



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
GEOGRAFIA**



WENDERSON SÁVYO AGUIAR DA SILVA



Orientador: Prof^a. Dra. Junia Kacenenbogen Guimarães

SALVADOR

2021

WENDERSON SÁVYO AGUIAR DA SILVA

**VULNERABILIDADE DO LITORAL DO MUNICÍPIO DE
PAULISTA-PE À EROSÃO COSTEIRA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Federal da Bahia, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof ^a. Dra. Junia Kacenenbogen
Guimarães

SALVADOR
2021

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Universitária de Ciências e Tecnologias Prof. Omar Catunda, SIBI - UFBA.

C871 Silva, Wenderson Sávyo Aguiar da Silva
Vulnerabilidade do Litoral do Município de Paulista-PE à Erosão Costeira/ Wenderson Sávyo Aguiar da Silva.– Salvador, 2021.

110 f.

Orientadora: Prof^a. Dr^a Junia Kacelenbogen Guimarães

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia. Instituto de Geociências, 2021.

1. Gerenciamento Costeiro. 2. Erosão Costeira. 3. Vulnerabilidade à Erosão. I. Guimarães, Junia Kacelenbogen. II. Universidade Federal da Bahia. III. Vulnerabilidade do Litoral do Município de Paulista-PE à Erosão Costeira.

CDU:616-083:173.4

TERMO DE APROVAÇÃO

BANCA DE DEFESA - DISSERTAÇÃO

Vulnerabilidade do Litoral do Município de Paulista-PE à Erosão Costeira

WENDERSON SÁVYO AGUIAR DA SILVA



Dr^a. Junia Kacelenbogen Guimarães (Orientadora/Presidente)
Universidade Federal da Bahia (UFBA)



Dr^a. Iracema Reimão Silva
Universidade Federal da Bahia (UFBA)



Dr. Lucas do Nascimento
Prefeitura de Camaçari

Aprovada em Sessão Pública de 22 de novembro de 2021

Dedico este trabalho:

A Elizama Aguiar, minha mãe, por ter acreditado em mim e no meu sonho.

A Heytor Duan, meu irmão, por me fazer pensar em um futuro melhor para ele.

AGRADECIMENTOS

Agradeço as energias positivas que me acompanham desde o início de tudo e que não me deixaram desistir nos momentos mais difíceis.

À minha mãe, Elizama Aguiar, por acreditar e apoiar o meu sonho, mesmo sem entender as minhas vontades.

À Andrezza Karla, à Emely Christine, Paulo McMuller e ao Marcelo Augusto por estarem presentes nas minhas primeiras idas para Salvador-Bahia.

À minha orientadora, Prof^a. Dra. Junia K. Guimarães pelo interesse em me orientar desde o primeiro contato, por dividir a sala de aula no tirocínio, por partilhar o seu vasto conhecimento, por insistir na minha capacidade e pela atenção dispensada nestes longos anos de dissertação.

Aos que me ajudaram a morar em Salvador: Larissa Gomes, Matheus Santos, Rodrigo Santos e Eresson Neves.

A Gabriela Amado por ter passado longas horas ao meu lado ensinando a utilizar o Sistema de Modelagem Costeira (SMC-Brasil) e por todas as conversas sobre a vida universitária.

Ao Tiago Fernandes por me acompanhar desde os primórdios da graduação e estar sempre disponível nos momentos em que precisei falar sobre os mapeamentos e sobre as dúvidas da pesquisa.

Aos amigos voluntários que participaram dos campos: Ewerton Maurício, Beatriz Teixeira, Andrezza Cavalcante e em especial a João Paulo que além de ir aos campos, esteve comigo nas horas mais difíceis.

Ao Núcleo de Estudos Hidrogeológicos e do Meio Ambiente (NEHMA) por disponibilizar as ferramentas necessárias para o andar da minha pesquisa.

À Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco (CONDEPE/FIDEM) e ao Antônio Juarez por disponibilizarem as ortofotos utilizadas na pesquisa e à Franciele Araujo e Rafael Anjos por me ajudarem nos mapas.

Aos meus amigos do Programa de Pós Graduação em Geografia (Posgeo-UFBA) pela troca de conhecimento e experiência, em especial a Natália, Michele, Renata e Antônio por fazerem parte do meu dia-a-dia.

A todos os meus alunos do Portal-UFPE, da UFBA e do Colégio Menezes por me fazerem um profissional cada vez mais humano.

Aos Docentes Prof^a Iracema Reimão e Prof^o Lucas Nascimento por estarem nessa pesquisa desde a minha qualificação e agora na defesa final.

A todos os meus amigos que ajudaram de forma indireta, em especial a Deco Sodré por estar comigo desde o início deste mestrado.

Por fim, a Itanajara Muniz e a todos os Docentes do Posgeo que compartilharam um pouco de conhecimento comigo e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por financiar a minha bolsa de mestrado que foi primordial para a realização da pesquisa.

RESUMO

A erosão costeira é um grave problema social e econômico que afeta diversos trechos costeiros no Brasil e no mundo. Sua ocorrência está relacionada a fatores diversos, tanto naturais como antrópicos. Os processos erosivos no Estado de Pernambuco datam de pelo menos meados do século XX. O objetivo deste trabalho é estimar a vulnerabilidade à erosão do município de Paulista/PE, localizado a norte dos municípios de Recife e Olinda, ambos fortemente afetados por processos erosivos. A vulnerabilidade foi estimada para 29 pontos distribuídos ao longo do litoral do município que se divide em três praias (de sul para norte): do Janga, de Pau Amarelo e de Maria Farinha. A metodologia utilizada para o cálculo do índice foi aquela proposta por Mallmann (2010), que divide os fatores indutores de vulnerabilidade em índices parciais – relativos à morfologia costeira, aos atributos naturais, à influência marinha, aos processos costeiros e à influência antrópica - antes de se obter um índice global. Para o cálculo da vulnerabilidade foram mapeadas linhas de costas entre os anos de 1975 e 2018, para obtenção de taxas de deslocamento de linha de costa de médio prazo. Também foram realizados dois trabalhos de campo, para a coleta de informações e também para identificar as condições atuais de erosão no município. Complementarmente foram analisadas a evolução da implementação de obras costeiras e calculado o transporte litorâneo no município utilizando o programa SMC-Brasil. Os resultados demonstraram que nas praias de Janga e parte sul da praia de Pau Amarelo há uma tendência de médio prazo de erosão, enquanto na porção norte da praia de Pau Amarelo e na praia de Maria Farinha a tendência é de progradação. Também observou-se que mesmo com a construção de obras costeiras, em especial nas praias de Janga e Pau Amarelo, os indicadores de erosão continuam presentes no município, além de em grande parte do litoral a praia não apresentar condições recreativas na maré alta. Dos diversos tipos de obras presentes no município, como enrocamentos, bagwalls, etc, o que melhor apresentou resultados foram os quebra-mares, construídos na praia do Janga, pois permitiram certa acumulação de sedimentos, formando tômbolos. Os índices globais de vulnerabilidade demonstraram que a porção sul do município é a mais vulnerável à erosão, vulnerabilidade que diminui a norte, em especial na praia de Maria Farinha, com exceção de um trecho nesta praia em que a vulnerabilidade é máxima, ao que parece, causada por uma ocupação irregular sobre a praia. O transporte litorâneo ao longo de todo o município é para norte, o que parece corroborar com a ideia de que a erosão crônica de Paulista está relacionada com a presença do porto de Recife, que já de longa data tem desencadeado processos erosivos em Olinda. Possivelmente também, as obras de proteção à erosão costeira de Olinda agravam a erosão no município de Paulista. Apesar do forte fator antrópico causador dos processos erosivos em Paulista, o índice parcial de vulnerabilidade associado à influência antrópica foi baixo no município, o que indica uma fragilidade no método de cálculo do índice, embora o resultado global tenha sido satisfatório.

PALAVRAS-CHAVE: Gerenciamento Costeiro. Erosão Costeira. Vulnerabilidade à Erosão.

ABSTRACT

Coastal erosion is a serious social and economic problem that affects several coastal stretches in Brazil and in the world. Its occurrence is related to several factors, both natural and anthropic. Erosive processes in the state of Pernambuco date back to at least the middle of the 20th century. The objective of this study is to estimate the vulnerability to erosion in the municipality of Paulista/PE, located north of the municipalities of Recife and Olinda, both heavily affected by erosive processes. The vulnerability was estimated to 29 points distributed along the coast of the municipality that is divided into three beaches (from south to north): Janga, Pau Amarelo and Maria Farinha. The methodology used to calculate the index was the one proposed by Mallmann (2010), which divides the vulnerability index into partial indices - related to coastal morphology, natural attributes, marine influence, coastal processes and anthropic influence - before an overall index is obtained. To calculate the vulnerability, coastlines were mapped between 1975 and 2018 to obtain medium-term coastline displacement rates. Two field studies were also carried out to collect information and also to identify the current conditions of erosion in the municipality. In addition, the evolution of the implementation of coastal defence structures was analyzed and the coastal transport in the municipality was calculated using the SMC-Brasil software. The results showed that on the beaches of Janga and southern part of the beach of Pau Amarelo there is a medium-term trend of erosion, while in the northern portion of the beach of Pau Amarelo and on the beach of Maria Farinha the trend is of progradation. It was also observed that even with the construction of coastal defence structures, in particular on the beaches of Janga and Pau Amarelo, the erosion indicators are still present in the municipality, in addition to the fact that in a large part of the coast the beach does not present recreational conditions at high tide. Between the many kinds of coastal defence structures present in the municipality, such as seawalls, bagwalls, etc., the best results against erosion were obtained by the breakwaters, built on the beach of Janga, because they allowed a certain accumulation of sediments, forming tombolos. Global vulnerability indices have shown that the southern portion of the municipality is the most vulnerable to erosion, a vulnerability that decreases to the north, especially on the beach of Maria Farinha, with the exception of a stretch on this beach where vulnerability is maximum, apparently caused by an irregular occupation on the beach. The coastal transport along the entire municipality is to the north, which seems to corroborate with the idea that the chronic erosion of Paulista is related to the presence of the port of Recife, which has already long triggered erosive processes in Olinda. Possibly also, the coastal erosion defence structures of Olinda aggravate erosion in the municipality of Paulista. Despite the strong anthropic factor causing erosive processes in Paulista, the partial vulnerability index associated with anthropic influence was low, which indicates a weakness in the method of calculating the index, although the overall result was satisfactory.

KEYWORDS: Coastal Management. Coastal Erosion. Erosion Vulnerability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da Área de Estudo	31
Figura 2- Pontos de coleta por setor praial.....	35
Figura 3- Marcação do ponto DOW na área de estudo	37
Figura 4- Rosa direcional de direção e altura de onda para a área de estudo.....	47
Figura 5- Rosa direcional de direção e período de onda para a área de estudo.....	47
Figura 6- Transporte sedimentar potencial médio anual por perfil. É apresentado também a direita a numeração dos pontos de coleta.....	48
Figura 7- Espacialização das linhas de costa dos anos 1975, 1985, 1995, 2012 e 2018 na Praia do Janga e fotografias dos pontos descritos nas campanhas de campo.....	51
Figura 8- Espacialização das linhas de costa dos anos 1975, 1985, 1995, 2012 e 2018 na Praia de Pau Amarelo e fotografias dos pontos descritos nas campanhas de campo.....	52
Figura 9- Espacialização das linhas de costa dos anos 1975, 1985, 1995, 2012 e 2018 na Praia de Maria Farinha e fotografias dos pontos descritos nas campanhas de campo.....	53
Figura 10- Taxas de progradação e erosão para o período de 1975 a 2018, obtidos por transecto e representados no gráfico por pontos de coleta.....	54
Figura 11- Espacialização das Obras Costeiras no município de Paulista-Pernambuco ao longo dos anos de 1975, 1985, 1995, 2012 e 2018	57
Figura 12- O desaparecimento da faixa praial ao longo dos anos e a volta da vista para o mar do Forte de Pau Amarelo.....	58
Figura 13- Construção da barreira de coqueiros sobre o estirâncio para a proteção da propriedade particular frente aos processos erosivos.....	59

Figura 14- Trechos da linha de costa do Município de Paulista – Pernambuco em erosão, estabilidade e acumulação, segundo indicadores atuais, na presença e ausência de obras, cuja distribuição espacial também está representada na figura.	61
Figura 15- Condições Morfológicas do Litoral de Paulista/PE.....	64
Figura 16- Diâmetro Médio do Grão ao longo do litoral do município de Paulista/PE.....	65
Figura 17- Mapeamento das faixas de recifes de arenito paralelos à costa no Município de Paulista/PE	66
Figura 18- Espacialização dos Setores Recreativos e Não Recreativos na Maré Alta, Largura da Zona de Surfe ao longo do Litoral de Paulista/PE	68
Figura 19- Espacialização dos pontos com Indicadores de Erosão, Acumulação e dos trechos em Erosão, Estabilidade e Progradação com base em estudo de comportamento de linha de costa de médio prazo.	71
Figura 20-Espacialização do Grau de Urbanização e a posição em relação à Praia em que a primeira faixa de construções está assentada e apresentado também as obras costeiras presentes no litoral.....	75
Figura 21- Caracterização do local onde está assentada a primeira faixa de construções em relação à praia.....	76
Figura 22- Influência de cada Índice Parcial de Vulnerabilidade (IPV) sobre a Praia do Janga. Os Índices Parciais de Vulnerabilidade (IPVs) estão divididos em 5: Índice Parcial de Vulnerabilidade à Condições Morfológicas (IPVMC), Índice Parcial de Vulnerabilidade à Atributos Naturais (IPVAN), Índice Parcial de Vulnerabilidade à Influência Marinha (IPVIM), Índice Parcial de Vulnerabilidade à Processos Costeiros (IPVPC) e o Índice Parcial de Vulnerabilidade à Influência Antrópica (IPVIA).	77

Figura 23- Influência de cada Índice Parcial de Vulnerabilidade (IPV) sobre a Praia de Pau Amarelo. Os Índices Parciais de Vulnerabilidade (IPVs) estão divididos em 5: Índice Parcial de Vulnerabilidade à Condições Morfológicas (IPVMC), Índice Parcial de Vulnerabilidade à Atributos Naturais (IPVAN), Índice Parcial de Vulnerabilidade à Influência Marinha (IPVIM), Índice Parcial de Vulnerabilidade à Processos Costeiros (IPVPC) e o Índice Parcial de Vulnerabilidade à Influência Antrópica (IPVIA). 77

Figura 24- Influência de cada Índice Parcial de Vulnerabilidade (IPV) sobre a Praia de Maria Farinha. Os Índices Parciais de Vulnerabilidade (IPVs) estão divididos em 5: Índice Parcial de Vulnerabilidade à Condições Morfológicas (IPVMC), Índice Parcial de Vulnerabilidade à Atributos Naturais (IPVAN), Índice Parcial de Vulnerabilidade à Influência Marinha (IPVIM), Índice Parcial de Vulnerabilidade à Processos Costeiros (IPVPC) e o Índice Parcial de Vulnerabilidade à Influência Antrópica (IPVIA). 78

Figura 25-Espacialização do grau de vulnerabilidade à erosão costeira através dos pontos de coleta nos seus respectivos setores praias. 81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Variáveis utilizadas em trabalhos de construção de índice de vulnerabilidade costeira e quantificação de trabalhos em que foram utilizadas.	29
Tabela 2- As Coordenadas geográficas dos 20 perfis estão em UTM Zona 25S. Tabela modificada SMC- Brasil.	38
Tabela 3- Descritores e pesos atribuídos às suas diferentes características, associados ao Índice Parcial de Vulnerabilidade à Morfologia Costeira (IPVMC).....	41
Tabela 4- Descritores e pesos atribuídos às suas diferentes características associados ao Índice Parcial de Vulnerabilidade a Atributos Naturais (IPVAN)	42
Tabela 5- Descritores e pesos atribuídos às suas diferentes características associados ao Índice Parcial de Vulnerabilidade à Influência Marinha (IPVIM).....	43
Tabela 6- Descritores e pesos atribuídos às suas diferentes características associados ao Índice Parcial de Vulnerabilidade a Processos Costeiros (IPVPC).....	43
Tabela 7- Descritores e pesos atribuídos às suas diferentes características associados ao Índice Parcial de Vulnerabilidade à Influência Antrópica (IPVIA).	44
Tabela 8- Relação entre os quartis e os graus de vulnerabilidade.....	45
Tabela 9- Transporte sedimentar potencial médio anual nos 20 perfis. Q significa transporte efetivo, Q+ indica transporte para sul e Q- evidencia transporte para norte.	49
Tabela 10- Valores encontrados para os índices parciais de vulnerabilidade, Índice Global de Vulnerabilidade (IGV) e Índice Global de Vulnerabilidade Relativa (IGVrel) por ponto de coleta. Os Índices Parciais de Vulnerabilidade (IPVs) estão divididos em 5: Índice Parcial de Vulnerabilidade associado à Morfologia Costeira (IPVMC), Índice Parcial de Vulnerabilidade associado a Atributos Naturais (IPVAN), Índice Parcial de Vulnerabilidade associado à Influência Marinha (IPVIM), Índice	

Parcial de Vulnerabilidade associado a Processos Costeiros (IPVPC) e o Índice Parcial de Vulnerabilidade associado à Influência Antrópica (IPVIA).	62
Tabela 11- Taxa anual de deslocamento da linha de costa com base em estudo de médio prazo e classificação correspondente.	72
Tabela 12-Valores dos IPVs médios de cada praia. Os Índices Parciais de Vulnerabilidade (IPVs) estão divididos em 5: Índice Parcial de Vulnerabilidade à Condições Morfológicas (IPVMC), Índice Parcial de Vulnerabilidade à Atributos Naturais (IPVAN), Índice Parcial de Vulnerabilidade à Influência Marinha (IPVIM), Índice Parcial de Vulnerabilidade à Processos Costeiros (IPVPC) e o Índice Parcial de Vulnerabilidade à Influência Antrópica (IPVIA).	76
Tabela 13- Tipificação do Grau de Vulnerabilidade da Área Costeira de Paulista- PE.....	79
Tabela 14- Valores dos Índices Globais de Vulnerabilidade (IGVs) e Índices Globais de Vulnerabilidade Relativo (IGVrel) obtidos para cada ponto no Litoral do Município de Paulista/PE, coloridos conforme o grau de vulnerabilidade, sendo a cor verde para baixo grau de vulnerabilidade, amarelo para moderado grau, laranja para alto grau e vermelho para o grau muito alto.	80

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Fatores geradores da erosão costeira segundo Dias (2005).	22
Quadro 2- Metodologia para a propagação das ondas até a costa.	36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 Objetivos.....	18
1.1.1 Objetivo Geral.....	18
2.2.1 Objetivos Específicos.....	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
2.1 Erosão Costeira.....	20
2.2 Obras de Engenharia Costeira e Erosão.....	22
2.3 Vulnerabilidade à Erosão.....	25
2.4 Índices de Vulnerabilidade.....	27
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	30
3.1 Aspectos Climáticos.....	32
3.2 Condições Oceanográficas.....	32
3.3 Hidrografia.....	33
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	34
4.1 Trabalho de Campo.....	34
4.2 O uso do Sistema de Modelagem Costeira (SMC-Brasil).....	36
4.3 Análise espaço-temporal da posição da linha de costa entre os anos de 1975 e 2018.....	39
4.4 Análise espaço-temporal das obras de engenharia costeira.....	40
4.5 Mapeamento dos segmentos de linha de costa que estão sofrendo erosão e progradação.....	40
4.6 Identificação dos fatores indutores da vulnerabilidade através da metodologia de Mallmann (2010).....	41
5 RESULTADOS.....	46
5.1 A caracterização do clima de ondas e o transporte dos sedimentos segundo o SMC.....	46
5.1.1 Descrição Anual do Clima de ondas.....	46
5.1.2 Transporte Sedimentar Potencial.....	46
5.2 Mudanças na posição da linha de costa entre 1975 e 2018.....	49
5.3 Análise Espaço-Temporal das Intervenções Antrópicas na Orla entre os anos de 1975 e 2018.....	55

5.4 Comportamento atual da linha de costa do município de Paulista-PE.....	59
5.5 Índices de Vulnerabilidade.....	62
5.5.1 Índice Parcial de Vulnerabilidade Associado à Morfologia Costeira (IPVMC)...	64
5.5.2 Índice Parcial de Vulnerabilidade Associado a Atributos Naturais (IPVAN).....	65
5.5.3 Índice Parcial de Vulnerabilidade Associado à Influência Marinha (IPVIM).....	67
5.5.4 Índice Parcial de Vulnerabilidade Associado aos Processos Costeiros (IPVPC).	69
5.5.5 Índice Parcial de Vulnerabilidade Associado à Influência Antrópica (IPVIA)....	73
5.6 A Influência de cada Índice Parcial de Vulnerabilidade em cada Setor.....	77
5.7 Índice Global de Vulnerabilidade (IGV).....	78
6 DISCUSSÃO.....	82
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	88
8 REFERÊNCIAS.....	90
APÊNDICE A- Planilha de Campo.....	98
APÊNDICE B- Tabela de Taxas da Regressão Linear (<i>Linear Regression Rate- LRR</i>) e a tendência do R ²	100
APÊNDICE C- Tabela de Variáveis.....	104
APÊNDICE D- Tabela de Valores.....	108

1 INTRODUÇÃO

O estudo dos arranjos espaciais é de grande complexidade, uma vez que a troca de energia e matéria pode ocorrer em escalas espaço-temporais variadas, sobretudo em ambientes onde a dinâmica superficial é intensa, como nas zonas costeiras. Ressalta-se que tais dinâmicas superficiais podem ser maximizadas pela interferência antrópica acarretando em modificações na fisionomia da paisagem (GRANJA e CARVALHO, 1995).

