas foi mapeada com uma área de 909,81 ha, e destaca-se a presença marcante das várias lagoas interdunares, como se pode observar na figura 10.

Figura 10: Mapeamento do Campo de Dunas do ano de 1990



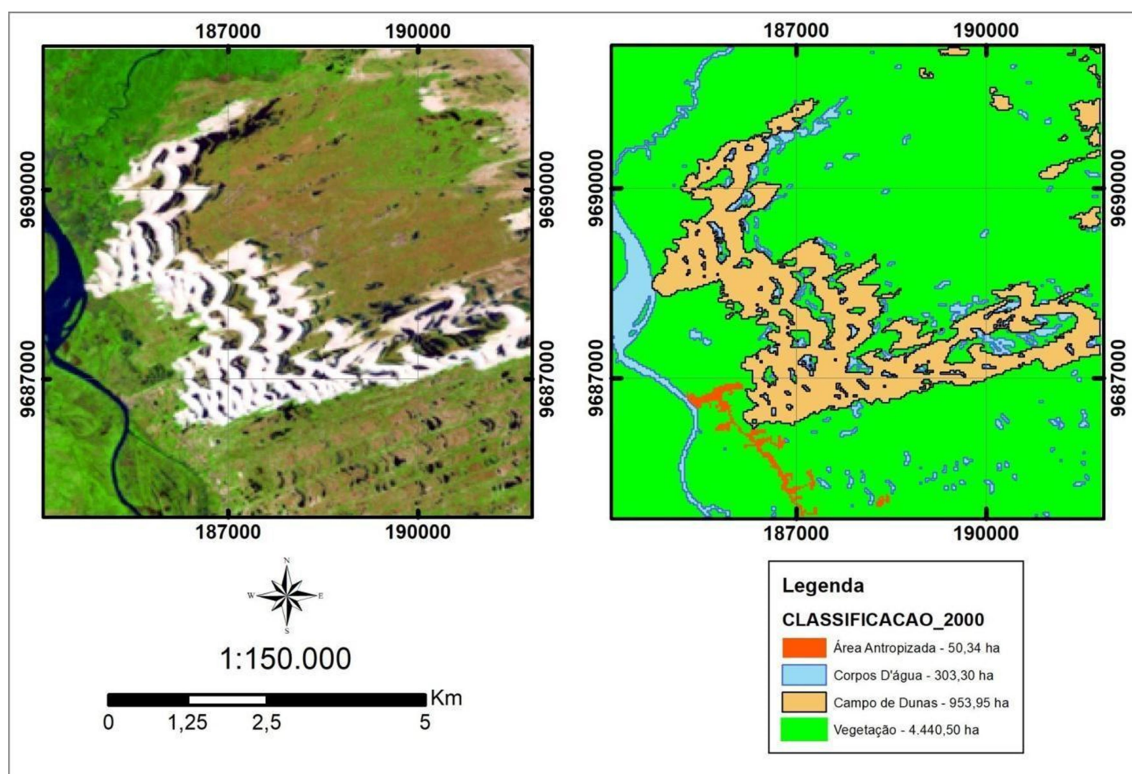
Fonte: Organização e Geoprocessamento: Samuel C. de V. Maia, 2023.

No ano de 2000 (Figura 11) se percebe que há um leve crescimento de 2,19 ha da área antropizada do povoado Tatus, principalmente onde localiza-se o porto que serve de saída dos barcos para acesso ao Delta do Parnaíba, onde a concentração de serviços urbanos localiza-se às margens do rio dos Morros, afluente da margem direita do rio Parnaíba. É perceptível também que no quadrante sudoeste da área de estudo existe uma concentração de área urbanizada antropizada que se desenvolve em direção às dunas, que se deslocam de encontro.

Vê-se que as dunas possuem uma característica do tipo barcanas, as quais se caracterizam de forma crescente com braços estendidos à sotavento (MCKEE; BIGARELLA, 1972), e entre algumas dessas dunas existe a presença de corpos d'água acumulados, todavia em menor quantidade em relação ao

ano de 1990. E verifica-se também a presença de vegetação que ajudam na fixação das mesmas, assim como dificulta o arraste de sedimentos por erosão eólica. Já consegue perceber que a formação das dunas neste período de 10 anos (1990 - 2000) indica uma migração em direção NE - SO, no mesmo sentido do canal fluvial do rio dos Morros e ao povoado dos Tatus.

Figura 11: Mapeamento do Campo de Dunas do ano de 2000



Fonte: Organização e Geoprocessamento: Samuel C. de V. Maia, 2023.

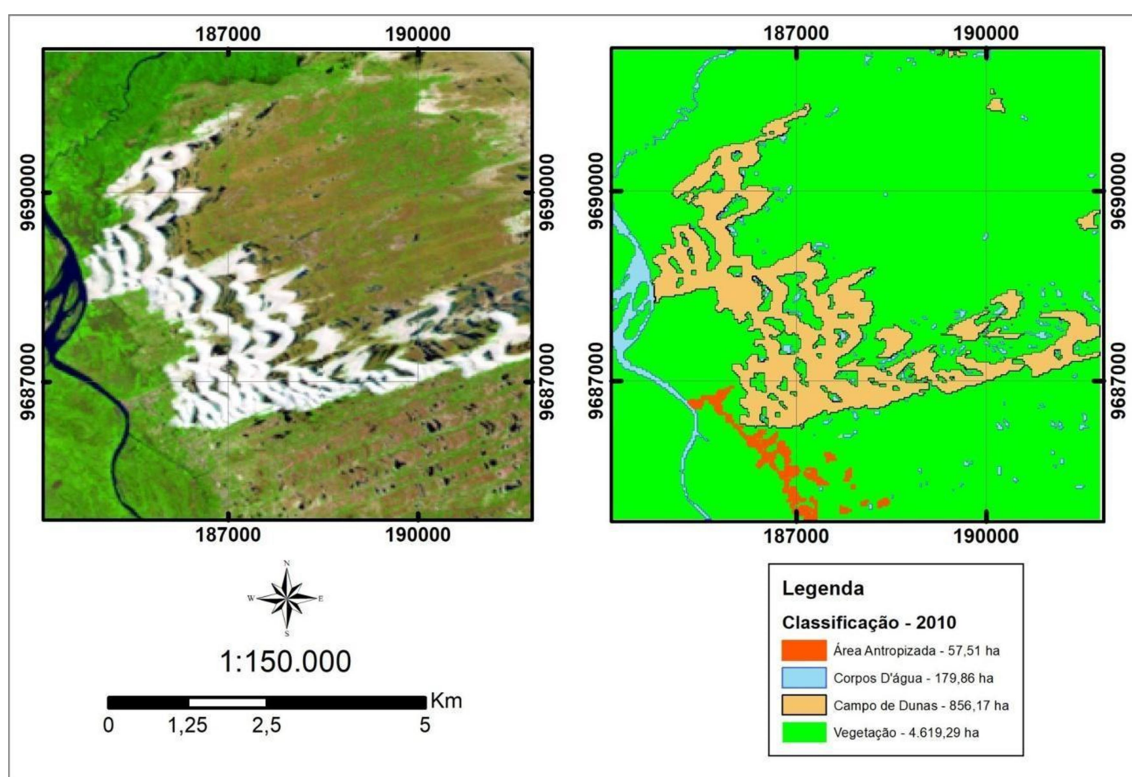
Quanto ao ano de 2010 verifica-se um aumento ainda retraído da área urbana, onde se destaca no quadrante sudoeste da imagem, um deslocamento significativo das dunas onde se tem o aglomerado urbano. Houve variação considerável no padrão das dunas, mas assim como em 2000 houve um deslocamento no mesmo sentido.

Percebe-se que há uma situação de risco com o crescimento do perímetro urbano em direção às dunas (Figura 12), como se vê um aumento em hectares da feição mapeada como área antropizada que passa de 48,15 para 50,34 hectares, de encontro ao campo de dunas. Futuramente essas construções provavelmente poderão sofrer soterramento por sedimentos

oriundos dessas dunas que migram no mesmo sentido. É perceptível também no ano de 2010 o crescimento da vegetação em meio às dunas, e uma diminuição na feição denominada corpos d'água.