Os espaços urbanos, que se revelam como o *locus* da diversidade de relações socioeconômicas, são instáveis do ponto de vista ambiental, pois se constituem em locais de concentração de atividades comerciais, industriais, residenciais e de serviços. Essas atividades representam para os sistemas costeiros uma ameaça, tanto física quanto biológica, através da poluição, assoreamento e dragagem (DAVIDSON-ARNOTT, 2010).

A ocupação urbana, com imóveis residenciais e comerciais, tem se expandido na orla brasileira, já que estes espaços, antes ocupados por comunidades tradicionais, gradativamente, foram incorporados à economia de mercado, fazendo com que a especulação imobiliária se acentuasse, desencadeando um desequilíbrio na dinâmica da linha de costa, e, sobretudo, nas feições geomorfológicas (CABRAL *et al.*, 2014).

A zona costeira é definida como uma estreita faixa de contato da terra com o mar, na qual a ação dos processos costeiros se faz sentir de forma mais acentuada e potencialmente mais crítica à medida que efeitos erosivos ou deposicionais podem alterar a configuração da linha de costa (MUEHE, 2001).

A erosão costeira é normalmente caracterizada como uma ação natural que modela cotidianamente as feições litorâneas e apresenta um importante papel na morfologia desses ambientes (DOYLE *et al.*, 1984)

A vulnerabilidade à erosão costeira apresenta-se como um arranjo de variáveis ou atribuições que destacam uma maior fragilidade, passividade ou suscetibilidade em relação à incidência do fenômeno da erosão costeira, seja de origem antrópica ou natural (FANOS *et al.*, 1995).

O índice de vulnerabilidade é uma resultante construída por meio da extração de valores de inúmeras variáveis que tendem a caracterizar o ambiente estudado. Um dos indicadores de vulnerabilidade à erosão são as próprias marcas de erosão costeira nas construções, como quedas de blocos de concreto, afundamento dos calçadões, contato da água marinha com tubulações de esgotos, muitas vezes resultado da atuação antrópica agravada pela ausência de

um adequado ordenamento territorial (WICKER, 1966). A forte concentração demográfica marcada pela introdução de objetos fixos e ações nos ambientes costeiros gera uma sobrecarga que muitas vezes engrandece os processos erosivos tornando esses ambientes mais vulneráveis e ameaçando o ecossistema natural. Assim, a vulnerabilidade costeira à erosão não existe de forma isolada dos fatores sociais e econômicos da sociedade (RAYBOULD e MULES, 1999).

Segundo Manso *et al.* (2003) a erosão marinha no litoral pernambucano é um problema verificado em aproximadamente 1/3 das praias, sendo vários os fatores que contribuem para este processo, alguns relacionados às intervenções antrópicas, com destaque para a ocupação da orla do município de Paulista, objeto dessa investigação, e das áreas adjacentes à praia por meio da impermeabilização dos cordões marinhos arenosos holocênicos e até do pós-praia com alguns bares, residências e também com estruturas rígidas artificiais de proteção contra o processo erosivo situados no ambiente praiial (MANSO *et al.*, 2003).

Por essa razão, a identificação da vulnerabilidade à erosão, proporcionada por fatores físicos e antrópicos, podem dar um importante subsídio para orientar uma ocupação ordenada da orla costeira, inclusive, por meio da implementação de medidas preventivas e mitigadoras quanto às perspectivas futuras de subida do nível do mar, associadas ao aquecimento global.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Identificar a vulnerabilidade à erosão costeira no município de Paulista/PE, correlacionando os agentes da dinâmica natural com as intervenções antrópicas locais, em especial, no que diz respeito à ocupação urbana e à construção de infraestruturas de proteção costeira.

2.2.1 Objetivos Específicos

- A Caracterização do clima de ondas e o transporte dos sedimentos segundo o Sistema de Modelagem Costeira (SMC-Brasil);
- Realizar uma análise espaço-temporal da linha de costa e das intervenções antrópicas na orla desde a década de 1970 até 2019;

- Quantificar as taxas de erosão e progradação ao longo da linha de costa utilizando o *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS);
- Mapear as áreas do município de Paulista-PE que estão sofrendo erosão e progradação;
- Identificar os fatores indutores da vulnerabilidade, segundo a metodologia de Malmann (2010).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Erosão Costeira

Na interface costeira, a erosão é definida como um movimento da linha de costa em direção ao interior do continente. Esse fenômeno não implica necessariamente em destruição da praia arenosa, como o termo à primeira vista parece sugerir. Alguns autores (Cruz de Oliveira *et al.*, 2003; Dias, 2005) sugerem que em vez de “erosão” seja utilizado o termo “recuo da linha de costa”, haja vista que este último traduz de maneira mais fiel o que realmente acontece, isto é, a posição da praia simplesmente recua continente adentro durante este processo.

Estima-se que a erosão costeira ocorre em cerca de 70% das praias arenosas (ZHANG *et al.*, 2014) o que a torna, atualmente, um problema global. Em geral, ela é um processo indesejado, que se agrava em planícies costeiras baixas. Quando ocorre em áreas de ocupação humana, gera sérios prejuízos; quando a orla não é ocupada, seus prejuízos são menores.

Conforme o *Coastal Engineering Manual* (U.S. Army, 2002) a erosão é traduzida na retirada de sedimentos pela ação de forças naturais. No que tange às áreas praias, essa retirada se dá pelo trabalho das ondas, correntes de marés, correntes litorâneas, pelo vento (deflação), entre outros. É entendido pelo ponto de vista de Bird e Schwartz (1985) que a erosão costeira é um processo em que as perdas de sedimentos *alongshore*, *offshore* ou para a hinterlândia excedem os ganhos provenientes das fontes sedimentares. Portanto, a erosão se manifesta quando há ocorrência do balanço sedimentar negativo e caracteriza-se pelo recuo da linha de costa em direção ao continente (MALLMANN, 2010). A erosão é um mecanismo natural de ambientes dinâmicos. A mesma é um fenômeno complexo, uma vez que envolve a ação direta ou indireta de diversos fatores, tais como as características oceanográficas, geológicas e geomorfológicas, os tipos de solos, clima, vegetação, além da interferência humana que modifica as condições naturais dos fatores supracitados (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

A identificação das causas da erosão costeira (Quadro 1) tem sido frequentemente um exercício de adivinhação devido à falta de informações sobre a tendência de variação do nível do mar, do clima de ondas e da evolução da linha de costa (MUEHE, 2001).

As principais causas naturais da erosão costeira estão atreladas ao baixo aporte sedimentar provenientes do continente e que são transportados por canais fluviais, pela ausência da vegetação de restinga que tem papel fundamental na fixação de dunas e pela intensificação

das tempestades sobre os oceanos. Esses três mecanismos fazem com que haja uma predisposição à erosão nesses ambientes.

Com o processo histórico de urbanização nas áreas litorâneas, o ser humano se fincou nesses ambientes e os transformou em lugares atrativos. Segundo Muehe (2001) a ocupação da orla vem se fazendo em diferentes graus de intensidade que, por ventura, acaba não obedecendo as normas que pontuam o distanciamento necessário em relação à praia. Estas irregularidades acabam provocando a perda de bens materiais durante tempestades extremas, e serão potencializadas no cenário das mudanças climáticas para as próximas décadas. Desse modo, a ocupação inadequada em áreas vulneráveis, estimulada pelo desenvolvimento de atividades socioeconômicas, têm desencadeado e/ou acelerado processos erosivos ao longo da costa (WISNER *et al.*, 2004). Diante da referida complexidade, é verificado que ao longo do século XX, a amplificação da erosão costeira se somou à intensificação da construção no litoral. O resultado desses fenômenos foi a geração de problemas cuja resolução é extremamente difícil, ou mesmo, em muitos casos impossível, com consequências econômicas, sociais e ambientais de magnitude extremamente elevada (DIAS *et al.*, 2005). De acordo com Gillie (1997), as causas do problema de erosão costeira induzidas pelo homem incluem, dentre outras, a mineração em rios e em regiões adjacentes às praias, construções de estruturas rígidas na costa ou próximo a ela, assim como na construção de barragens. Podem contribuir para o processo de erosão também a subsidência, seja ela de origem antrópica, causada pela exploração mineral, seja de origem natural, como a de origem tectônica ou por compactação sedimentar (WINGE *et. al.* 2001).

No Quadro 1 estão sintetizados alguns dos fatores geradores de erosão costeira, segundo Dias (2005):

Quadro 1- Fatores geradores da erosão costeira segundo Dias (2005).

CAUSAS NATURAIS DA EROSIÃO COSTEIRA		CAUSAS ANTRÓPICAS DA EROSIÃO COSTEIRA	
1	Dinâmica de circulação costeira: presença de zonas de barlamar ou centros de divergência de células de deriva litorânea em determinados locais mais ou menos fixos da linha de costa (efeito "foco estável").	7	Inversões da deriva litorânea resultante causada por fenômenos climáticos-meteorológicos intensos : sistemas frontais, ciclones extratropicais e a atuação intensa do <i>El Niño</i> .
2	Morfodinâmica praial: praias intermediárias têm maior mobilidade e suscetibilidade à erosão costeira, seguidas das reflexivas de alta energia, dissipativas de alta energia, dissipativas de baixa energia e ultradissipativas.	8	Elevações do nível relativo do mar de curto período devido a efeitos combinados da atuação de sistemas frontais e ciclones extratropicais, marés astronômicas de sizígia e elevações sazonais do nível do mar, resultando nos mesmos processos da elevação do nível do mar de longo prazo.
3	Aporte sedimentar atual naturalmente ineficiente ou ausência de fontes de areias.	9	Efeitos atuais da elevação do nível relativo do mar durante o último século, em taxas de até 30 cm: forte erosão com retrogradação da linha de costa.
4	Fisiografia Costeira: irregularidades da linha de costa (mudanças bruscas na orientação, promontórios rochosos e cabos inconsolidados) dispersando as correntes e sedimentos para o largo; praias que recebem maior impacto de ondas de maior energia.	10	Efeitos secundários da elevação de nível do mar de longo período: Regra de Bruun e migração do perfil praial rumo ao continente.
5	Presença de amplas zonas de transporte ou trânsito de sedimentos (<i>by-pass</i>) contribuindo para a não permanência dos sedimentos em certos segmentos de praia.	11	Evolução quaternária das planícies costeiras: balanço sedimentar de longo prazo negativo e dinâmica e circulação costeira atuante na época.
6	Armadilhas de sedimentos e migração lateral: desembocaduras fluviais ou canais de maré; efeito "molhe hidráulico", depósitos de sobrelavagem; obstáculos fora da praia (barras arenosas, ilhas, parcséis, arenitos de praia e recifes).	12	Balanço sedimentar atual negativo originado por processos naturais individuais ou combinados.
		13	Fatores Tectônicos: subsidências e soerguimentos da planície costeira.
14	Urbanização da orla, com destruição de dunas e/ou impermeabilização de terraços marinhos holocênicos e eventual ocupação da pós-praia.	15	Implantação de estruturas rígidas ou flexíveis, paralelas ou transversais à linha de costa: espigões, molhes de pedra, enrocamentos, piers, quebra-mares, muros, etc. Para "proteção costeira" ou contenção/mitigação de processos erosivos costeiros ou outros fins; canais de drenagem artificiais.
16	Armadilhas de sedimentos associadas à implantação de estruturas artificiais, devido à interrupção de células de deriva litorânea e formação de pequenas células.	17	Retirada de areia de praia por: mineração e/ou limpeza pública, resultando em déficit sedimentar na praia e/ou praias vizinhas.
18	Mineração de areias fluviais e desassoreamento de desembocaduras: dragagens em canais de maré e na plataforma continental: diminuição/perda das fontes de sedimentos para as praias.	19	Conversão de terrenos naturais da planície costeira em áreas urbanas (manguezais, planícies fluviais, lagunares, pântanos e áreas inundadas) provocando impermeabilização dos terrenos e mudanças do padrão de dragagem costeira (perda de fontes de sedimentos).
20	Balanço sedimentar atual negativo decorrente de intervenções antrópicas.		

Fonte- Dias (2005)

Como exposto no Quadro 1, o problema da erosão costeira é resultante de um conjunto de processos naturais e atividades humanas, evidenciando plenamente que a solução dos problemas encontrados nesses ambientes permeia as diretrizes de uso e ocupação do solo na zona costeira, trazendo à tona as discussões sobre o planejamento e a gestão de ambientes litorâneos por parte do poder público.

2.2 Obras de Engenharia Costeira e Erosão

As construções de obras de engenharia em regiões costeiras são recorrentes desde outrora. Abertamente, tentativas parecem ter sido feitas assim que os homens sedentários passaram a viver ao longo de regiões costeiras (CHARLIER *et al.*, 2005). Essas obras costeiras estão ligadas de forma direta às necessidades das atividades humanas, sendo capaz de manifestar variadas atribuições específicas e, de acordo com Alfredini e Arasaki (2009), podem ser agrupadas em duas principais categorias: a) Obras de Defesa do Litoral, que são técnicas

visando a preservação do litoral para com os processos erosivos provocados por processos hidrodinâmicos e b) Obras de Abrigo Portuário, que têm como objetivo a criação de uma bacia portuária protegidas das ondas através das construções dos quebra-mares, molhes, guias-correntes e espigões.

Atualmente, poucos problemas costeiros são mais complexos, menos entendidos e mais controversos do que o uso de estruturas de proteção à costa. Segundo Griggs (2005), a abundância de tais estruturas ao longo da costa sugere que elas são necessárias, mas os numerosos problemas associados a elas sugerem diferenças de opinião sobre tal necessidade.

Griggs (2005) pontua que nos últimos cinquenta anos a principal resposta aos riscos ao longo da linha de costa nos Estados Unidos tem sido a construção de espigões, muros ou enrocamentos. Essas construções têm sido usualmente realizadas apenas após a existência do risco para o desenvolvimento e infra-estrutura instalada na linha de costa. O fato é que a construção dessas obras é o resultado do desenvolvimento humano sobre áreas de risco (GRANJA e CARVALHO, 1995).

Obras de proteção da costa contra o avanço do mar tornaram-se uma grande preocupação de pesquisadores e governantes nos mais diversos países nas últimas décadas (CERC 1984; HSU e SILVESTER, 1990; GRANJA e CARVALHO, 1995; KAWAKAMI *et al.*, 1995; HANSON *et al.*, 2002; STAUBLE, 2003; PILARCZYK, 2003; HSU *et al.*, 2003; THOMALLA e VICENT, 2004; RANASINGHE e TURNER, 2006; HSU *et al.*, 2007; BRICIO *et al.*, 2008; FRIHY *et al.* 2008). Obras de proteção geram impactos ambientais que podem ser positivos ou negativos, isso porquê, elas são desenhadas para interagir com os processos dinâmicos naturais (FINKL, 2002). Elas podem falhar por conta de sua destruição física, por não atingirem o efeito desejado ou quando o custo inicial ou de manutenção extrapola o planejado (O'BRIEN, 1987). Por essa razão, antes de instalar essas obras, é necessário o entendimento e a quantificação dos processos costeiros, na tentativa de deduzir as potenciais mudanças da costa em diferentes cenários (CERC, 1984; FRIHY, 2001; FINKL, 2002; STAUBLE, 2003; THOMALLA e VICENT, 2004; GRIGGS, 2005, 2007; HSU *et al.*, 2007).

Inúmeros trabalhos de engenharia, para a proteção da costa, como a construção de muros de concreto, quebra-mares, enrocamentos e espigões têm se tornado bastante impopulares, principalmente por conta dos impactos negativos nas condições estéticas e das brutas modificações sobre o perfil de cada praia (LIZARRAGA-ARCINIEGA *et al.*, 2001;

RANASINGHE e TURNER, 2006). Qualquer estrutura rígida construída para proteger uma falésia, escarpa, duna ou praia apresenta muitos impactos estéticos.

Segundo Bruun (1995) as primeiras medidas defensivas para a proteção da costa foram a construção de espigões e/ou molhes. Os espigões são implantados de forma perpendicular à praia e quase sempre em linha reta com o intuito de interceptar a deriva litorânea, favorecendo a acumulação de sedimentos e atrasando a erosão da praia, enquanto os molhes são paredes rochosas destinados a proteger as embarcações presentes em portos das ondas (KAMPHUIS, 2000; SILVA, 2014). Porém, ao mesmo tempo em que elas mitigam o problema da erosão local, agravam o problema a sotamar das mesmas, uma vez que as obras construídas transversalmente à linha de costa bloqueiam os sedimentos transportados pela deriva litorânea (FRIHY, 2001).

Os muros (*seawall*) e enrocamentos são estruturas construídas ao longo da linha de costa com objetivo de evitar a retração da mesma (KRAUS e DOUGAL, 1996). A diferença entre um muro (*seawall*) e um enrocamento é que o primeiro é vertical e impermeável; enquanto o segundo não é tão alto e composto por rochas naturais ou artificiais que, em conjunto, apresentam um alto grau de permeabilidade entre um bloco e outro. Por outro lado, essas duas construções, podem evitar a recuperação da pós-praia por inibir a formação da berma pelo avanço das ondas de tempo bom ou a formação de dunas pela ação dos ventos (CARTER, 1988; MORTON, 1988). Usualmente são construídas em trechos da costa que experimentam processo erosivo crônico (KRAUS e DOUGAL, 1996).

A construção desses tipos de dispositivos estabelece um limite para o sistema praial que deixa de ter o seu recuo natural, além disso, em áreas sob erosão, elas promovem o estreitamento da praia (LIZARRAGA-ARCINIEGA, 2001) ou até mesmo o seu desaparecimento. Segundo Griggs (1999), esses muros são construídos para proteger propriedades e feições como dunas, escarpas ou falésias e não para proteger ou salvar uma praia pública. Muros geralmente sofrem sérios processos erosivos em sua frente por conta da retirada de sedimentos por correntes, podendo levá-los a destruição (FRIHY *et al.*, 2008).

Quebra-mares são estruturas construídas paralelamente e a certa distância da costa. Elas têm como objetivo atenuar a energia de onda, proporcionando a deposição de sedimentos em sua retaguarda, podendo ser tanto emerso quanto submerso (MANGOR, 2004).

Essas estruturas podem ser construídas isoladamente ou em série formando um sistema, dependendo do comprimento de linha de costa que se pretende proteger (BRICIO *et al.*, 2008).

A habilidade em criar áreas de deposição em sua retaguarda, sem interromper completamente o trânsito de sedimentos ao longo da costa faz da construção de quebra-mares destacados uma opção mais vantajosa na proteção e estabilização de praias do que outros métodos como muros e espigões (BRICIO *et al.*, 2008).

2.3 Vulnerabilidade à Erosão

Quando se trata de vulnerabilidade, diversos significados vêm à tona, a começar pela definição derivada de sua raiz latina "ferir", que é "capacidade de ser ferido" (KATES, 1985).

Wu *et al.* (2002) aludem que a vulnerabilidade é um conceito essencial na pesquisa em meio ambiente humano e que a definição deste conceito varia de acordo com o tópico que vem sendo discutido, seja ele sobre perigos, desastres ou avaliação de risco. Mesmo com essa diversidade, existem duas perspectivas dominantes na conceituação da vulnerabilidade: a exposição potencial a um risco físico, onde os estudos sob essa perspectiva enfocam as distribuições de condições perigosas e como elas afetam pessoas e estruturas; e a exposição como dada, buscando os diferentes padrões de perdas entre as pessoas afetadas e tendo para essa abordagem estudos que são concentrados na capacidade potencial do enfrentamento de indivíduos ou comunidades, incluindo a capacidade de suportar o efeito prejudicial de um perigo (resistência) e a capacidade de se recuperar rapidamente dos danos causados por um perigo (resiliência) (SUSMAN *et al.*, 1983; BOGARD, 1989; CHAMBERS, 1989; ANDERSON e WOODROW, 1991; WATTS e BOHLE, 1993; BLAIKIE *et al.*, 1994; BOHLE *et al.*, 1994; CHEN, 1994; YARNAL, 1994; HEWITT, 1997; CLARK *et al.*, 1998; WU *et al.*, 2002).

Segundo a *United Nations Disaster Relief Organization* - UNDRO (1982) a vulnerabilidade tem sido vista como uma medida de perda e como uma medida de exposição à perda e que com o passar dos tempos, houveram inúmeras dúvidas sobre o que seria a vulnerabilidade e o termo risco dentro da literatura. Timmerman (1981) menciona que esses termos são os dois lados da mesma moeda.

É importante notar que a diversidade de definições pode ser considerada como uma consequência primária do termo "vulnerabilidade" sendo usado em diferentes contextos de políticas, referindo-se a diferentes sistemas expostos e diferentes impactos (NGUYEN *et al.*, 2016). Assim, vários autores enfatizaram que o termo "vulnerabilidade" só pode ser

considerado significativamente com referência a uma situação vulnerável específica (BROOKS, 2003; LUERS *et al.*, 2003; DOWNING e PATWARDHAN, 2004; METZGER *et al.*, 2005; FÜSSEL, 2007; HINKEL e KLEIN, 2007).

Para Ionescu *et al.* (2005) a vulnerabilidade independe do domínio do conhecimento específico e do sistema de interesse, sendo apenas requerida para seu estudo a especificação de três conceitos primários: (a) a entidade da qual se deseja avaliar a vulnerabilidade; (b) o estímulo ao qual a entidade pode ser mais ou menos vulnerável; e (c) os critérios utilizados para analisar a interação entre entidade e estímulo (IONESCU *et al.*, 2005).