Nota-se que a frente de dunas no quadrante noroeste da imagem que migra em direção ao rio dos Morros já está totalmente em contato com o canal fluvial. Esses sedimentos seguem o processo natural da dinâmica litorânea, seguindo pelo estuário do rio e chegando até o mar que através da deriva litorânea servirá de controle das ondas e marés.

Figura 12: Mapeamento do Campo de Dunas do ano de 2010.



Fonte: Organização e Geoprocessamento: Samuel C. de V. Maia, 2023.

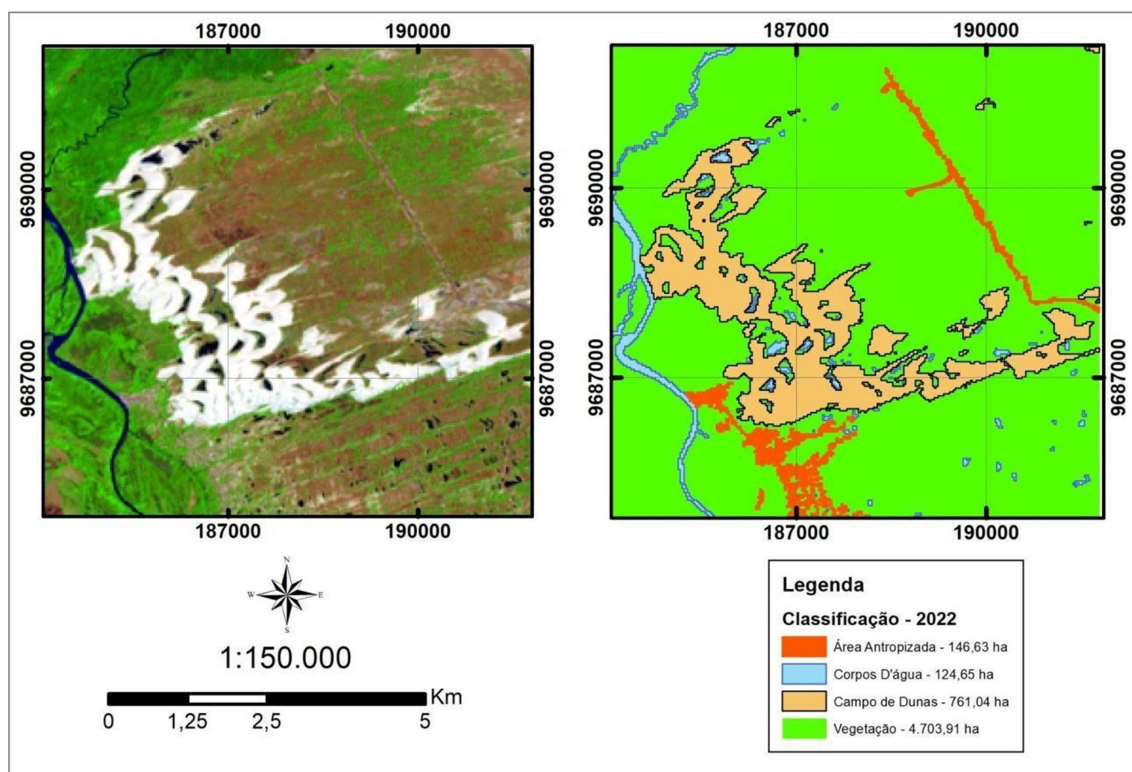
Assim como no ano de 2010, observa-se que no ano de 2022 (Figura 13) continua o mesmo padrão de avanço das dunas em direção a área urbana, como também continua o crescimento da área antropizada no quadrante sudoeste, o que mais a frente será chamado de seção A.

Identificou-se também que houve diminuição da massa d'água das lagoas interdunares com o passar dos anos, de 303,30 para 179,86 hectares, o que pode levar a crer numa redução do aporte de água por acúmulo através do

campo de dunas, pois estas servem como instrumento de acúmulo de água para alimentar o aquífero superficial e livre.

No ano de 2022 percebe-se também que a vegetação vai se consolidando entre as dunas desde o ano de 2010 e permanecendo no ano de 2022, o que ajuda a fixar as dunas e evitar o deslocamento dos sedimentos. Porém apesar da vegetação que auxilia a fixação das dunas, faz-se atenção ao deslocamento de sedimentos das dunas em direção às construções civis do povoado Tatus, local de grande importância para o turismo regional e para a economia local, pois é do porto de Tatus que saem as embarcações para a visita ao Delta do Parnaíba e para exploração extrativista de pescadores.

Figura 13: Mapeamento do Campo de Dunas do ano de 2022.



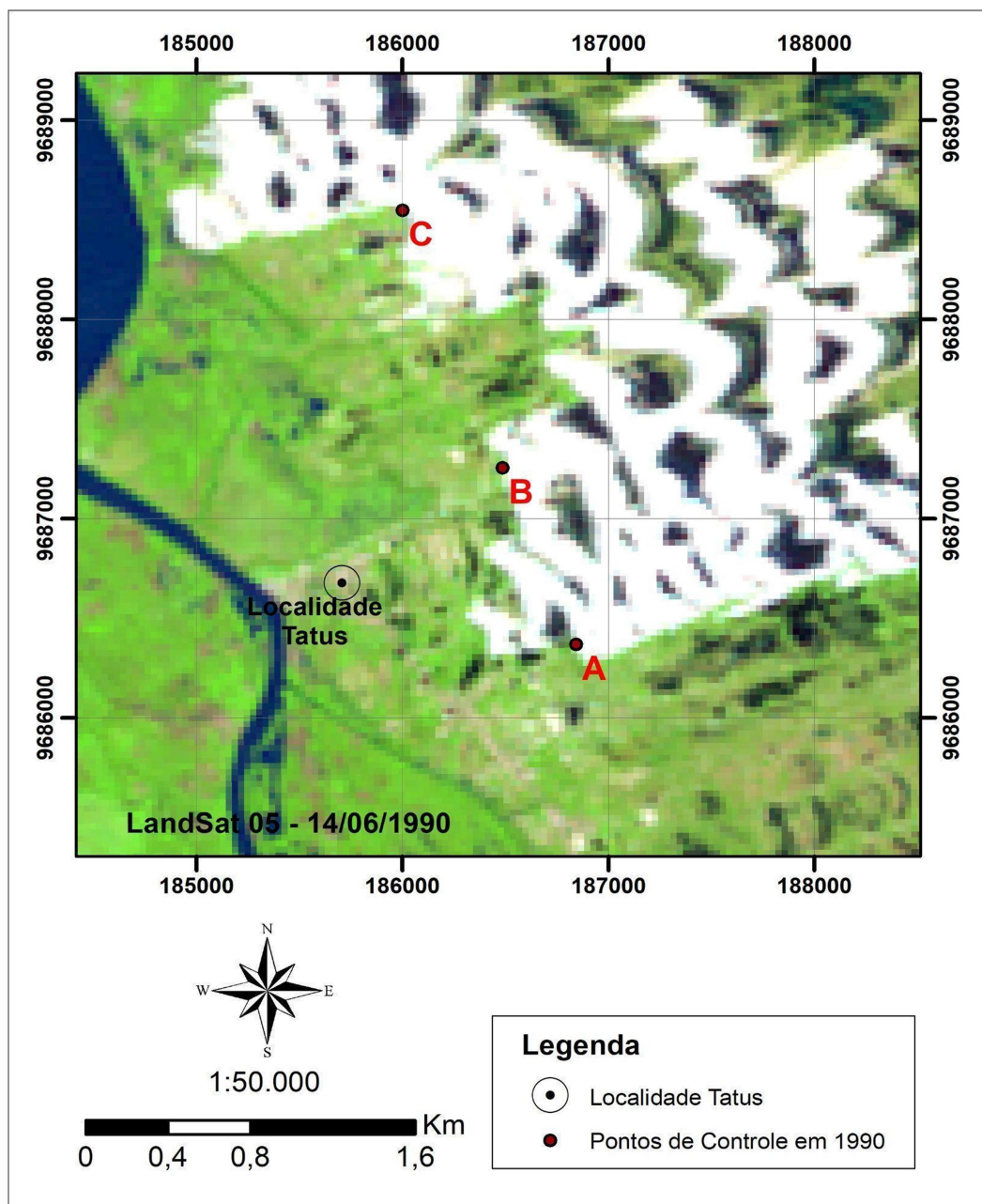
Fonte: Organização e Geoprocessamento: Samuel C. de V. Maia, 2023.