Para a vulnerabilidade à erosão costeira, Coutinho *et al.* (1997) pontuam que o grau deste tipo de vulnerabilidade está diretamente relacionado ao deslocamento da linha de costa, a estabilidade da praia, aos processos hidrodinâmicos, morfodinâmicos e sedimentares, as intervenções antrópicas e ao grau de urbanização.

Para Boruff *et al.* (2005), a vulnerabilidade é a soma de inúmeros fatores, sejam eles de cunho social, econômico e físico que refletem com mais precisão a vulnerabilidade à erosão costeira de um dado território. Esta conceituação se assemelha a metodologia de Mallmann (2010) tendo em vista que a autora utiliza em seus estudos uma malha de variáveis que se somam e por fim expressam uma condição para o objeto estudado.

A quantificação da vulnerabilidade à erosão costeira permite identificar riscos e áreas prioritárias para a concentração de estudos e para a realização de ações de manejo (CAPOBIANCO *et al.*, 1999). Trata-se, portanto, de uma poderosa ferramenta analítica na descrição de estados de suscetibilidade de sistemas físicos a danos, ferramenta esta, capaz de orientar e gerar ações no sentido de reduzir os riscos (ADGER, 2006).

Portanto, existe uma necessidade de avaliar a vulnerabilidade costeira aos impactos das mudanças climáticas e de inúmeras outras adversidades. Esses impactos são analisados por meio de metodologias que tendem a avaliar a vulnerabilidade, conforme amplamente sugerido pelo Painel Intergovernamental sobre a Mudança Climática (IPCC) desde seu relatório de metodologia (IPCC, 1991), dando a entender que é preciso considerar os aspectos biofísicos e sociais, e sua interação mútua, para definir adequadamente políticas de adaptação relevantes para o desenvolvimento sustentável. Essas metodologias têm sido amplamente utilizadas em pesquisas acadêmicas (ABUODHA e WOODROFFE, 2006; SUDHA RANI *et al.*, 2015) bem como para fins de gestão (PENDLETON *et al.*, 2007) sendo uma delas, a criação dos índices de vulnerabilidade.

2.4 Índices de Vulnerabilidade

Segundo o IPCC (2014), índice de vulnerabilidade é uma medida quantitativa da vulnerabilidade de um sistema e que normalmente tem proveniência da combinação, com ou sem ponderação, de vários indicadores assumidos como representativos para os estudos sobre vulnerabilidade.

Mahapatra *et al.* (2013) mencionam que o Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC) foi desenvolvido pela primeira vez por Gornitz e Kanciruk (1989) para as mudanças climáticas, principalmente, em relação ao aumento do nível do mar na costa dos Estados Unidos, considerando inundações e suscetibilidade à erosão. O método de obtenção do IVC produz dados numéricos que não podem ser vinculados diretamente a efeitos físicos específicos, mas destaca os segmentos costeiros onde os efeitos da elevação do nível do mar podem ser maiores, ou seja, onde há maior chance de que mudanças físicas ocorrem quando o nível do mar subir (MAHAPATRA *et al.*, 2013). O objetivo dos índices costeiros é classificar as linhas costeiras em entidades uniformes com características semelhantes (KUMAR e KUNT, 2012).

Um índice de vulnerabilidade geralmente visa simplificar uma série de parâmetros complexos e interativos, representados por diversos tipos de dados para uma forma que seja mais facilmente compreendida e tenha muito mais utilidade como uma ferramenta de gerenciamento (NGUYEN *et al.*, 2016).

Por Garcia-Mora *et al.* (2001) percebe-se que não há acordo sobre quantas variáveis devem ser agrupadas em qualquer índice de vulnerabilidade. Dal Cin e Simeoni (1989) afirmam que quanto mais numerosas as variáveis, mais robusto ficará o índice. Essas afirmações podem ser discutidas de acordo com outros autores como Cooper e McLaughlin (1998) que consideraram que um bom índice seria com base na quantidade mínima de informações necessárias. Porém, a remoção de variáveis classificadas como 'redundantes' pode subestimar a vulnerabilidade da localidade estudada, principalmente, nas áreas costeiras em que as variáveis podem ter efeitos semelhantes.

Por Nguyen *et al.* (2016) é entendido que geralmente o desenvolvimento do índice de vulnerabilidade envolve estágios sequenciais, incluindo a seleção e a normalização de indicadores em uma escala comum e que são agregados a um valor final. Primeiro, o objetivo da seleção do indicador é escolher as variáveis (*proxies*) para as dimensões teóricas subjacentes da vulnerabilidade, compreendendo fatores físicos e sociais relacionados aos componentes das avaliações de vulnerabilidade. Em segundo lugar, é importante notar que a normalização dos dados para uma escala comum (comparável) sem unidade são geralmente usados para superar

problemas de indicadores com grandezas maiores terem maior influência do que aqueles que são medidos em grandezas menores (NGUYEN *et al.*, 2016). Finalmente, o estágio de agregação refere-se à maneira de combinar e transformar os indicadores ponderados no índice final utilizado (NGUYEN *et al.*, 2016); opções comuns incluem análise multicritério (TATE, 2013).

Hinkel (2011) salienta que os índices de vulnerabilidade devem indicar uma possibilidade, ou seja, algum estado que pode ou não acontecer no futuro (PATT *et al.*, 2008). O desenvolvimento de um índice de vulnerabilidade envolve a construção de um modelo indicador preditivo, baseado em um estado presente que vem sendo observado e que fornece uma compreensão sobre possíveis estados futuros (NGUYEN *et al.*, 2016). Contudo, Nguyen *et al.* (2016) mencionam que o índice é, por definição, simples e independente do tempo, não fornecendo informações sobre quando ocorrerão danos no futuro.

Para com isso, foram inventariados cerca de 115 estudos sobre questões costeiras nos mais variados formatos e idiomas. Porém, desses 115 só foram usados 24 estudos que trabalhavam o espectro social- físico-econômico situado em áreas costeiras.

Os 24 estudos foram aplicados em escalas Regionais e Locais espalhados por todos os continentes, sendo assim: 08 estudos foram feitos na América do Norte (GORNITZ *et al.*, 1989; GORNITZ *et al.*, 1997; BUSH *et al.*, 1999; THIELER *et al.*, 2000; WU *et al.*, 2002; FLAX *et al.*, 2002; BORUFF *et al.*, 2005; PENDENTLON *et al.*, 2007.); 04 estudos foram feitos na América do Sul (DIEZ *et al.*, 2007; MALLMANN *et al.*, 2010; NICOLODI *et al.*, 2011; SOUSA *et al.*, 2012); 01 estudo foi feito na América Central (CPACC, 2009.); 05 estudos foram feitos na Ásia (DWARAKISH *et al.*, 2009; ARUN *et al.*, 2012; MURALI *et al.*, 2013; ZHANG *et al.*, 2014.); 05 estudos foram feitos entre Europa e África (DAL CIN *et al.*, 1994; NICHOLLS *et al.*, 1999; CAPOBIANCO *et al.*, 1999; GARCIA-MORA *et al.*, 2001; TORRESAN *et al.*, 2012); 02 estudos foram feitos na Oceânia (SHARPLES, 2006; MORENO *et al.*, 2009).

Através desses 24 estudos, foram extraídas 78 variáveis (Tabela 1) presentes nesses trabalhos e análises sobre a vulnerabilidade à erosão em áreas costeiras.

Neste trabalho, adotaremos o índice de vulnerabilidade proposto por Mallmann *et al.* (2010) em seu trabalho intitulado “Vulnerabilidade do Litoral Sul de Pernambuco à Erosão”. Como será visto na metodologia, esse índice é composto por inúmeros descritores, relativos a diferentes aspectos do ambiente: condições morfológicas, atributos naturais, influência marinha, processos costeiros e influência antrópica.

Tabela 1- Variáveis utilizadas em trabalhos de construção de índice de vulnerabilidade costeira e quantificação de trabalhos em que foram utilizadas.

Variáveis	Quantidade	Variáveis	Quantidade	Variáveis	Quantidade
Geomorfologia (Topografia)	18	Topografia do Piso Oceânico (Batimetria)	4	Afloramento Rochoso	2
Taxa anual de Deslocamento da Linha de Costa	14	Subsidência	4	Diâmetro Médio do Grão	2
Aumento do nível do mar	12	Desembocaduras de Rios	4	Recuo de Barreiras Arenosas	2
Altura das Ondas	11	Zona de Risco	4	Potencial Poluidor	2
Taxa de Crescimento Demográfico	10	Idade	4	Asiáticos e Imigrantes	2
Risco de Inundação	9	Pobreza	4	Raça e Gênero	2
Obras Rígidas	8	Renda	4	Primeira Faixa de Construção	2
Indicadores de Erosão/Acumulação Marinha	8	Costa Lamacenta	3	Dicotomia Rural/ Urbana	2
Densidade de Desenvolvimento	8	Ondas de Tempestade	3	Costa Cascalhenta	1
Perfil Litorâneo com Declive Acentuado/Suave	7	Costa Arenosa	3	Energia das Ondas	1
Modificação de costas estuarinas/deltaicas/lamacentas e baixas	7	Deltas	3	Maré de Tempestade	1
Manguezal	7	Alcance das Marés	3	Correntes de Marés	1
Tipo de Orla	6	Barreiras Arenosas	3	Grau de Erosão	1
Recifes Paralelos à Costa	6	Geologia	3	Deriva Oceânica	1
Dunas	6	Agricultura/Pecuária	3	Plataforma Costeira	1
Biodiversidade	6	Habitações de Aluguel	3	Padrão de Erosão	1
Variações de Marés	5	Transporte de Sedimentos	3	Inclinação do Pós-Praia	1
Mudanças Climáticas	5	Declínio da População	3	Praia Recreativa	1
Encosta Costeira	5	Costa Rochosa	2	Tipo de Arrebentação	1
Habitações	5	Costa Artificial	2	Largura da Zona de Surf	1
Infraestrutura de Emprego	5	Frequência de Ondas	2	Atividades de Extração	1
Áreas Turísticas	5	Largura da Costa	2	População Étnica	1
Intervalos de Marés	4	Taxa de Erosão	2	Risco Tecnológico	1
Vento	4	Largura do Pós-Praia	2	Coleta de lixo	1
Tempestade	4	Promontórios	2	Saneamento Básico	1
Faixa de Marés	4	Urbanização na Faixa de Praia	2	Eletricidade	1

Fonte- O Autor (2020)

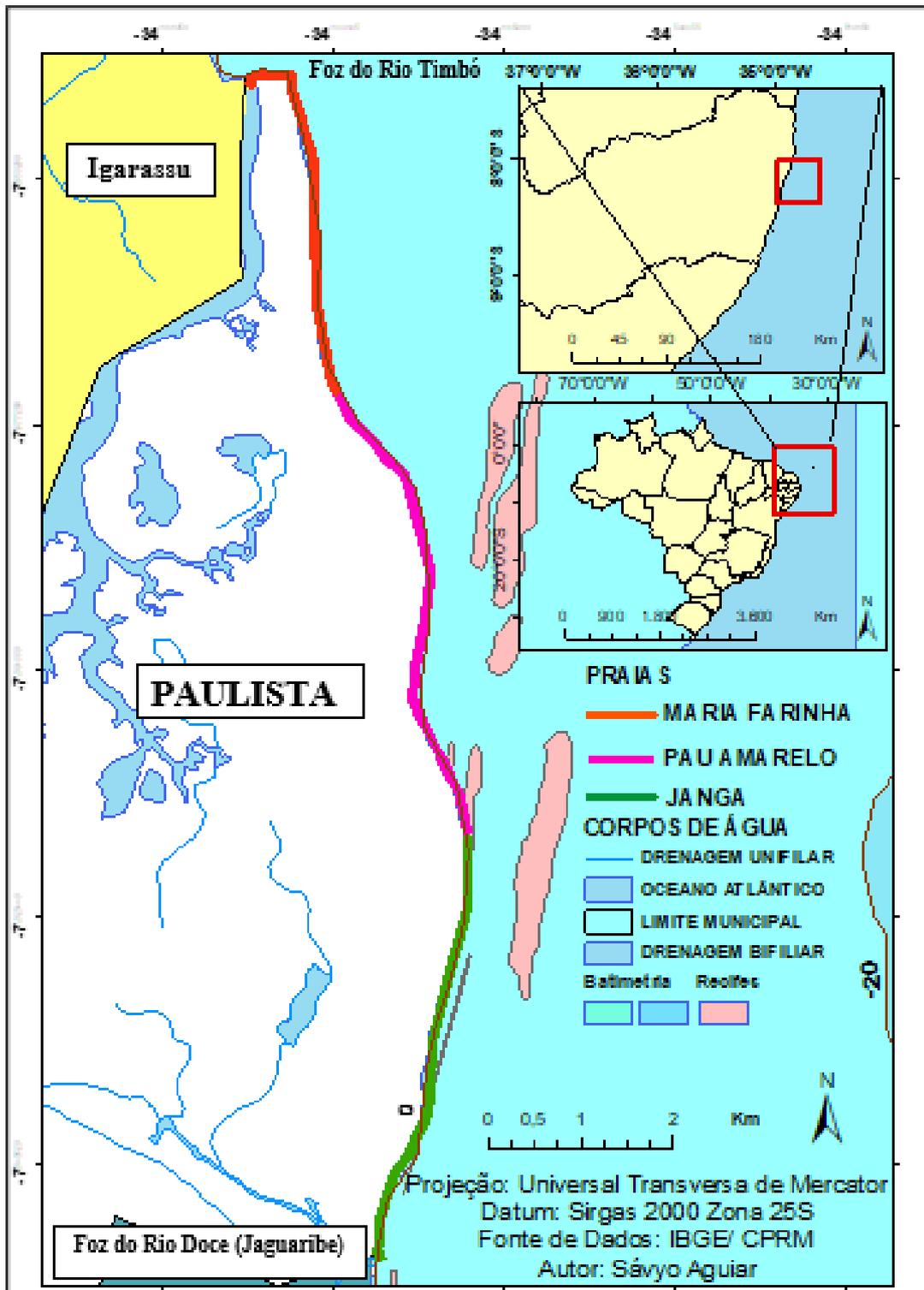
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A cidade de Paulista (Figura 1) é um dos municípios que compõem a Região Metropolitana de Recife, distando cerca de 20 km a nordeste da capital de Pernambuco.

A população total do município é de 300.466 habitantes, tendo densidade demográfica de 3.087,66 habitantes/km² (IBGE, 2010). O Seu litoral é formado pelas praias de Janga, Pau Amarelo e Maria Farinha. Ao longo dos últimos 50 anos a cidade sofreu uma grande expansão demográfica, fato que contribuiu para a instalação de diversos problemas ambientais, entre eles os processos erosivos em todo o litoral.

Segundo Silva (2014), o levantamento censitário de 2010 informou que nos bairros adjacentes às praias do município de Paulista têm um total de 84.254 habitantes; isto é, 28% do total da população do município de Paulista mora nos bairros adjacentes à praia. A faixa costeira deste município apresenta cerca de 14.468m de extensão e é composta basicamente por residências fixas e de veraneio, monumentos históricos, empreendimentos turísticos e comerciais e uma fábrica de cimento (SILVA, 2014).

Figura 1 - Localização da Área de Estudo



Fonte- Modificado IBGE/CPRM(2020)

3.1 Aspectos Climatológicos

O clima que predomina na área de estudo é quente e úmido correspondendo ao clima tropical úmido com estação chuvosa de outono – inverno (As' segundo a classificação de Köppen). A precipitação pluviométrica varia entre 1.000 e 2.000 mm/ano, tendo média superior de 1.700 mm por ano, e se concentra nos meses de abril a junho (SILVA, 2014). A média anual da temperatura atmosférica é de 26°C e a amplitude térmica anual é de 5°C. Dezembro, janeiro e fevereiro são os meses mais quentes, onde a temperatura alcança os valores entre 27°C e 28°C. Os meses considerados mais frios são os de julho e agosto, embora apresentem temperaturas médias em torno de 24°C (INMET, 2014).

O estado de Pernambuco tem sua faixa costeira caracterizada por baixas pressões atmosféricas e ventos alísios com velocidades médias variando de 6,1 a 9,3 nós, oriundos de leste-sudeste nos meses de abril a setembro, e de leste-nordeste de outubro a março (SILVA, 2014).

3.2 Condições Oceanográficas

Ao largo da costa de Pernambuco, as ondas de água profunda têm direção E-SE, têm altura média de 1,0 a 1,5 metros e período de 5 a 7 segundos (HOGBEN e LUMB, 1967; U.S. NAVY, 1978; DOMINGUEZ *et al.*, 1992). Na área do porto do Recife, o Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias (INPH) registrou que a altura significativa da onda excedeu 1,0 metro durante 81% do ano. A variação na altura entre a primavera, verão e outono, não foi significativa, apenas no inverno as condições foram mais severas, com altura significativa passando a 2,5 metros.

Para o Estado de Pernambuco e principalmente na área estudada, a deriva litorânea tem sentido predominante Sul/Norte. Observações ao longo do litoral revelam que as restingas estão alinhadas e se desenvolvem nesse sentido, corroborando esse sentido de transporte (Almeida, 2011).

Ao longo da costa pernambucana, o regime de marés é semi-diurno com oscilação máxima de 2,8m de amplitude (PORTO NETO, 1998).

3.3 Hidrografia

A cidade de Paulista é cortada pelo Rio Timbó na direção oeste-leste até o início do estuário quando corre na direção nordeste até a sua desembocadura entre Nova Cruz e a praia de Maria Farinha (Figura 1). Forma um estuário com aproximadamente 1.397 hectares que abriga uma expressiva vegetação. Durante seu percurso até a desembocadura corta as formações Barreiras, Beberibe e Gramame (FIDEM, 1987). Sua rede de drenagem é do tipo dendrítica, apresenta quase 15 km de vias navegáveis em preamar, com largura no baixo e médio curso variando de 250 a 300 metros e sua foz tem cerca de 200m de largura (FIDEM, 1980). Na maré alta, expõe ampla superfície líquida, com profundidades mínimas de 2m e máximas de 8m (FIDEM, 1987). De acordo com a CPRH (2003) este rio apresenta uma pequena vazão estimada em cerca de 0,20 m³/s, sendo seu estuário de planície costeira dominado por marés é, portanto, um estuário bem misturado, sem estratificação de águas (COSTA e MACEDO, 1989).

O outro rio que atravessa a cidade é o Rio Doce-Paratibe que nasce na divisa dos municípios de Paudalho, Camaragibe e Paulista. Segue a direção oeste-leste da nascente até sua desembocadura na divisa entre os municípios de Paulista e Olinda (Figura 1). O Rio Doce-Paratibe e seus tributários sofrem a ação contínua de aterros e da poluição por resíduos de origem doméstica e industrial (matadouro, abatedouros de aves, indústrias têxteis entre outras) ocasionando a destruição da fauna fluvial, sobretudo no baixo curso desse rio, além de contribuir para a má qualidade da água das praias contíguas à desembocadura do mesmo. Este rio também forma um estuário que atualmente encontra-se bastante degradado devido à pressão urbanística que ocasiona inúmeros aterros e o desmatamento da vegetação de mangue (CPRH, 2003).

Em todo o setor da Praia de Pau Amarelo, foram contabilizados cinco canais de efluentes domésticos que em outrora, eram riachos e pequenos rios, mas que hoje estão retilíneos com suas margens concretadas, diminuindo o aporte e o transporte de sedimentos continental em direção a faixa de praia.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para identificar a vulnerabilidade costeira à erosão no município de Paulista/PE e procurar compreender os processos envolvidos na dinâmica da linha de costa diversas metodologias foram utilizadas: i) as idas ao campo serviram para identificar trechos em erosão recente e com obras de engenharia e sobretudo para caracterizar cada ponto da praia quanto aos descritores necessários para o cálculo de um índice de vulnerabilidade; ii) o programa SMC-Brasil foi utilizado para caracterizar a hidrodinâmica local; iii) a análise espaço-temporal da posição de linha de costa entre os anos de 1975-2018 foi utilizada para estudar o comportamento da linha de costa de médio prazo; iv) a análise espaço-temporal das obras de engenharia costeira teve por objetivo compreender o papel das obras para o processo erosivo atual; v) o mapeamento dos trechos em erosão e progradação teve por finalidade fazer um diagnóstico da atual situação do município; vi) a identificação dos fatores indutores da vulnerabilidade segundo a metodologia de Malmann (2010) teve por objetivo diferenciar para cada segmento da praia, aquele conjunto de características mais importantes para explicar o processo erosivo verificado.

4.1 Trabalho de Campo

Para obtenção de dados primários, foram feitos caminhamentos *in loco* nas praias do Janga, Pau Amarelo e Maria Farinha com as seguintes finalidades: i) coletar os dados necessários para o cálculo do índice de vulnerabilidade, ii) observar as intervenções antrópicas sobre a orla, não somente no quesito de ocupação urbana, mas também, no que diz respeito à construção de obras rígidas de engenharia costeira, iii) observar os setores em erosão ou progradação recente.

As observações de campo foram realizadas ao longo de toda a linha de costa, mas a coleta dos dados para o cálculo do índice de vulnerabilidade foi realizada a cada 500m, totalizando 29 pontos de observação (Figura 2). Em cada ponto foi preenchido um formulário de campo (APÊNDICE A) no qual constavam as variáveis consideradas no cálculo dos índices de vulnerabilidade.

Os caminhamentos foram feitos em dois momentos diferentes do ano: outubro/2018 (final do inverno) e março/2019 (final do verão). Exceto naquelas situações que a variável era influenciada pelo momento da maré, não foram verificadas diferenças entre as duas campanhas,

razão pela qual optou-se por fazer o cálculo do índice de vulnerabilidade apenas com os dados da campanha outubro/2018 que foi realizada na situação de maré baixa.

Figura 2- Pontos de coleta por setor praial.



Fonte- O autor (2020)

4.2 O uso do Sistema de Modelagem Costeira (SMC-Brasil)

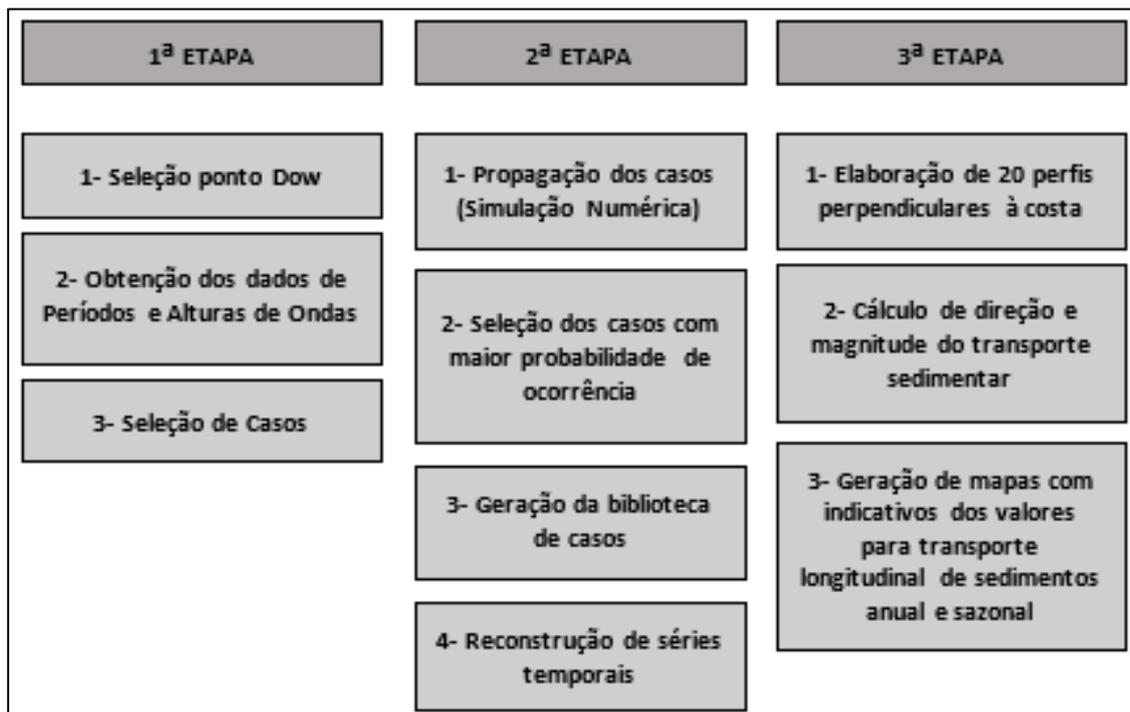
Para a realização da caracterização do clima de ondas e cálculo do transporte litorâneo da área de estudo utilizou-se o programa SMC-Brasil. Este programa foi criado e desenvolvido por pesquisadores do Instituto de Hidráulica Ambiental da Cantábria (IH-Cantabria), localizado na Universidade da Cantábria (Espanha).

Este programa contém uma base de dados de batimetria e de clima de ondas em séries de longa duração - 60 anos, de 1948 a 2008, em intervalo horário para o litoral do Brasil associada a um conjunto de modelos numéricos, que permitem realizar análises em escala de curto, médio e longo prazo do comportamento da linha de costa no país (CAMUS *et al.*, 2013).

Visando alcançar os resultados da modelagem de ondas, utilizou-se a própria base de dados batimétricos do módulo IH-DATA (BACO) pertencente ao SMC-TOOLS. O módulo mencionado é um dos vários módulos que podem ser encontrados na interface do SMC-Brasil. Os dados batimétricos utilizados são provenientes das cartas náuticas brasileiras (IH-CANTÁBRIA, 2013).

Para caracterizar o clima de ondas e calcular o transporte litorâneo foram seguidas as etapas apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2- Metodologia para a propagação das ondas até a costa.

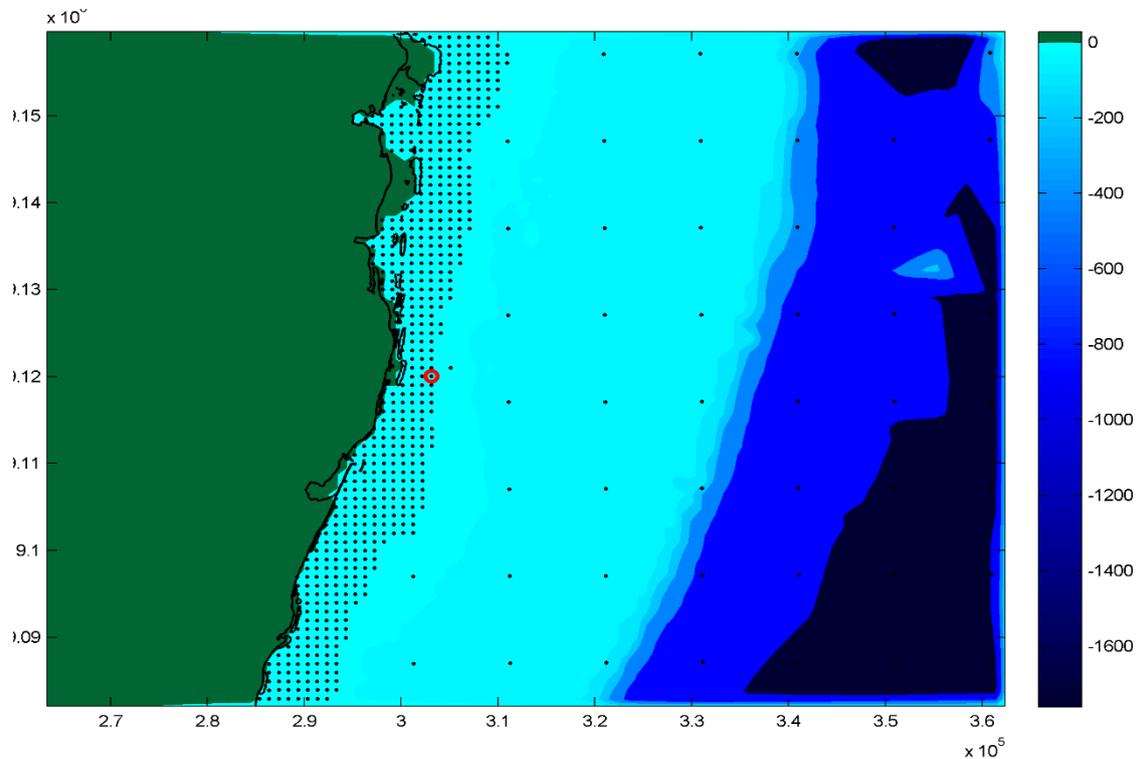


Na primeira etapa, no módulo AMEVA do programa, foi selecionado um ponto DOW (abreviatura de *Downscaled Ocean Waves*) com cota batimétrica de 16,8 m, indicado na Figura 03, a partir do qual foi realizada a estatística do regime de ondas local. Após identificar as frentes de onda mais frequentes na região, foram criadas duas malhas para a propagação de ondas com direção Leste (E) e Sudeste (SE).

Na segunda etapa, todos os dados foram levados para o módulo MOPLA 3.0 do SMC-Brasil, onde foram realizadas as propagações dessas frentes de onda até a linha de costa, sendo considerados 100 casos para propagação.

A terceira etapa teve início com a elaboração de vinte perfis perpendiculares ao longo da linha de costa estudada (Tabela 2 e Figura 6) com o intuito de calcular para cada um deles a direção e a magnitude do transporte sedimentar potencial, que foi calculado a partir da formulação do *Coastal Engineering Research Center (CERC)* (USACE, 2002). Através desses perfis, foram gerados pelo SMC os mapas que indicam os valores para o transporte longitudinal de sedimentos, tanto o anual, como também, o sazonal.

Figura 3- Marcação do ponto DOW na área de estudo



Fonte- Sistema de Modelagem Costeira (SMC- BRASIL)

Tabela 2- As Coordenadas geográficas dos 20 perfis estão em UTM Zona 25S. Tabela modificada SMC- Brasil.

Perfil	X₀ (m)	Y₀ (m)
1	298041,99	9119016,73
2	298075,96	9119441,29
3	298194,84	911989,33
4	298339,19	9120451,75
5	298415,61	9120859,33
6	298729,78	9121351,82
7	298695,82	9121827,33
8	298874,14	9122387,75
9	298968,14	9122963,15
10	299053,06	9123727,36
11	299104,00	9124542,52
12	298840,77	9125315,23
13	298681,15	9126041,90
14	298791,54	9126848,57
15	298732,10	9127544,85
16	298468,87	9128275,10
17	298143,99	9128789,78
18	297770,37	9129384,16
19	297668,48	9129936,09
20	297294,86	9132500,45

Fonte-SMC-Brasil

4.3 Análise espaço-temporal da posição da linha de costa entre os anos de 1975 e 2018

A análise espaço-temporal visa analisar e identificar as modificações espaciais, paisagísticas e territoriais de um dado lugar ao longo do tempo. Essas modificações podem ser de cunho natural ou antropogênico.

A fim de identificar as mudanças na posição da linha de costa da área de estudo, foram georreferenciadas imagens aéreas com escala de 1:25.000 referentes aos anos de 1975, 1985, 1995, 2012 e 2018 que foram cedidas de forma gratuita pela Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco (CONDEPE/FIDEM). Logo após o georreferenciamento, todas as cinco linhas costeiras foram mapeadas entre a vegetação e a faixa de areia. Para as localidades que não apresentavam vegetação, as linhas foram marcadas entre o pós-praia e atrás do pós-praia. Segundo Gelfenbaumt *et al.* (2003), a linha de vegetação é um bom geoindicador da variação da linha de costa, embora o desmatamento possa afetar consideravelmente a análise.

Para calcular a taxa de variação da posição da linha de costa para o período entre 1975 e 2018, foi utilizado o *plug-in Digital Shoreline Analysis System (DSAS)* presente no *software ArcGis*. Todo o manuseio foi feito com a licença do Núcleo de Estudos Hidrogeológicos e do Meio Ambiente (NEHMA), situado no Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, em Salvador. No DSAS foram criados 269 transectos, distantes 50m um do outro, perpendiculares à linha de costa, que funcionaram como linha de referência para a mensuração dos deslocamentos da linha de costa.

Calculou-se as taxas de erosão e progradação (APÊNDICE B) para cada transecto pelo método da regressão linear (Linear Regression Rate-LRR) no qual a melhor medida é dada pela soma dos quadrados das diferenças (mínimos quadrados) entre as várias posições da linha de costa obtidas no tempo e medidas em vários trechos da praia. O método LRR calcula as taxas de recuo de linha de costa através de regressão linear. É um método que considera todos os anos para efeito de cálculo da taxa. Além de calcular de forma satisfatória as taxas de variação da linha de costa, possibilita identificar, através do coeficiente de determinação (R^2), a tendência do seu comportamento para médio prazo. O R^2 ou Coeficiente de Determinação reflete a relação entre os dados analisados. Se o R^2 é próximo de 1, significa que a correlação entre os dados é satisfatória. Nesse caso, mostra uma tendência de continuidade do processo atuante. Se o R^2 é próximo de 0, significa que a correlação entre os dados analisados não é satisfatória.

4.4 Análise espaço-temporal das obras de engenharia costeira

A análise espaço-temporal foi feita por meio das imagens aéreas dos anos de 1975, 1985, 1995, 2012 e 2018. Para os anos de 2018 e 2019 também foram feitos caminhamentos ao longo da área estudada.

4.5 Mapeamento dos segmentos de linha de costa que estão sofrendo erosão e progradação

O mapeamento dos segmentos de linha de costa em erosão e progradação foi feito através de duas metodologias, sendo: (i) produto direto da análise do *DSAS* e (ii) através dos pontos de controle marcados pelo caminhamento em outubro/2018 por meio da marcação de *waypoints* com ajuda de um *Global Positioning System (GPS)* de mão modelo *Garmin 60 CSx*, cujo erro máximo é estimado em 10m. Nos caminhamentos foram utilizados como indicadores de erosão muros ruídos, coqueiros e outras árvores caídas sobre a linha de costa e faixa de praia, raízes expostas, escarpas de erosão e afundamentos de calçadas por parte de danificações na base da estrutura de proteção costeira como os *bagwalls* e enrocamentos; como indicadores de acumulação a presença de tómbolos que fazem parte da formação das células no setor da Praia do Janga, e pontais arenosos.

Por meio da primeira metodologia foram obtidos resultados de médio prazo (décadas) Por meio da segunda metodologia, por sua vez, identificou-se a situação recente da linha de costa, permitindo avaliar a efetividade das obras de proteção à erosão costeira presentes no município. Indicativos de destruição dessas obras demonstram a inefetividade ou a provisoriedade da proteção oferecida pelas mesmas.

Com base nos indicadores de erosão e acumulação toda a extensão litorânea foi classificada em três classes distintas que representam o estado atual da linha de costa: as áreas que não apresentam geoindicadores de erosão nem acumulação foram classificadas como em “estabilidade”; as áreas que apresentam indicadores de erosão foram consideradas em “erosão” e as que apresentam indicadores de acumulação em “acumulação”. A fim de destacar o papel das obras costeiras nestes processos, levou-se em consideração a presença ou ausência destas obras, para dividir cada classe dessa em dois tipos: “na presença” ou na “ausência” de obras.

4.6 Identificação dos fatores indutores da vulnerabilidade através da metodologia de Mallmann (2010)

A presente metodologia consiste na avaliação semi-quantitativa da vulnerabilidade dos segmentos costeiros à erosão, tendo como intenção o estabelecimento de áreas prioritárias para a gestão costeira.

Segundo esta metodologia, dados qualitativos e quantitativos são codificados em pesos (1, 2 e 3) proporcionais à sua influência sobre a vulnerabilidade, compondo Índices Parciais de Vulnerabilidade (IPVs), associados a diferentes aspectos da praia (morfologia, atributos naturais, etc), que somados compõem um Índice Global de Vulnerabilidade (IGV).

A metodologia prevê cinco IPVs:

- O **Índice Parcial de Vulnerabilidade à Morfologia Costeira - IPVMC** (Tabela 3) é sustentado por uma variação de descritores atrelados às condições morfológicas da praia, que são (i) a tipologia da orla, segundo critérios propostos pelo Projeto Orla (Brasil, 2002); (ii) a largura do pós-praia, identificada logo após a crista da berma e medida com uma trena; (iii) a inclinação do pós-praia, medida através de um clinômetro; e (iv) o diâmetro médio do grão da face de praia, estimado em campo.

Tabela 3- Descritores e pesos atribuídos às suas diferentes características, associados ao Índice Parcial de Vulnerabilidade à Morfologia Costeira (IPVMC)

Descritores	Pesos		
	1	2	3
Condições Morfológicas			
Tipo de Orla	Abrigada	Semi-abrigada	Exposta
Largura da pós-praia	Ampla (> 70m)	Média (30- 70m)	Estreita (<30m)
Inclinação da pós-praia	Íngreme (>30°)	Moderada (5-30°)	Suave (<5°)
Diâmetro médio do grão	Areia Grossa (0,5-1mm)	Areia Média (0,25-0,5mm)	Areia Fina (0,125- 0,25mm)

Fonte - Mallmann (2010)

- O **Índice Parcial de Vulnerabilidade a Atributos Naturais - IPVAN** (Tabela 4) diz respeito à vulnerabilidade associada a atributos naturais da zona costeira, como: (i) a presença de recifes paralelos à costa que têm influência direta na diminuição da energia de onda em direção à faixa praial; (ii) a presença de manguezal que, assim como os recifes, age no papel de amenizar a vulnerabilidade à erosão costeira do local; (iii) a distância da foz de um rio ou canais que podem influenciar diretamente na faixa praial devido a sua alta dinamicidade; (iv) a presença de dunas ou cordões arenosos, que representam barreiras protetoras contra os processos erosivos gerados por grandes tempestades em forma de ressacas; (v) a presença de afloramentos rochosos na linha de costa, que acentuam a energia de ondas.

Tabela 4- Descritores e pesos atribuídos às suas diferentes características associados ao Índice Parcial de Vulnerabilidade a Atributos Naturais (IPVAN)

Descritores	Pesos		
	1	2	3
Atributos Naturais	1	2	3
Recifes paralelos à costa	Presente	-	Ausente
Manguezal	Presente	-	Ausente
Distância de foz de rios/ canais	Distante	Moderada (adjacências)	Próximo
Dunas ou cordões arenosos	Presente	-	Ausente
Afloramentos Rochosos	Ausente	-	Presente

Fonte - Mallmann (2010)

- O **Índice Parcial de Vulnerabilidade à Influência Marinha - IPVIM** (Tabela 5) se refere às características hidrodinâmicas e de como a sua influência pode interferir na configuração costeira. Os seguintes atributos são considerados: (i) a variação da maré, que torna o ambiente praial bastante dinâmico; (ii) o tipo de arrebentação baseada na classificação de Short (1999) que acaba influenciando nos processos morfodinâmicos da faixa praial; (iii) a largura da zona de surfe; (iv) a existência de uma praia recreativa na maré alta; e (v) a altura de onda. As informações para o descritor variação da maré foram

provenientes de trabalhos pré-existent (SILVA, 2014) e as demais informações obtidas através de observações em campo.

Tabela 5- Descritores e pesos atribuídos às suas diferentes características associados ao Índice Parcial de Vulnerabilidade à Influência Marinha (IPVIM)

Descritores	Pesos		
	1	2	3
Influência Marinha			
Variação da maré	Micro (<2m)	Meso (2-4m)	Macro (>4m)
Tipo de arrebentação	Deslizante	-	Mergulhante
Largura da zona de surfe	Ampla	Média	Estreita
Praia recreativa na maré alta	Sim	-	Não
Altura estimada da onda	< 0,5m	0,5 –1m	> 1m

Fonte - Mallmann (2010)

- O **Índice Parcial de Vulnerabilidade a Processos Costeiros - IPVPC** (Tabela 6) é referido aos processos atuais de erosão e acumulação identificados por meio dos indicadores observados durante os caminhamentos e às taxas de deslocamento da linha de costa, que foram obtidas no caso do presente trabalho a partir de fotografias aéreas dentro do intervalo de 1975-2018.

Tabela 6- Descritores e pesos atribuídos às suas diferentes características associados ao Índice Parcial de Vulnerabilidade a Processos Costeiros (IPVPC).

Descritores	Pesos		
	1	2	3
Processos Costeiros			
Indicadores de erosão	Ausentes	-	Presentes
Indicadores de Acumulação	Presentes	-	Ausentes
Taxa anual histórica de deslocamento da linha de costa*	> 0,5 m.ano-1	-0,5 a 0,5 m. ano-1	<-0,5 m. ano-1

* Dados obtidos a partir de fotografias aéreas (intervalo de 1975-2018).

Fonte - Mallmann (2010)

- O **Índice Parcial de Vulnerabilidade à Influência Antrópica - IPVIA** (Tabela 7) refere-se às interferências antrópicas na faixa de praia e adjacências, tendo em vista o uso de descritores, do tipo: (i) grau de urbanização na faixa de praia; (ii) os tipos de

construções presentes; (iii) o local onde a primeira faixa de construções está assentada; (iv) o crescimento demográfico; e (v) a presença de estrutura de proteção costeira. Todos os descritores foram identificados através dos caminhamentos ao longo do litoral, exceto a taxa do crescimento demográfico, que se baseou em informações pré-existentes por meio do Censo Demográfico do IBGE (2010).

Tabela 7- Descritores e pesos atribuídos às suas diferentes características associados ao Índice Parcial de Vulnerabilidade à Influência Antrópica (IPVIA).

Descritores	Pesos		
	1	2	3
Influência Antrópica			
Urbanização na Faixa de Praia	Baixa (<30%)	Moderada (30-70%)	Alta (>70%)
Tipo de construções	Casas	-	Prédios
Local onde a primeira faixa de construções está assentada	Atrás do pós-praia	Pós-praia	Praia
Estrutura de proteção costeira	Ausentes	-	Presentes
Taxa de crescimento demográfico**	<10%. ano-1	10 a 20%. ano-1	> 20%.ano-1

**Dados obtidos ou calculados a partir de informações pré-existentes

Fonte - Mallmann (2010)

De acordo com Mallmann (2010), para obter o resultado dos Índices Parciais de Vulnerabilidade (IPVs), os mesmos devem ser calculados separadamente, com base em Thieler e Hammar-Klose (2000), usando o algoritmo que consiste na raiz quadrada do produto das variáveis codificadas dividido pelo número de variáveis (Equação I).

$$(Equação I) \quad IPV = \sqrt{\frac{(v_1 * v_2 * v_3 * \dots * v_n)}{n}}$$

Onde: v= variável e n= número de variáveis.