Com isso verifica-se claramente através das imagens que o deslocamento de sedimento por processos eólicos é bastante forte na região, confirmando a migração das dunas na direção de Nordeste para Sudoeste, ou seja, há uma forte dinâmica de migração de dunas, o que faz gerar um alerta

para a população e para a gestão pública para possíveis problemas de soterramento de construções civis por conta do avanço do campo de dunas.

Posteriormente foram utilizados pontos de controle para monitorar o deslocamento das dunas em três seções, utilizando imagens do satélite Landsat 05 datada de 14/06/1990 em uma composição de bandas R5G4B3 (Figura 14).

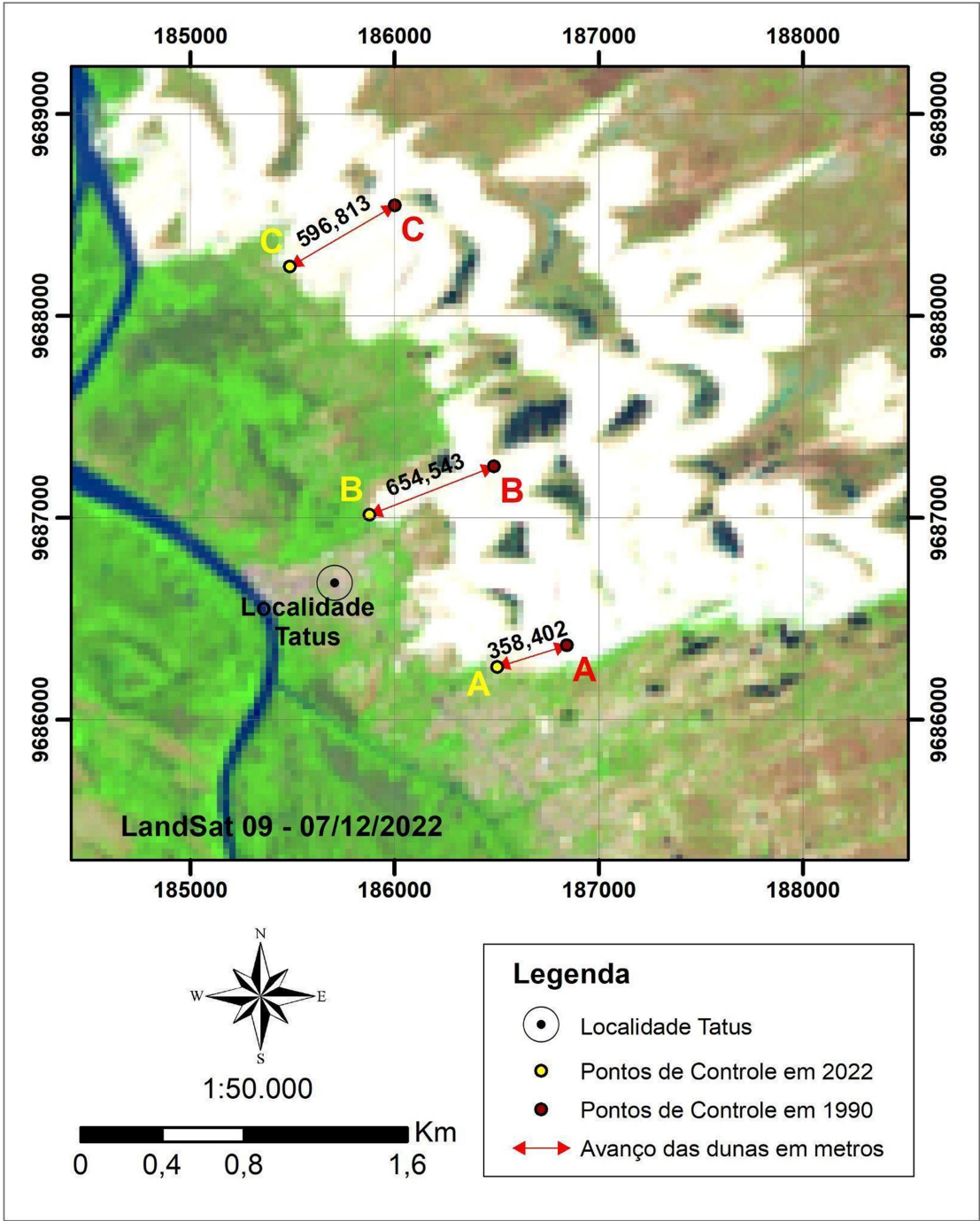
Figura 14: Mapa de identificação de pontos de controle do ano de 1990.