Todos os IPVs de um mesmo ponto serão somados para resultar no Índice Global de Vulnerabilidade (IGV) (Equação II).

$$(Equação II) \quad IGV = \sum IPV_s$$

Segundo Mallmann (2010) a fim de expressar a vulnerabilidade em percentual em relação à máxima vulnerabilidade possível, pode ser gerado o IGV relativo (IGVrel), que é obtido dividindo-se os valores finais do IGV por um denominador comum, representado pelo somatório dos valores máximos possíveis de cada IPV, denominado Índice Global de Vulnerabilidade Máximo (IGVmax) (que é 28,41) e posteriormente multiplicado por 100 (Equação III).

$$(Equação III) \quad IGVrel = \frac{IGV}{IGV_{max}} \cdot 100$$

Após a obtenção do IGV de cada ponto, todos os resultados passaram pelo tratamento em quartis para dividir o grau de vulnerabilidade nas classes de vulnerabilidade baixa, moderada, alta e muito alta (Tabela 8).

Tabela 8- Relação entre os quartis e os graus de vulnerabilidade.

Intervalo	Grau de Vulnerabilidade
[Primeiro quartil (25%)]	Baixo
[Segundo quartil (50%)]	Moderado
[Terceiro quartil (75%)]	Alto
[Quarto quartil (100%)]	Muito Alto

Fonte- O Autor (2020)

Por fim, para estimar a prioridade para o gerenciamento costeiro por praia, calculou-se um Índice Global de Vulnerabilidade (IGV) médio para cada praia. Para isso, primeiro foi feita uma média de cada IPV por praia; em seguida esses IPVs médios foram somados, para obtenção do Índice Global de Vulnerabilidade (IGV) médio por praia. Finalmente, este IGV foi dividido pelo Índice Global de Vulnerabilidade Máximo (IGVmax) para ser obtido o IGV relativo por praia.

5 RESULTADOS

5.1 A Caracterização do clima de ondas e o transporte dos sedimentos segundo o SMC

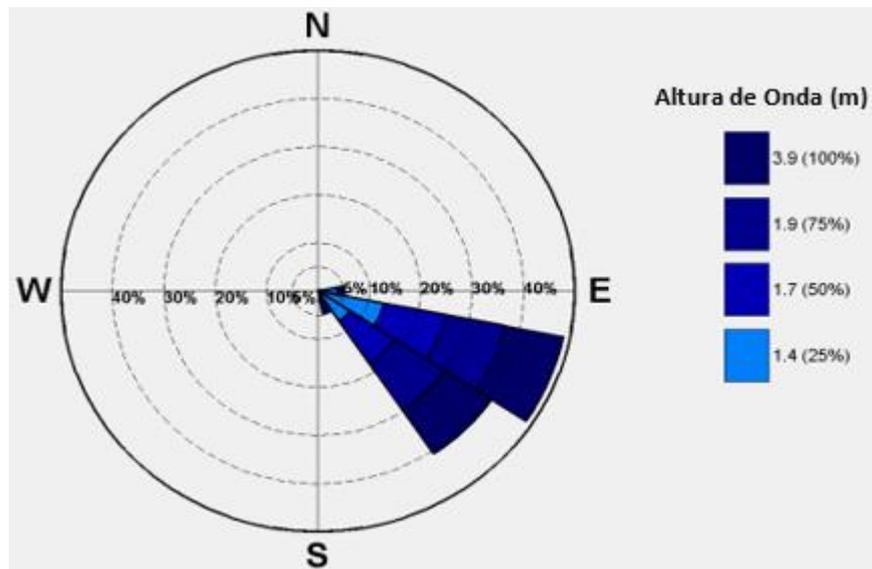
5.1.1 Descrição Anual do Clima de Ondas

A análise estatística realizada com os dados de ondas do ponto DOW possibilitou descrever o regime de ondas na área de estudo. As ondas com maior probabilidade de atingir a costa são de Leste-Sudeste (ESE) e Sudeste (SE), com altura de onda (H_s) em torno de 1,7m e período de onda (T_p) em torno de 7,8s. Essas probabilidades de incidência foram expressas em porcentagens pelas rosas direcionais de propagação de ondas juntamente com as características de altura de onda (H_s) (Figura 04) e período de onda (T_p) (Figura 05).

5.1.2 Transporte Sedimentar Potencial

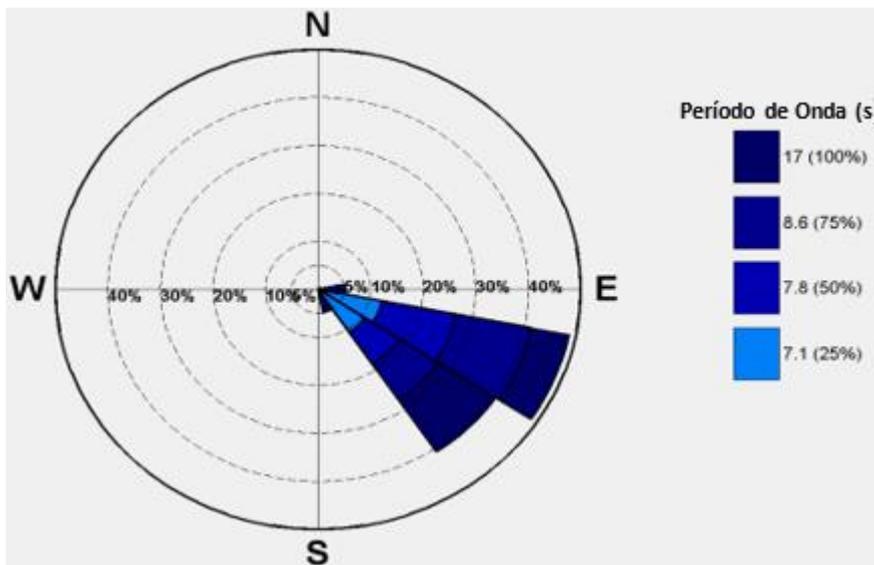
O transporte sedimentar potencial médio anual está orientado predominantemente para o Norte (N) com exceção dos trechos representados pelos perfis 8, 13 e 18, onde o transporte é orientado para o sul (Figura 06 e Tabela 09). O transporte resultante predominantemente para N na região é resultado do predomínio de ondas de ESE e SE que, em interação com uma orientação geral de linha de costa N-S, favorecem o transporte nesse sentido. Observa-se que em alguns perfis (1 a 4, 10, 14 e 15) o transporte é para norte ao longo do ano todo (Tabela 09).

Figura 4- Rosa direcional de direção e altura de onda para a área de estudo.



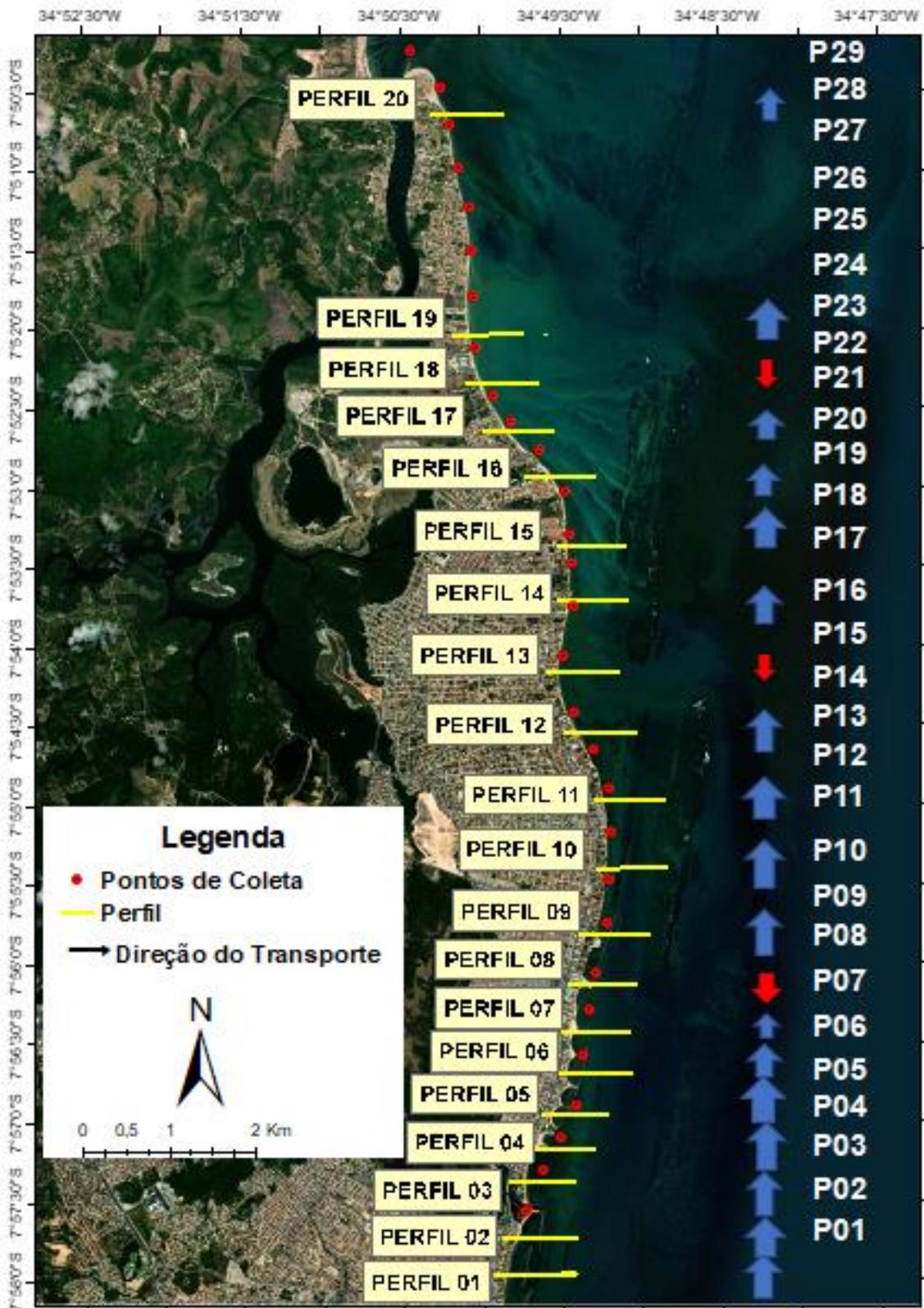
Fonte- SMC-Brasil (Modificada)

Figura 5- Rosa direcional de direção e período de onda para a área de estudo.



Fonte- SMC-Brasil (Modificada)

Figura 6- Transporte sedimentar potencial médio anual por perfil. É apresentado também a direita a numeração dos pontos de coleta.



Fonte- O Autor (2020)

Tabela 9- Transporte sedimentar potencial médio anual nos 20 perfis. Q significa transporte efetivo, Q+ indica transporte para sul e Q- evidencia transporte para norte.

Perfil	Q (m³)	Q+(m³)	Q-(m³)
1	-923.584,69	0,00	-923.584,69
2	-788.790,76	0,00	-788.790,76
3	-889.075,39	0,00	-889.075,39
4	-2.849.728,80	0,00	-2.849.728,80
5	-1.492.420,65	1,70	-1.492.422,34
6	-411.350,05	613.77,36	-472.727,42
7	-119.820,93	15.778,53	-135.599,46
8	232.245,42	278.370,39	-46.124,98
9	-923.592,00	4.517,72	-928.109,72
10	-966.287,71	0,00	-966.287,71
11	-1.284.396,09	455,87	-1.284.851,96
12	-772.421,25	1,12	-772.422,38
13	382.416,24	398.861,22	-16.444,99
14	-695.524,72	0,00	-695.524,72
15	-925.990,37	0,00	-925.990,37
16	-650.657,52	2,12	-650.659,65
17	-502.518,97	16.101,44	-518.620,41
18	379.263,56	412.858,27	-33.594,71
19	-2.184.660,88	0,39	-2.184.661,27
20	-393.201,79	76.520,11	-469.721,90
Média	-789.004,87	63.242,31	-852.247,18

Fonte- SMC- BRASIL

5.2 Mudanças na posição da linha de costa entre 1975 e 2018

A posição das linhas de costa entre os anos de 1975 e 2018 pode ser visualizada nas Figuras 07 (Praia do Janga), 08 (Praia do Pau Amarelo) e 09 (Praia de Maria Farinha) e as taxas de erosão e progradação obtidas pelo método da regressão linear por transecto e representadas por ponto de coleta, na Figura 10.

Observa-se que no período analisado a praia do Janga e boa parte do setor praia de Pau Amarelo (até as proximidades do ponto de coleta 16) experimentaram predominantemente o processo de erosão, situação que se inverte na porção norte da praia de Pau Amarelo e na praia

de Maria Farinha, que por sua vez, são predominantemente progradacionais (Figura 10). Além do padrão geral descrito, observou-se trechos entre os pontos de coleta 4 e 7 e 12 e 13 em que há progradação em meio a um cenário de erosão. Por sua vez, o trecho entre os pontos 24 e 27 apresentou erosão em meio a um cenário de progradação.

A maior taxa de erosão foi de -1,39 metros ao ano encontrada na praia do Janga, entre os pontos de coleta 03 e 04 e a maior taxa de progradação foi encontrada na praia de Pau Amarelo, de +2,26 metros por ano, entre os pontos 18 e 19 (Figura 10).

Nos aspectos estatísticos, foi notado que há uma grande variação entre os valores do R^2 , sendo a parte sul da área estudada até a parte central uma realidade de continuidade dos processos - Erosão Permanece, e da outra metade da parte central para o norte da área estudada uma descontinuidade dos processos – progradação apresenta uma diminuição e erosão ganha notoriedade (APÊNDICE B).

Figura 7- Espacialização das linhas de costa dos anos 1975, 1985, 1995, 2012 e 2018 na Praia do Janga e fotografias dos pontos descritos nas campanhas de campo.



Figura 8- Espacialização das linhas de costa dos anos 1975, 1985, 1995, 2012 e 2018 na Praia de Pau Amarelo e fotografias dos pontos descritos nas campanhas de campo.

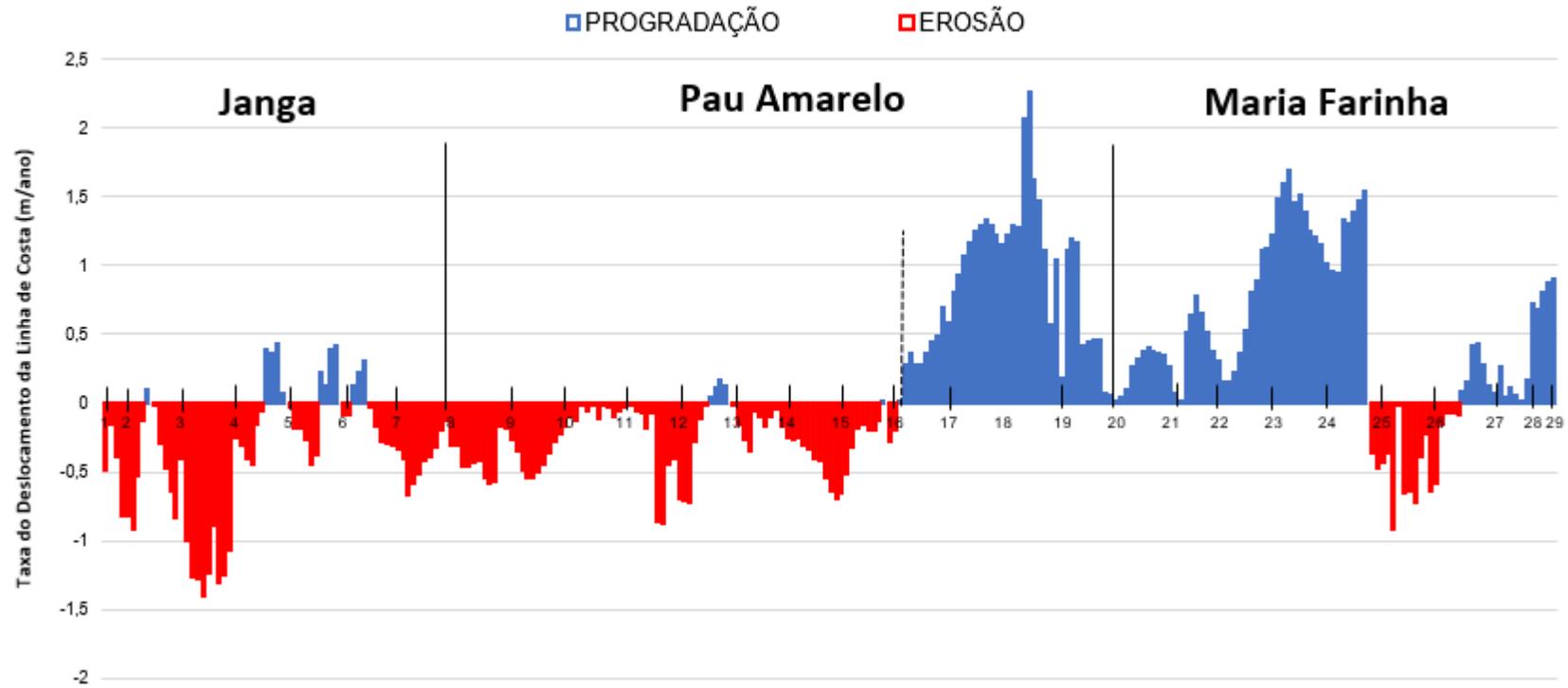


Fonte- O Autor (2020)

Figura 9- Especialização das linhas de costa dos anos 1975, 1985, 1995, 2012 e 2018 na Praia de Maria Farinha e fotografias dos pontos descritos nas campanhas de campo.



Figura 10- Taxas de progradação e erosão para o período de 1975 a 2018, obtidos por transecto e representados no gráfico por pontos de coleta.



Fonte- O Autor (2020)

5.3 Análise Espaço-Temporal das Intervenções Antrópicas na Orla entre os anos de 1975 e 2018

Nesta análise espaço-temporal, observou-se que ao longo dos últimos 43 anos a urbanização ganhou densidade e isso trouxe para todo o litoral do município de Paulista novas paisagens.

Antes das construções das obras rígidas, principalmente em frente ao Forte de Pau Amarelo no Ponto 13 (Figura 08 e Figura 12) existia uma faixa de residências que teve seu surgimento nos anos 80 e seu fim em meados de 2013. Estas construções serviam de apoio para o comércio na faixa de praia e com o advento dos processos erosivos, houve o desaparecimento da faixa de areia e a retirada desses estabelecimentos. Através da análise espaço-temporal dentro dos últimos 43 anos, notou-se que as modificações por parte dos agentes naturais e antrópicos trouxe à tona uma paisagem que em outrora já foi observada, onde o Forte voltou a ter sua frente livre para o mar.

A Praia de Pau Amarelo demonstra uma perda de originalidade na paisagem com o passar dos anos, visto que nos anos de 1970, época em que começou a erosão, até metade do ano de 2013, a faixa de areia deste trecho costeiro desapareceu completamente (Figura 08) dando uma visão artificial e não utilizável a esta parte do litoral.

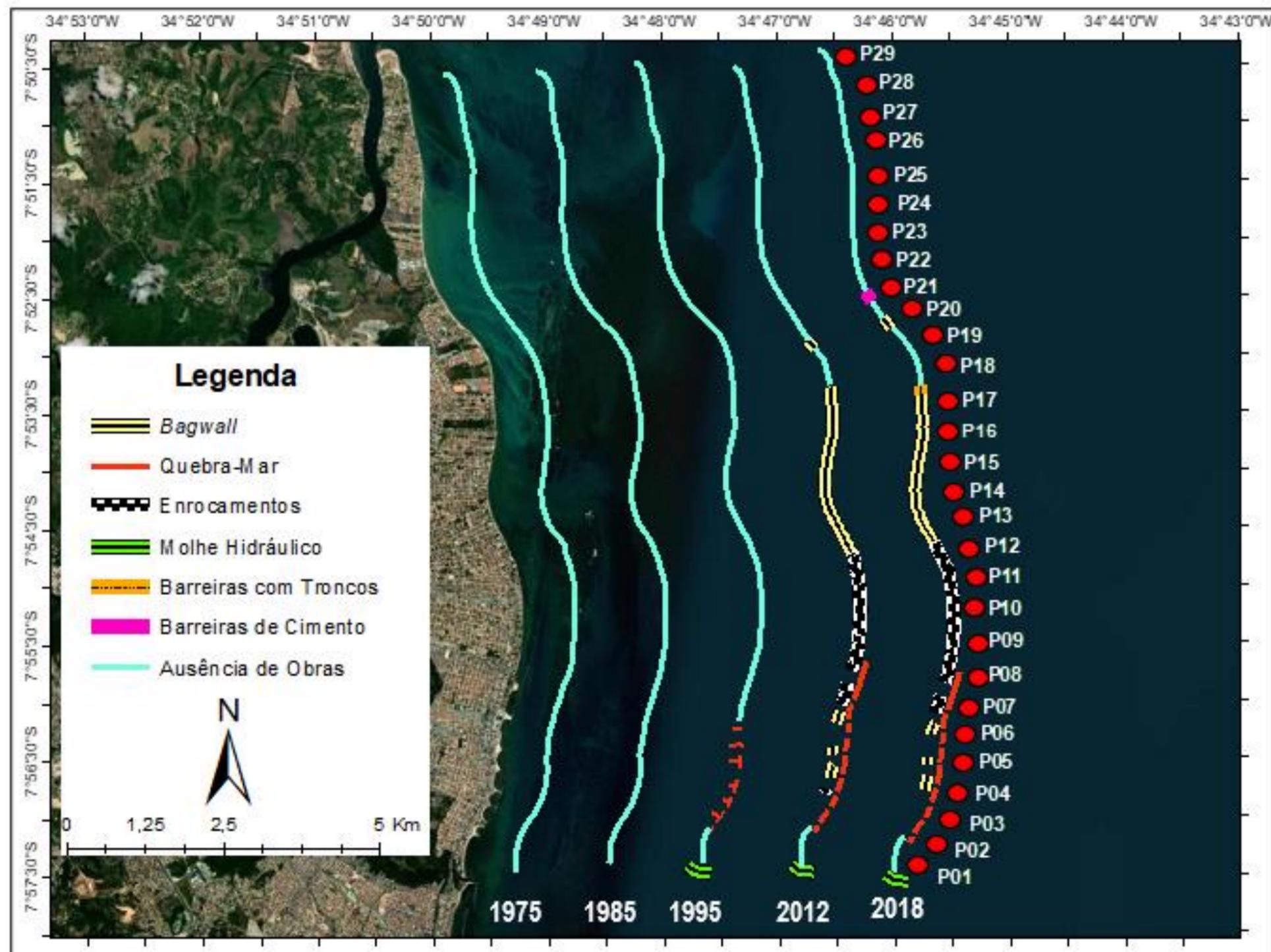
As obras costeiras presentes ao longo do litoral do município de Paulista foram construídas nas últimas três décadas, acompanhando assim, a intensificação da erosão na faixa de praia e na linha costeira. Na praia do Janga foi construído um molhe hidráulico, nove quebra-mares, *bagwalls* e enrocamentos. Já na praia de Pau Amarelo podemos encontrar somente *bagwalls*, enrocamentos e barreiras de coqueiros. Enquanto na praia de Maria Farinha, só é presenciado um trecho com barreira de cimento.