Fonte: Organização e Geoprocessamento: Samuel C. de V. Maia, 2023.

E depois comparado a uma outra imagem, de 07/12/2022 no qual se pode verificar claramente a migração das dunas em direção ao rio dos Morros e as áreas antrópicas, em especial, à zona urbana do povoado Tatus, como se pode observar na figura 15.

Figura 15: Mapa de identificação de pontos de controle do ano de 2022.



Fonte: Organização e Geoprocessamento: Samuel C. de V. Maia, 2023.

Nas seções criadas foi calculada as distâncias em metros entre cada ponto para medir a taxa de migração, ou seja, o valor em metros do quanto as dunas migram em direção ao continente, mais precisamente, em direção a localidade Tatus, onde na seção A verificou-se uma migração através da distância de 358,402 m. Na seção B obteve-se uma distância entre os pontos de 654,543 m, e no ponto C, uma distância de 596,813 m (Tabela 01). Essa menor taxa de migração na seção A em comparação às seções B e C pode estar relacionada à maior presença de lagoas interdunares neste ponto analisado, o que pode servir como barreira para a migração dos sedimentos dunares.

Tabela 01: Valor de migração das dunas em metros entre os anos de 1990 e 2022 na localidade Tatus.

Seção	Distância em metros do avanço das dunas	Taxa de migração (m/ano)
A	358,402 m	11,20 m/ano
B	654,543 m	20,45 m/ano
C	596,813 m	18,65 m/ano

Fonte: Autor, 2023.

Um dos objetivos da análise da migração do campo de dunas transgressivas na localidade Tatus em um período de 32 anos é avaliar a movimentação das dunas. Percebe-se então que os sedimentos migram em direção ao rio dos Morros e a localidade Tatus em direção NE-SW. Os resultados relacionados às taxas de migração de dunas na seção A mostram que com o avanço dos sedimentos em 358,402 m mostram uma taxa média de deslocamento de 11,20 m/ano.

Na seção transversal B, no qual houve um deslocamento de 654,543, o maior dentre os três definidos, apontou nesses 32 anos uma taxa de migração média de 20,45 m/ano. Já na seção C, onde se teve um deslocamento dos sedimentos de 596,813 m indicou uma taxa média de 18,65 m/ano de migração

Em alguns locais mais ao norte da área de estudo, algumas dunas já se deslocaram ao ponto de chegar ao rio Parnaíba, levando a considerar que, se mantendo as condições climáticas e mantendo o comportamento das dunas,

elas continuarão a migrar em direção a localidade em questão e o poder público juntamente com a população deve pensar em algumas medidas de planejamento urbano para mitigar esse comportamento natural do ambiente local.

Isso é bastante claro na área de estudo desta pesquisa, na localidade Tatus, pois todo o povoado localiza-se a sotavento das dunas móveis e fixas que regem a dinâmica litorânea da região interferindo completamente nesse transporte de sedimentos, como se pode ver na figura 16, abaixo.

Figura 16: Equipamentos públicos



Fonte: Autor, 2023.

Observa-se uma das obras públicas do povoado e ao fundo o campo de dunas, que altera completamente o fluxo normal dos sedimentos que alimentam esse sistema. Grande parte do povoado localiza-se sobre dunas fixas frente às dunas móveis, campo de dunas antigo que se consolidou como vegetação de porte herbáceo e arbóreo (Figura 17).