Entre os anos de 1985 e 1995 observou-se o início das construções das obras de engenharia costeira. No início da década de 1990, foi construído o molhe hidráulico que está situado na parte sul da área estudada à margem esquerda da desembocadura do Rio Doce-Paratibe, na Praia do Janga (Figura 11). Neste mesmo período foram iniciadas as obras dos quebra-mares e que, nesta época, foram construídos somente 7 quebra-mares, todos eles localizados ao longo da Praia do Janga (Figura 11).

Entre os anos de 1995 e 2012 foram finalizadas as construções dos quebra-mares na praia do Janga, totalizando 9, com extensão total de cerca de 2,52 km. Também nesse período, foram iniciadas e finalizadas as obras de enrocamentos na Praia do Janga e Pau Amarelo, totalizando cerca de 1,85 km de comprimento. No caso das construções dos *bagwalls*, os primeiros trechos a receber esta tipologia de obra foi o setor da Praia de Pau Amarelo no início de 2012, enquanto que no setor da Praia do Janga o *bagwall* foi construído no final do ano de 2012, tendo uma extensão total de aproximadamente 1,89 km (Figura 11).

Já no período entre 2012 e 2018 foram realizadas novas obras no setor da Praia de Pau Amarelo, como a barreira de troncos que apresenta aproximadamente 25m de extensão (Figura 13) e, no setor da Praia de Maria Farinha, as barreiras de cimento, construídas, inclusive, sobre a zona de espraiamento, totalizando aproximadamente 35 m de extensão (Figura 11). Numa visão geral, percebeu-se que nas décadas de 1975 e 1985 não apresentaram obras costeiras, enquanto as décadas de 1995 mostrou 15% do seu litoral ocupado por obras costeiras, em 2012 com 66% e 2018 com 73%.

Figura 11- Espacialização das Obras Costeiras no município de Paulista-Pernambuco ao longo dos anos de 1975, 1985, 1995, 2012 e 2018



Fonte- O Autor (2020)

Figura 12- O desaparecimento da faixa praial ao longo dos anos e a volta da vista para o mar do Forte de Pau Amarelo.



Fonte: Imagens A, B e C (GOOGLE EARTH PRO, 2003; 2009 e 2010) e D (LYRA, 2015)

Figura 13- Construção da barreira de coqueiros sobre o estirâncio para a proteção da propriedade particular frente aos processos erosivos



Fonte- O Autor (2018)

5.4 Comportamento atual da linha de costa do município de Paulista-PE

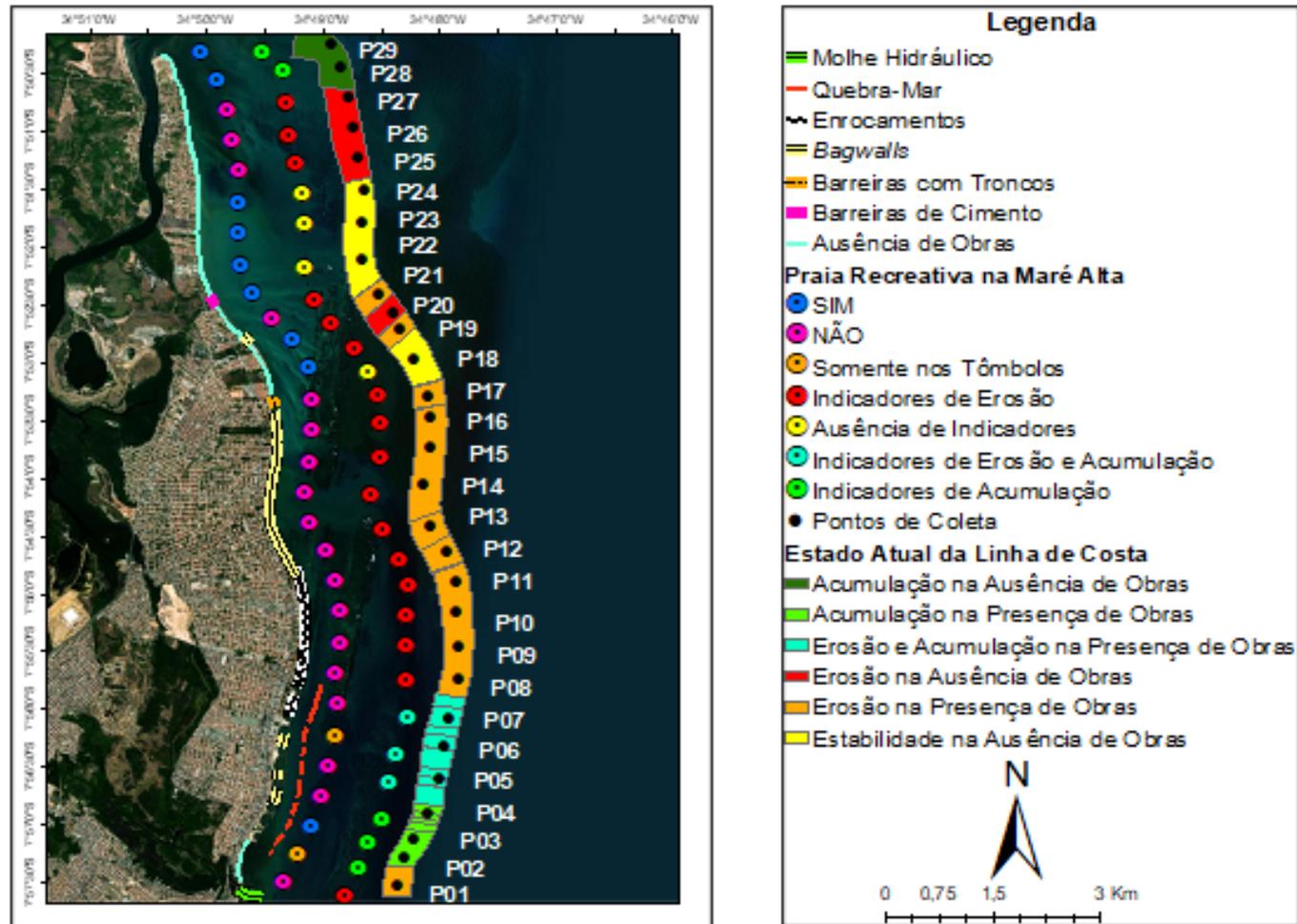
Apesar das obras de contenção de erosão, o processo erosivo continua presente no município estudado, principalmente, sobre os setores da Praia do Janga e da Praia de Pau Amarelo, onde estão localizadas a maioria das obras costeiras. Ao longo da campanha de campo, foram notados ao todo 4 pontos em estabilidade (14% do litoral), isto é, sem apresentar indicadores de erosão ou acumulação, sendo todos eles em trechos costeiros sem a presença de obras costeiras (Pontos 18 e do 22 ao 24). Na área de estudo predominaram os trechos com indicadores de erosão (59% do litoral), que totalizaram 17 pontos, dos quais 13 deles na presença de obras costeiras (pontos 1, de 8 a 17, 19 e 21) e 4 deles na ausência de obras (pontos 20 e 25 a 27). Ocorreu ainda um trecho bem menor em acumulação, totalizando 5 pontos (17% do litoral), dos quais três associados à presença de obras (Pontos 2 a 4) e dois na ausência de

obras (Pontos 28 e 29). Existiu ainda um trecho com a presença de tômbolos, no qual se intercalaram indicadores de erosão e acumulação (Pontos 5 a 7). Neste trecho embora tenha ocorrido acumulação nos tômbolos, foram identificados indicadores de erosão nas enseadas entre os tômbolos (Figuras 7 e 14).

Embora não seja possível por meio dos dados desse trabalho afirmar se as obras foram efetivas ou não na redução do recuo da linha de costa, o fato é que em grande parte do trecho costeiro onde já existia tendência de médio prazo de erosão (Figura 10), os indicadores de erosão continuam presentes apesar das obras. A única exceção nesse trecho são os pontos 2 a 4, onde a presença de quebra-mares parece ter favorecido a formação de tômbolos garantindo a acumulação de sedimentos. Entre os pontos 4 e 8 também se formaram tômbolos, que no entanto se intercalam a enseadas com indicadores de erosão.

No que diz respeito à presença de obras de engenharia, é importante avaliar não somente se estão sendo eficientes em conter o processo erosivo, mas também se conseguem garantir a manutenção da praia. Dos 19 pontos em que existem obras de contenção a erosão, em apenas quatro deles (pontos 2, 6, 19 e 21) a praia permanece recreativa na maré alta. Nos quinze pontos restantes (pontos 1, 3 a 5, 7 ao 17) a praia teve sua largura reduzida de maneira que não é mais recreativa na maré alta (Figura 14).

Figura 14- Trechos da linha de costa do Município de Paulista – Pernambuco em erosão, estabilidade e acumulação, segundo indicadores atuais, na presença e ausência de obras, cuja distribuição espacial também está representada na figura. É apresentado também os trechos costeiros com presença e ausência de praia recreativa na maré alta.



Fonte- O Autor (2020)

5.5 Índices de vulnerabilidade

Os índices parciais e globais de vulnerabilidade, obtidos pela metodologia de Mallmann (2010) para os 29 pontos de coleta nas praias do litoral de Paulista são apresentados na Tabela 9. Além disso, os resultados medidos dos descritores utilizados para os cálculos dos índices estão no APÊNDICE C e as planilhas com a atribuição de peso para cada descritor no APÊNDICE D.

Tabela 10- Valores encontrados para os índices parciais de vulnerabilidade, Índice Global de Vulnerabilidade (IGV) e Índice Global de Vulnerabilidade Relativa (IGVrel) por ponto de coleta. Os Índices Parciais de Vulnerabilidade (IPVs) estão divididos em 5: Índice Parcial de Vulnerabilidade associado à Morfologia Costeira (IPVMC), Índice Parcial de Vulnerabilidade associado a Atributos Naturais (IPVAN), Índice Parcial de Vulnerabilidade associado à Influência Marinha (IPVIM), Índice Parcial de Vulnerabilidade associado a Processos Costeiros (IPVPC) e o Índice Parcial de Vulnerabilidade associado à Influência Antrópica (IPVIA).

	PONTOS	IPVMC	IPVAN	IPVIM	IPVPC	IPVIA	IGV	IGVrel (%)
JANGA	1	3,67	4,02	2,68	2,45	1,55	14,38	50,62
	2	3,67	3,29	2,19	1	0,77	10,93	38,46
	3	3,67	2,32	2,68	0,82	1,34	10,84	38,14
	4	4,5	2,32	2,68	0,82	1,55	11,87	41,79
	5	4,5	2,32	2,68	1,41	0,77	11,69	41,15
	6	4,5	2,32	2,19	1,41	1,34	11,77	41,41
	7	4,5	2,32	2,68	1,41	1,34	12,26	43,15
	8	3,67	1,34	2,68	2,45	1,34	11,49	40,44
PAU AMARELO	9	3,67	1,34	1,55	2,45	1,34	10,36	36,45
	10	3,67	1,34	1,55	2,45	1,34	10,36	36,45
	11	3,67	1,34	1,55	2,45	1,34	10,36	36,45
	12	3,67	2,32	1,55	3	1,34	11,89	41,85
	13	3,67	3,29	1,55	2,45	1,34	12,3	43,30
	14	3	1,34	1,55	2,45	1,34	9,68	34,08
	15	3,67	1,34	1,55	3	1,34	10,91	38,39
	16	3,67	1,34	1,55	2,45	1,1	10,11	35,60
	17	3	2,32	1,55	1,73	2,32	10,93	38,47
	18	3,67	1,34	0,89	1	0,45	7,36	25,90
MARIA FARINHA	19	3,67	1,34	0,89	1,73	1,55	9,19	32,35
	20	3,67	1,34	1,55	2,45	1,34	10,35	36,45
	21	3,67	1,34	0,89	2,45	2,32	10,68	37,61
	22	3,67	2,32	1,1	1,41	0,45	8,95	31,52
	23	3,67	2,32	1,1	1	0,45	8,54	30,06
	24	3,67	2,32	1,1	1	0,89	8,99	31,64

	25	4,5	2,32	1,9	2,45	1,34	12,51	44,04
	26	3,67	2,32	1,9	3	1,34	12,24	43,07
	27	4,5	2,32	1,9	2,45	0,89	12,07	42,47
	28	2,6	4,02	1,1	0,58	0,45	8,74	30,77
	29	2,6	4,02	1,1	0,58	0,45	8,74	30,77

Fonte- O Autor (2020)

5.5.1 Índice Parcial de Vulnerabilidade Associado à Morfologia Costeira (IPVMC)

Como já foi especificado na metodologia, o IPVMC é construído por meio de inúmeros descritores atrelados às condições morfológicas, como o tipo de orla, largura da pós-praia, inclinação da pós-praia e o diâmetro médio do grão. Todos esses descritores terão seus resultados expostos ao longo deste tópico.

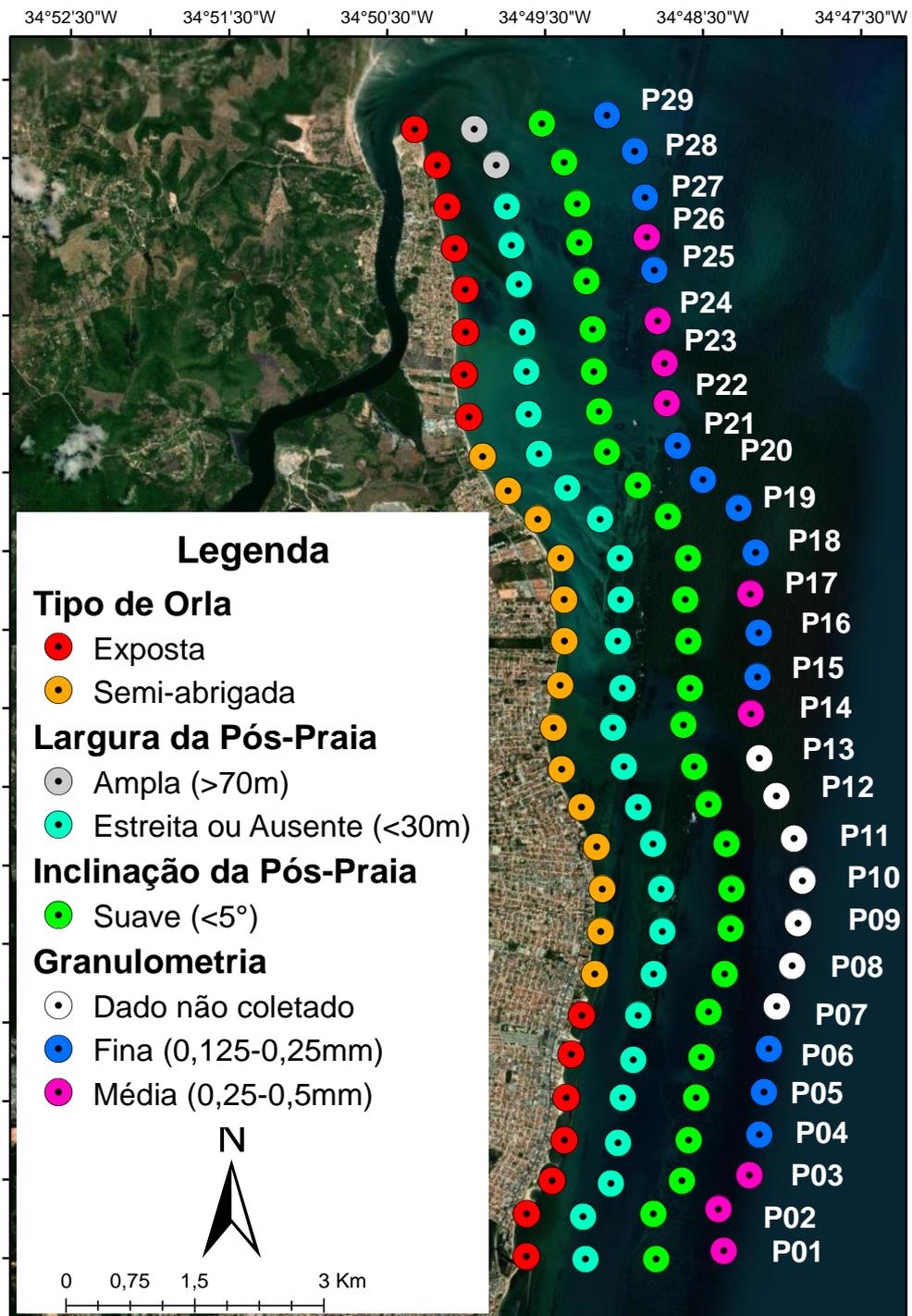
Por meio da campanha, notou-se que a praia do Janga apresenta característica de orla exposta dos pontos 01 até o 07, sendo somente semi-abrigada a orla do ponto 08 pela influência dos arrecifes. Já a praia de Pau Amarelo e na sequência o início da orla da praia de Maria Farinha (ponto 21) apresentam praia semi-abrigada também por causa da influência dos arrecifes. O restante da orla de Maria Farinha apresenta uma orla totalmente exposta. Ao todo, cerca de 52% da orla do município estudado é exposta e 48% é semi-abrigada (Figura 15).

A largura da pós-praia em quase todo o litoral é estreita ou ausente, tendo somente os pontos 28 e 29 que estão localizados no pontal com pós-praia amplo, sendo assim, cerca de 93% do litoral teve largura da pós-praia caracterizada como estreita ou ausente e 7% como pós-praia amplo (Figura 15). Em todos os pontos analisados em que existia pós-praia a inclinação do mesmo é suave (Figura 15).

Percebeu-se por meio das observações *in locu* a ausência de pós-praia entre os pontos 07 ao 17 e no ponto 25. Essa ausência de pós-praia acabou acarretando na não marcação das variáveis Largura da Pós-Praia e Inclinação da Pós-Praia. Mesmo assim, a ausência desses geoindicadores foi colocada na planilha como peso 3, dando a entender que esta ausência caracteriza um peso maior para a construção do índice e eleva o grau de vulnerabilidade no ponto analisado.

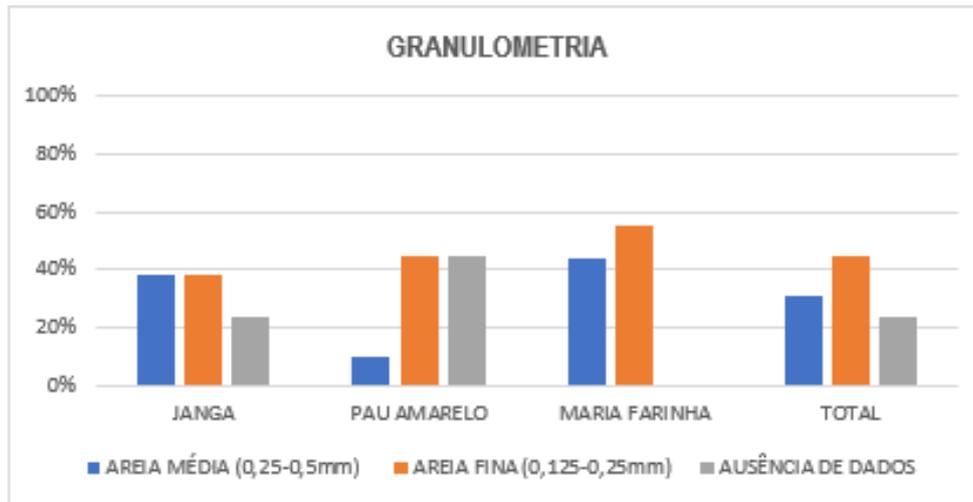
Para o descritor Diâmetro Médio do Grão, a maior parte do litoral (45%) apresenta granulometria fina, seguida de areia média (31%). Em 24% do litoral não foi possível coletar dados, por causa da ausência de faixa de praia (Figuras 15 e 16).

Figura 15- Condições Morfológicas do Litoral de Paulista/PE



Fonte- O Autor (2020)

Figura 16- Diâmetro Médio do Grão ao longo do litoral do município de Paulista/PE



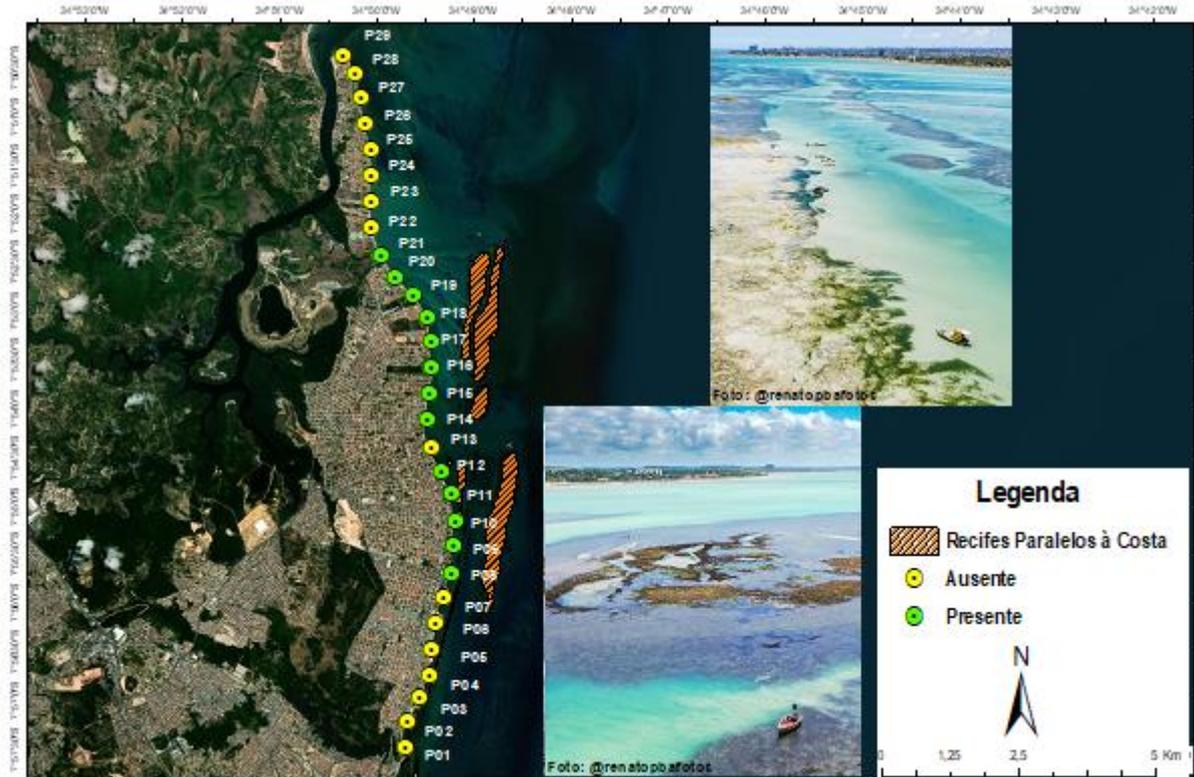
Fonte- O Autor (2020)

5.5.2 Índice Parcial de Vulnerabilidade Associado a Atributos Naturais (IPVAN)

O IPVAN é construído por meio de inúmeros descritores associados a atributos naturais, como a presença de recifes paralelos à costa, manguezal, distância da foz de rio/canais, presença de dunas ou cordões arenosos e afloramentos rochosos. Todos esses descritores terão seus resultados expostos ao longo deste tópico.

O primeiro descritor deste índice refere-se à presença de recifes paralelos à costa. Evidenciou-se que cerca de 45% do litoral estudado (dos pontos 8 a 12 e dos pontos 14 a 21) apresenta recifes de arenito paralelos à costa (Figura 17) atribuindo-se peso um (1) para os trechos protegidos e peso três (3) para os trechos sem ocorrência destes recifes. Quanto à presença de manguezal, de afloramentos rochosos, de dunas e de cordões arenosos, estes não foram localizados em nenhuma parte do litoral estudado, obtendo assim, peso três (3) para a ausência de manguezal, dunas ou cordões arenosos e peso um (1) para a ausência de afloramentos rochosos.

Figura 17- Mapeamento das faixas de recifes de arenito paralelos à costa no Município de Paulista/PE



Fonte- O Autor (2020); Foto-Renato Albuquerque

Quanto ao descritor ‘distância da foz de rios/canais’, notou-se que 76% dos pontos de coleta se encontram distante de desembocaduras. O restante do litoral encontra-se nas proximidades das desembocaduras dos rios Doce-Paratibe, ao sul (ponto 01), e Timbó, ao norte (pontos 28 e 29), e de cinco pequenos canais de efluentes domésticos que desembocam na faixa de areia (pontos 12, 13 e 17). Apenas 17% dos pontos de coleta se encontram próximos a rios/canais e 7% nas adjacências.

5.5.3 Índice Parcial de Vulnerabilidade Associado à Influência Marinha (IPVIM)

O IPVIM é construído por meio de inúmeros descritores associados à influência marinha, como a variação da maré, tipo de arrebentação, largura da zona de surfe, praia recreativa na maré alta e altura estimada de onda. Todos esses descritores terão seus resultados expostos ao longo deste tópico.

A maré na área estudada é caracterizada como meso-maré e com um período médio de oscilação de 12,42 horas (SILVA, 2014). No caso da altura das ondas foram estimadas por caminhamento duas variantes, sendo 0,5-1m entre os pontos 01 ao 21 devido à presença dos quebra-mares (pontos 01 ao 07) no setor da Praia do Janga; e pela presença dos arrecifes entre o final do setor da Praia de Pau Amarelo e o início da Praia de Maria Farinha (pontos 08 ao 21). Já entre os pontos 22 ao 29 foi constatado que a altura da onda era maior que 1m, tendo em vista a configuração da orla que é exposta e sem a presença de mecanismos que diminuam a altura das ondas. É lembrado também que o litoral estudado apresenta característica de arrebentação deslizante para toda a área estudada.

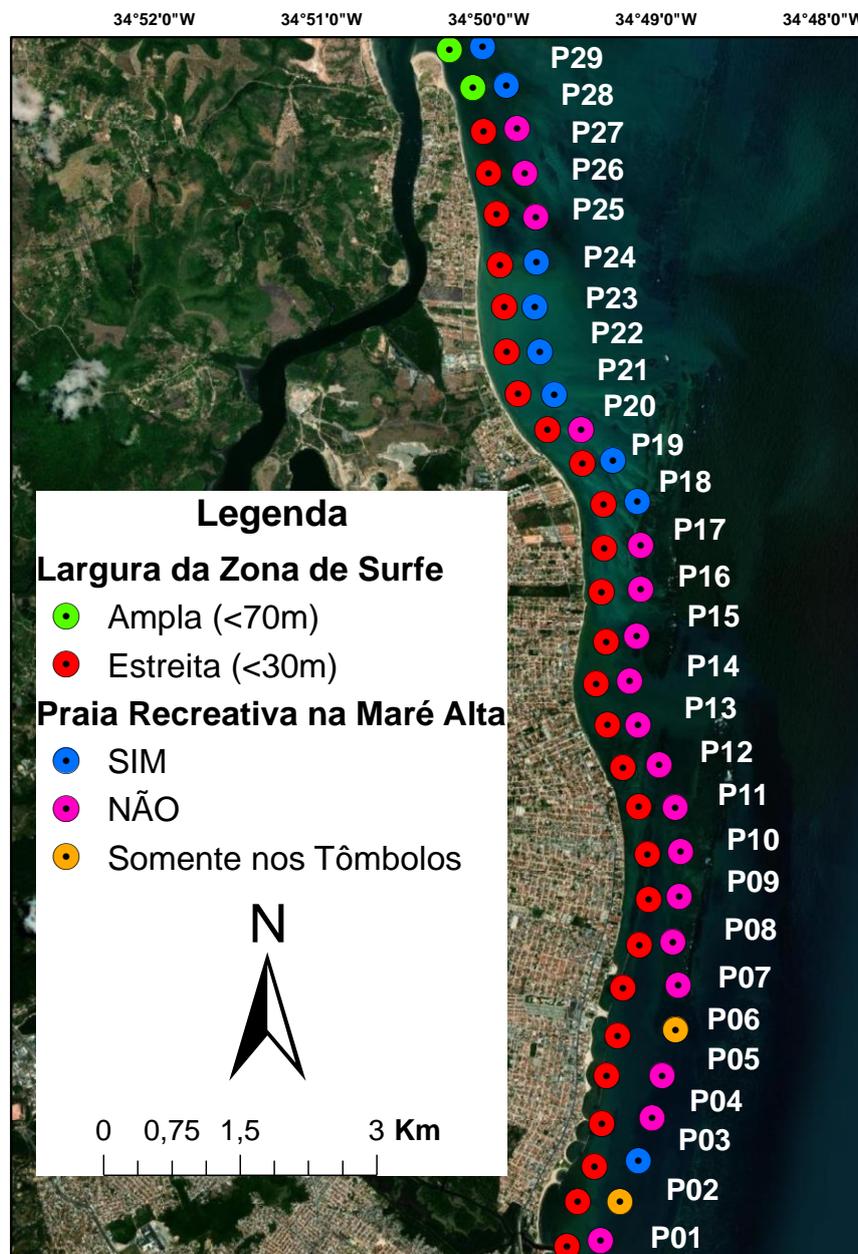
Já no que se refere ao descritor largura da zona de surfe, a Praia do Janga é caracterizada por ter uma zona de surfe estreita (pontos 01 a 08). Este estreitamento é dado pela presença dos quebra-mares que foram construídos sobre a zona de arrebentação. Em contrapartida, os setores das Praias de Pau Amarelo e Maria Farinha apresentam uma ampla zona de surfe (pontos 09 a 29), mesmo com a presença de recifes paralelos à costa, sendo que essas formações não estão próximas à praia e apresentam um maior distanciamento em comparação com os quebra-mares presentes na parte sul da área de estudo. Para a área total do litoral, cerca de 72% foi classificada como de zona de surfe ampla e 28% como zona de surfe estreita (Figura 18).

Quanto à possibilidade de realização de atividades recreativas durante a maré alta essas podem ocorrer apenas nos pontos 2 e 6, de forma parcial, nas bordas dos tómbolos, (na praia do Janga), 18 e 19 (na praia de Pau Amarelo) e entre os pontos 21 e 24 e 28 e 29 (na praia de Maria Farinha), enquanto na maior parte do litoral (66%), principalmente nas praias do Janga e de Pau Amarelo, essas atividades não podem ocorrer pela ausência de praia nessa situação de maré (Figura 18).

Em uma análise setorial, foi notado que cerca de 75% da Praia do Janga não apresenta praia recreativa quando a maré se encontra alta, mas cerca de 25% se demonstrou positiva para

a recreação (Figura 18). É importante mencionar que os tómbolos encontrados entre os pontos 02 e 03, 06 e 07 ficam com faixa de praia livre para recreação na maré alta por apresentar um maior declive em relação aos outros tómbolos que na maré alta acabam ficando submersos (Figura 7). No caso da Praia de Pau Amarelo, 83% não é recreativa na maré alta e em 17% de sua extensão se demonstra recreativa (Figura 18). Já na Praia de Maria Farinha o cenário muda completamente, tendo 67% como recreacional na maré alta e 33% como não recreativa.

Figura 18- Espacialização dos Setores Recreativos e Não Recreativos na Maré Alta, Largura da Zona de Surfe ao longo do Litoral de Paulista/PE



5.5.4 Índice Parcial de Vulnerabilidade Associado aos Processos Costeiros (IPVPC)

O IPVPC é construído por meio de inúmeros descritores associados aos processos costeiros como a presença de indicadores de erosão e acumulação como também, a taxa anual de deslocamento da linha de costa.

Foi possível observar que o setor da praia do Janga apresenta um cenário diversificado em relação aos indicadores de erosão e acumulação (Figura 19). Constatou-se que 63% da praia do Janga apresenta indicadores de erosão (pontos 01, 05, 06, 07 e 08), como muros ruídos, coqueiros caídos, afundamento do calçadão e escarpa de erosão; enquanto 75% (pontos 02 a 07) indicadores de acumulação, como tómbolos na área de sombra dos quebra-mares e restinga. Observa-se que nos pontos 05 a 07 intercalam-se indicadores de acumulação (nos tómbolos) com indicadores de erosão (nas enseadas entre os tómbolos). Para as taxas do deslocamento da linha de costa de médio prazo (Figura 19 e Tabela 10) o setor da Praia do Janga apresentou um estado de 86% em estabilidade (com pequena erosão $> -0,5\text{m/ano}$) (Pontos 01, 03, 04, 05, 06, 07 e 08) com taxas variando entre $-0,08$ e $-0,48$ m/ano, estando dentro da classe intermediária de vulnerabilidade na classificação de Mallmann (2010) a que se atribuiu peso 2. Complementarmente, 14% da praia está em erosão ($< -0,5\text{m/ano}$) (Ponto 02) com uma taxa de $-0,82$ (m/ano).

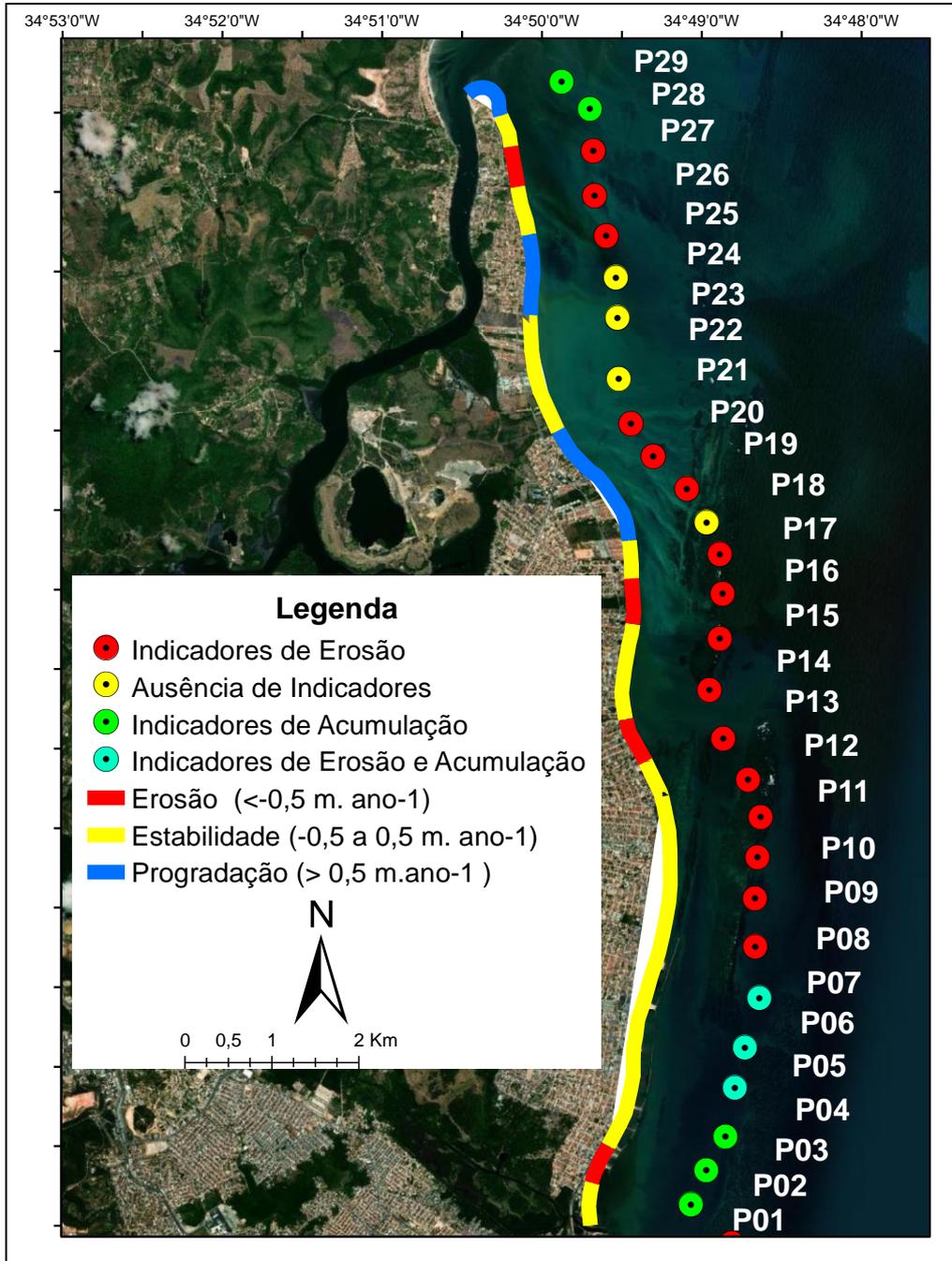
A praia de Pau Amarelo é a que apresenta maior trecho com indicadores de erosão. Em 92% de sua extensão (Pontos 09 a 17 e 19 ao 20) esses indicadores estão presentes, como muros ruídos, obra costeira (*Bagwall*) danificada, resto de construção e escarpa de erosão, enquanto em 8% de sua extensão (Ponto 18) inexistem indicadores de acumulação ou erosão, podendo ser considerado o trecho como estável. Para as taxas do deslocamento da linha de costa de médio prazo (Figura 19 e Tabela 10) o setor da Praia de Pau Amarelo vem apresentando um estado de 58% em estabilidade (classe intermediária na classificação de Mallmann, 2010, a que se atribuiu peso 2), dos quais 50% em pequena erosão (Pontos 09, 10, 11, 13, 14 e 16) com variação de taxa entre $-0,01$ e $-0,25$ (m/ano) e os restantes 8% (Ponto 20) com pequena progradação, com taxa de $0,05$ m/ano. Além disso, 17% da praia está em erosão (Pontos 12 e 15), com taxas variando entre $-0,65$ e $-0,69$ m/ano, enquanto outros 25% estão em progradação (Pontos 17, 18 e 19), com taxas variando de $0,57$ a $1,18$ m/ano.

Na Praia de Maria Farinha, o processo erosivo não vem se mostrando tão atuante quanto nos setores a sul (Figura 19). Para a praia de Maria Farinha 44% do setor (pontos 21 e 25 a 27) apresenta indicadores de erosão, como obra costeira (barreira de cimento) danificada e muros ruídos e 22% (pontos 28 e 29) indicadores de acumulação, como pontal

arenoso. Enquanto 33% (Pontos 22 a 24) não apresenta indicadores de erosão ou acumulação, podendo ser considerada estável. Para as taxas do deslocamento da linha de costa (Figura 19 e Tabela 10) o setor da Praia de Maria Farinha vem apresentando 44% de seu trecho costeiro em progradação (Pontos 23, 24, 28 e 29), com taxas variando entre 0,72 e 1,22 m/ano; outros 44% dentro da classe de estabilidade, dos quais 33% em pequena progradação (Pontos 21, 22 e 27), com taxas variando entre 0,07 e 0,31 m/ano e os restantes 11% em pequena erosão (Ponto 25), com taxa de -0,42 m/ano; e ainda 11% em erosão severa (Ponto 26) com taxa de -0,57 m/ano.

Numa visão geral, cerca de 59% do litoral de Paulista vem apresentando setores com indicadores de erosão, 17% indicadores de acumulação e 14% apresenta-se em equilíbrio. Há ainda 10% do litoral onde intercalam-se indicadores de acumulação (nos tómbolos) com erosão (nas enseadas entre os tómbolos). Já no quesito taxa anual de deslocamento de médio prazo (Figura 19 e Tabela 10), a maior parte do litoral de Paulista (62%) está dentro da classe intermediária de Mallmann (2010), 24% em progradação e 14% em erosão.

Figura 19- Espacialização dos pontos com Indicadores de Erosão, Acumulação e dos trechos em Erosão, Estabilidade e Progradação com base em estudo de comportamento de linha de costa de médio prazo.



Fonte- O Autor (2020)

Tabela 11- Taxa anual de deslocamento da linha de costa com base em estudo de médio prazo e classificação correspondente.

	Pontos	Taxa Anual de Deslocamento da Linha de Costa (m/ano)	Classificação do Comportamento da Linha de Costa
Janga	01	-0,48	Estabilidade (-0,5 a 0,5m/ano) - Pequena Erosão
	02	-0,82	Erosão (<-0,5m/ano)
	03	-0,4	Estabilidade (-0,5 a 0,5m/ano) - Pequena Erosão
	04	-0,24	Estabilidade (-0,5 a 0,5m/ano) - Pequena Erosão
	05	-0,02	Estabilidade (-0,5 a 0,5m/ano) - Pequena Erosão
	06	-0,08	Estabilidade (-0,5 a 0,5m/ano) - Pequena Erosão
	07	-0,33	Estabilidade (-0,5 a 0,5m/ano) - Pequena Erosão
	08	-0,3	Estabilidade (-0,5 a 0,5m/ano) - Pequena Erosão
Pau Amarelo	09	-0,25	Estabilidade (-0,5 a 0,5m/ano) - Pequena Erosão
	10	-0,16	Estabilidade (-0,5 a 0,5m/ano) - Pequena Erosão
	11	-0,03	Estabilidade (-0,5 a 0,5m/ano) - Pequena Erosão
	12	-0,69	Erosão (<-0,5m/ano)
	13	-0,01	Estabilidade (-0,5 a 0,5m/ano) - Pequena Erosão
	14	-0,24	Estabilidade (-0,5 a 0,5m/ano) - Pequena Erosão
	15	-0,65	Erosão (<-0,5m/ano)
	16	-0,19	Estabilidade (-0,5 a 0,5m/ano) - Pequena Erosão
	17	0,57	Progradação (>0,5m/ano)
	18	1,14	Progradação (>0,5m/ano)
	19	1,18	Progradação (>0,5m/ano)
Maria Farinha	20	0,05	Estabilidade (-0,5 a 0,5m/ano) - Pequena Progradação
	21	0,26	Estabilidade (-0,5 a 0,5m/ano) - Pequena Progradação
	22	0,31	Estabilidade (-0,5 a 0,5m/ano) - Pequena Progradação
	23	1,22	Progradação (>0,5m/ano)
	24	1,01	Progradação (>0,5m/ano)
	25	-0,42	Estabilidade (-0,5 a 0,5m/ano) - Pequena Erosão
	26	-0,57	Erosão (<-0,5m/ano)
	27	0,07	Estabilidade (-0,5 a 0,5m/ano) - Pequena Progradação
	28	0,72	Progradação (>0,5m/ano)
29	0,9	Progradação (>0,5m/ano)	

Fonte: O Autor (2021)

5.5.5 Índice Parcial de Vulnerabilidade Associada à Influência Antrópica (IPVIA)

O IPVIA é construído por meio de inúmeros descritores associados à influência antrópica como urbanização na faixa de praia, tipo de construções, local onde a primeira faixa de construções está assentada e a presença de obras costeiras. Notou-se através das campanhas que o grau de urbanização ao longo da área costeira estudada, apresenta uma variada influência sobre a faixa de praia e suas adjacências, seja na face de praia, pós-praia e atrás da pós-praia (Figura 20 e 21).