Figura 17: Vegetação das dunas fixas



Fonte: Autor, 2023.

Existe na região um trabalho realizado em parceria com a prefeitura e população, de acordo com moradores da região, para a contenção do avanço das dunas em direção ao povoado, através de plantio de mudas e aplicação de palhas por alguns pontos dos campos de dunas, principalmente na frente de dunas que está mais próximo das casas, como se pode observar na imagem da Figura 18. O que leva a crer que esse trabalho contribui para explicar a menor taxa de migração na seção A em relação às seções B e C, pois como se vê abaixo na imagem registrada em visita de campo, essas intervenções reduzem até certo ponto o deslocamento das dunas frente aos equipamentos públicos e privados da comunidade em destaque.

Figura 18: Manobras de contenção do avanço das dunas



Fonte: Autor, 2023.

No entanto o bloqueio da passagem de sedimentos com a ocupação do campo de dunas seja por obras ou por medidas de contenção impede que esses campos tenham sua função de aporte de sedimentos que chegam até a linha de praia através do canal estuarino, consequentemente podendo causar erosão em alguns locais da faixa de praia, e em outros danos a equipamentos urbanos públicos e privados localizados no mesmo, devido essa diminuição de sedimentos no sistema.

A quebra desse aporte de sedimentos também foi identificada pela retirada de sedimentos para uso na construção civil, ao se encontrar vestígio de retirada de material por caminhão, como se pode ver na figura 19 abaixo, e alteração no banco de areia, localizado ao lado da via de acesso ao povoado.

Figura 19: Interferência antrópica em dunas



Fonte: Autor, 2023.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos trouxeram os registros do avanço do campo de dunas em três pontos, no período de 1990 a 2022. Ao longo de 32 anos na seção A, houve um avanço de 358,402 m; na seção B o avanço foi de 654,543 m e; na seção C, houve um deslocamento de 596,813 m, gerando uma taxa de

migração dos sedimentos arenosos de 11,20 m/ano, 20,45 m/ano e 18,65 m/ano, respectivamente.

O modelo de trajetória e frequência HYSPLIT on-line se mostrou uma ferramenta bastante satisfatória para corroborar a direção predominante do vento em conformidade com a literatura indicando sentido do vento de nordeste para sudoeste, em conformidade com os dados do INMET que deram subsídio para encontrar a direção do vento.

Conclui-se assim, que o sistema de dunas da localidade Tatus está migrando a uma média de 16,73 m/ano no sentido NE/SO onde na frente dessa migração encontra-se o povoado.

Dessa forma faz-se o alerta para a possibilidade de soterramento dos equipamentos públicos e privados de acordo com as taxas de migração encontradas, trazendo transtornos à população e ao governo local. Esta pesquisa servirá de base para outros estudos relacionados à dinâmica litorânea do município de Ilha Grande, bem como o mapeamento gerado como produto, auxiliará ao poder público local, assim como à sociedade a tomar a melhor decisão frente aos riscos iminentes.

Diante do exposto observa-se o campo de dunas do povoado Tatus um sistema litorâneo que serve de aporte de sedimentos para a região que migra até o rio Parnaíba e através da hidromecânica estuarina retorna ao oceano a fim de alimentar a deriva litorânea aportando sedimentos com destino às ilhas do delta do Parnaíba, contribuindo para controlar as ondas e marés, e depois retornar a migração de novas dunas, fechando o ciclo do sistema, no entanto existe o povoado que interfere nesse sistema.

REFERÊNCIAS

CASTRO, J. W. A. Burying processes carried out by a mobile transversal dunefield, Paracuru County, State Ceará, Brazil. **Environmental Geology**, v. 49, n. 2, p. 214-219, 2005. DOI: 10.1007/s00254-005-0055-6

CASTRO, J. W. A. Geomorfologia do Sistema Sedimentar Eólico de Paracuru - Ceará – Rio de Janeiro: UFRJ/PPGG, 2001.

MCKEE, E. D., & BIGARELLA, J. J. Deformational structures in Brazilian coastal dunes. **Journal of Sedimentary Research**, 42(3), 670-681, 1972.