Para o setor da Praia do Janga, o grau de urbanização variou entre baixa, moderada e alta (Figura 20). Constatou-se que cerca de 50% da urbanização é baixa, 25% é moderada e 25% foi classificada como alta. Já no que tange à faixa de construção, 75% apresenta a mesma situada atrás da pós-praia e 25% no pós-praia. Pontua-se que no setor da Praia do Janga não foi identificada nenhuma construção na face de praia (Figura 20 e 21).

Para o setor da Praia de Pau Amarelo houve uma variação tanto no grau de urbanização (Figura 20 e 21) quanto no local da primeira faixa de construção (Figura 20 e 21). Cerca de 75% da urbanização neste setor é alta, 17% é moderada e 8% foi classificada como baixa. Na análise da primeira faixa de construção, foi visto que 75% dela está localizada atrás da pós-praia, 8% na pós-praia e 17% na face de praia.

No caso do setor da Praia de Maria Farinha observou-se que a maior parte do litoral apresenta baixa urbanização com 45%, 33% com uma urbanização alta e 22% com urbanização moderada. Na análise da faixa de construção, observou-se que 45% das construções estão localizadas atrás da pós-praia, 22% na área da pós-praia e 33% na face de praia (Figura 20 e 21).

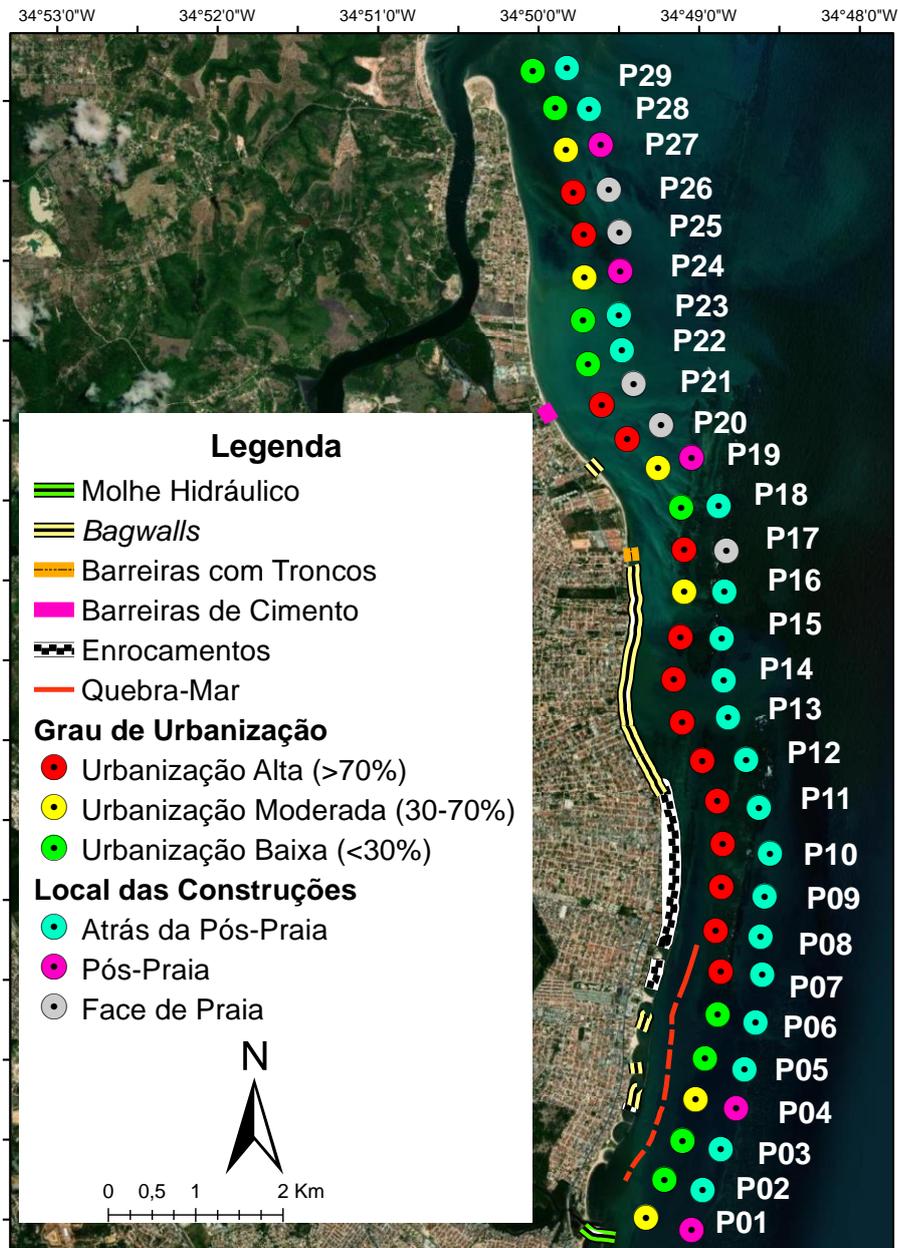
Numa visão geral, identificou-se que cerca de 66% das construções estão localizadas atrás da pós-praia, 17% na pós-praia e 17% na face de praia. Quanto ao grau de urbanização, cerca de 48% é tido como alto grau de urbanização, 21% como um grau mediano e 31% como grau baixo.

Quanto ao tipo de construção, a Praia do Janga apresenta 75% de sua extensão apresentando casas e 25% edifícios. No caso das Praias de Pau Amarelo e Maria Farinha, ambas possuem 100% de construções do tipo casas. Para todo o litoral, 95% apresenta casas, enquanto que 7% prédios na retaguarda da praia. Quanto à presença das estruturas de proteção costeira, constatou-se que 100% da Praia do Janga possui obras de proteção costeira, representadas por quebra-mares, *bagwalls* e muros de enrocamentos (Figura 20 e 21). Na Praia

de Pau Amarelo, 83% de sua extensão contém obras de proteção costeira, isto é, *bagwalls*, muro de enrocamento, barreiras com sacos de solo-concreto e cercas com troncos de coqueiro (Figura 20 e 21). Na Praia de Maria Farinha, 89% de sua extensão não possui estrutura de proteção costeira, mas 11% apresenta estrutura de proteção costeira como pequenos enrocamentos e pequenas linhas de rochas acompanhando o perfil praiial (Figura 20 e 21). Ao todo, cerca de 66% do litoral de Paulista apresenta estrutura de proteção costeira e 34% não apresenta estruturas (Figura 20 e 21).

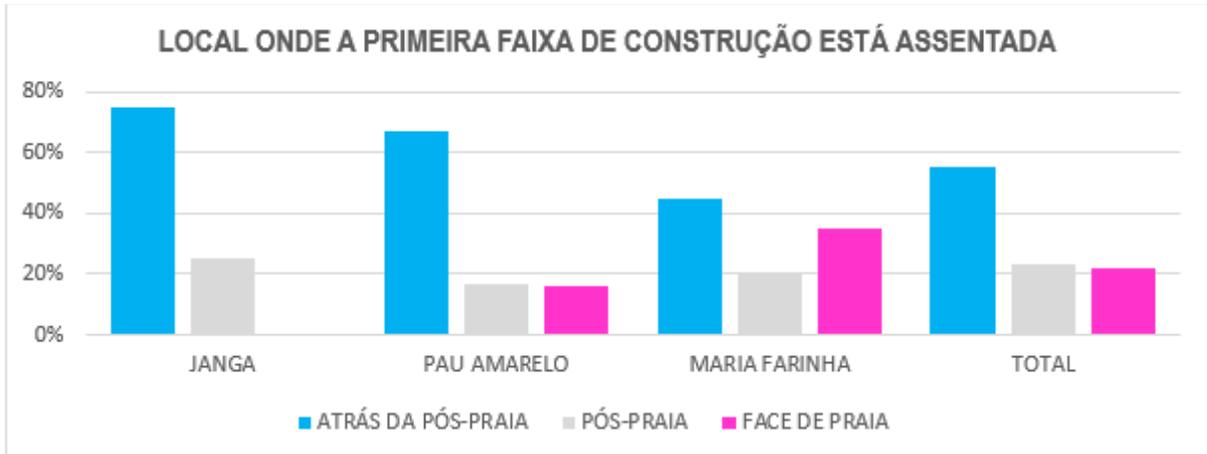
Todos os resultados adquiridos em questão do Índice Parcial de Vulnerabilidade Associada à Influência Antrópica (IPVIA) mostram que o setor da Praia do Janga apresenta uma realidade de baixa urbanização (Figura 20 e 21) assim como, no setor de Maria Farinha, enquanto que o setor da Praia de Pau Amarelo obteve um alto grau de urbanização (Figura 20 e 21).

Figura 20-Espacialização do Grau de Urbanização e a posição em relação à Praia em que a primeira faixa de construções está assentada e apresentado também as obras costeiras presentes no litoral.



Fonte- O Autor (2020)

Figura 21- Caracterização do local onde está assentada a primeira faixa de construções em relação à praia.



Fonte- O Autor (2020)

5.6 A Influência de cada Índice Parcial de Vulnerabilidade em cada Setor

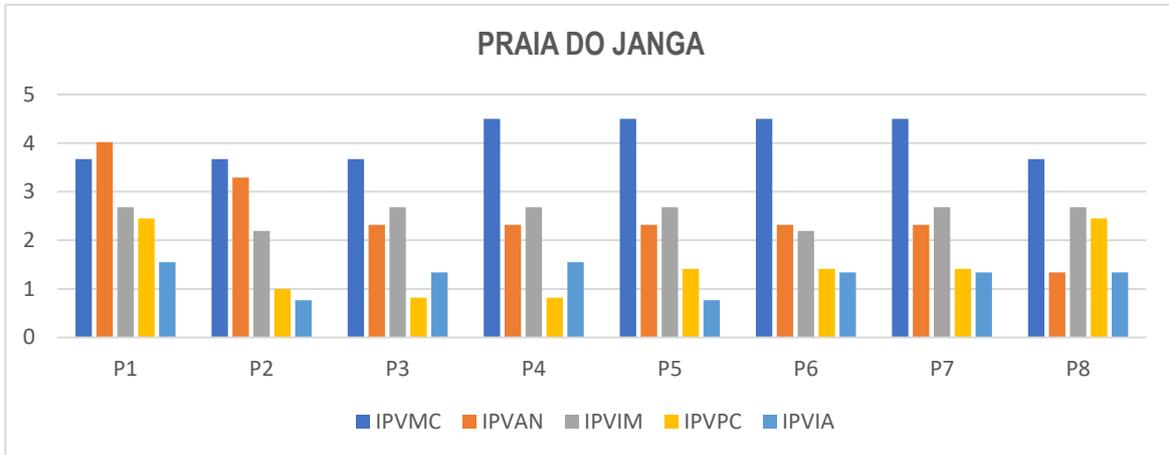
Analisando todos os setores estudados, constatou-se que o Índice Parcial de Vulnerabilidade Associado à Morfologia Costeira (IPVMC) é o que mais vem influenciando todo o litoral do município de Paulista (Tabela 12 e Figuras 22 a 24) tendo para o Janga um valor médio de 4,09; para Pau Amarelo cerca de 3,56 e para Maria Farinha 3,62. Majoritariamente o IPV que menos influenciou os setores da praia do Janga, Pau Amarelo e Maria Farinha foi o Índice Parcial de Vulnerabilidade à Influência Antrópica (IPVIA).

Tabela 12-Valores dos IPVs médios de cada praia. Os Índices Parciais de Vulnerabilidade (IPVs) estão divididos em 5: Índice Parcial de Vulnerabilidade à Condições Morfológicas (IPVMC), Índice Parcial de Vulnerabilidade à Atributos Naturais (IPVAN), Índice Parcial de Vulnerabilidade à Influência Marinha (IPVIM), Índice Parcial de Vulnerabilidade à Processos Costeiros (IPVPC) e o Índice Parcial de Vulnerabilidade à Influência Antrópica (IPVIA).

Praia do Janga		Praia de Pau Amarelo		Praia de Maria Farinha	
IPVMC	4,09	IPVMC	3,56	IPVMC	3,62
IPVAN	2,53	IPVAN	1,67	IPVAN	2,59
IPVIM	2,56	IPVIM	1,44	IPVIM	1,34
IPVPC	1,47	IPVPC	2,30	IPVPC	1,66
IPVIA	1,25	IPVIA	1,35	IPVIA	0,95

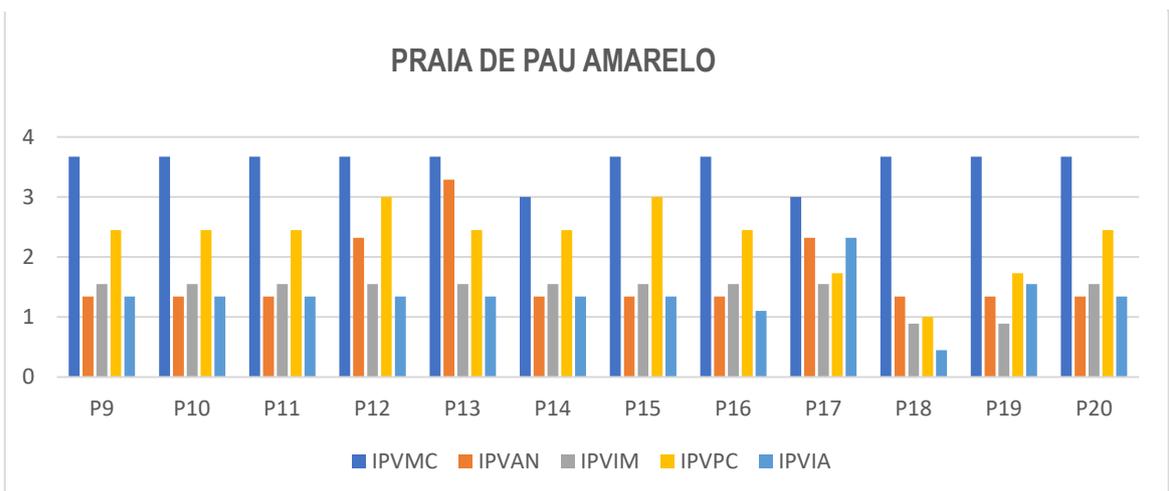
Fonte- O Autor (2020)

Figura 22- Influência de cada Índice Parcial de Vulnerabilidade (IPV) sobre a Praia do Janga. Os Índices Parciais de Vulnerabilidade (IPVs) estão divididos em 5: Índice Parcial de Vulnerabilidade à Condições Morfológicas (IPVMC), Índice Parcial de Vulnerabilidade à Atributos Naturais (IPVAN), Índice Parcial de Vulnerabilidade à Influência Marinha (IPVIM), Índice Parcial de Vulnerabilidade à Processos Costeiros (IPVPC) e o Índice Parcial de Vulnerabilidade à Influência Antrópica (IPVIA).



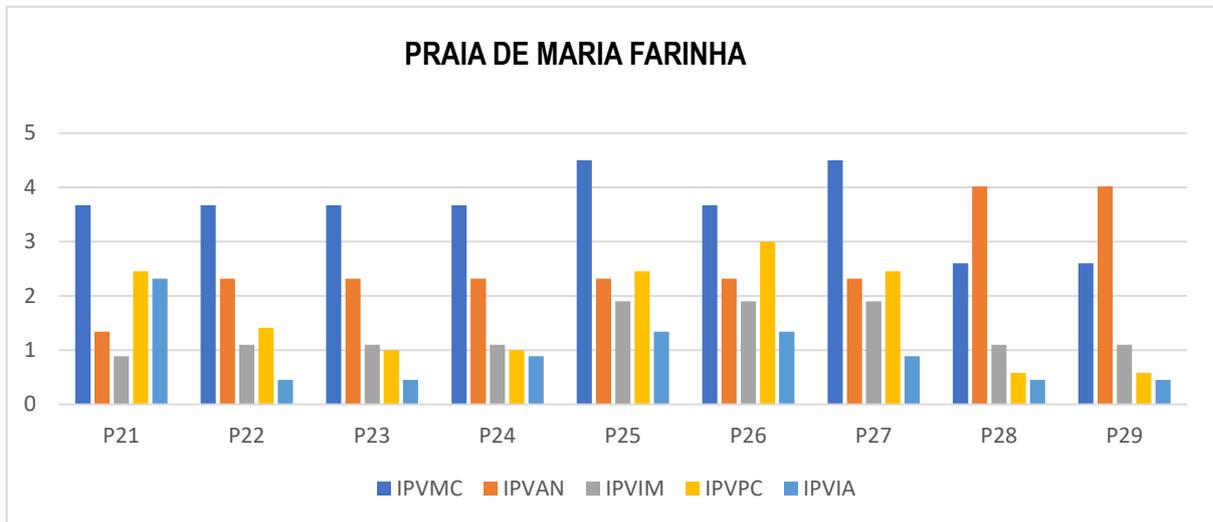
Fonte- O Autor (2020)

Figura 23- Influência de cada Índice Parcial de Vulnerabilidade (IPV) sobre a Praia de Pau Amarelo. Os Índices Parciais de Vulnerabilidade (IPVs) estão divididos em 5: Índice Parcial de Vulnerabilidade à Condições Morfológicas (IPVMC), Índice Parcial de Vulnerabilidade à Atributos Naturais (IPVAN), Índice Parcial de Vulnerabilidade à Influência Marinha (IPVIM), Índice Parcial de Vulnerabilidade à Processos Costeiros (IPVPC) e o Índice Parcial de Vulnerabilidade à Influência Antrópica (IPVIA).



Fonte- O Autor (2020)

Figura 24- Influência de cada Índice Parcial de Vulnerabilidade (IPV) sobre a Praia de Maria Farinha. Os Índices Parciais de Vulnerabilidade (IPVs) estão divididos em 5: Índice Parcial de Vulnerabilidade à Condições Morfológicas (IPVMC), Índice Parcial de Vulnerabilidade à Atributos Naturais (IPVAN), Índice Parcial de Vulnerabilidade à Influência Marinha (IPVIM), Índice Parcial de Vulnerabilidade à Processos Costeiros (IPVPC) e o Índice Parcial de Vulnerabilidade à Influência Antrópica (IPVIA).



Fonte- O Autor (2020)

5.7 Índice Global De Vulnerabilidade (IGV)

O Índice Global de Vulnerabilidade Máxima (IGVmax) tem o valor de 28,41. Os valores do IGVrel, passaram pela metodologia de quartis para serem separados em quatro classes de grau de vulnerabilidade (Tabela 12). Desta forma, foram espacializados os graus de vulnerabilidade à erosão costeira por pontos de coletas (Figura 25).

Na identificação dos graus de vulnerabilidade à erosão costeira (Tabela 12, 13 e Figura 25) conferiu-se que 88% da praia do Janga apresenta graus muito alto e alto de vulnerabilidade (Pontos 01 a 02 e 04 a 08) e 12% grau moderado (Ponto 03). No setor da praia de Pau Amarelo os graus de vulnerabilidade alta e máxima ocupam apenas 33% do trecho (Pontos 12, 13, 15 e 17), o grau de vulnerabilidade moderado 42% (Pontos 9 a 11, 16 e 20) enquanto apenas 25% da praia apresenta vulnerabilidade baixa (Pontos 14, 18 e 19). No caso do setor da praia de Maria Farinha, 56% dele apresenta baixo grau de vulnerabilidade (Pontos 22, 23, 24, 28 e 29), 11% foi classificado como grau moderado (Ponto 21) e 33% como muito alto o grau de vulnerabilidade (Pontos 25 a 27).

De maneira geral, observa-se que o trecho mais ao sul da área de estudo (Praia do Janga e parte da praia de Pau Amarelo) é mais vulnerável que o trecho mais a norte (parte da praia de Pau Amarelo e praia de Maria Farinha).

Tabela 13- Tipificação do Grau de Vulnerabilidade da Área Costeira de Paulista- PE

Quartil	IGV Relativo	Grau de Vulnerabilidade
Primeiro (25%)	34,08%	Baixo (0 – 34,08)
Segundo (50%)	38,14%	Moderado (34,09 – 38,14)
Terceiro (75%)	41,79%	Alto (38,15 – 41,79)
Quarto (100%)	50,62%	Muito Alto (41,80 – 50,62)

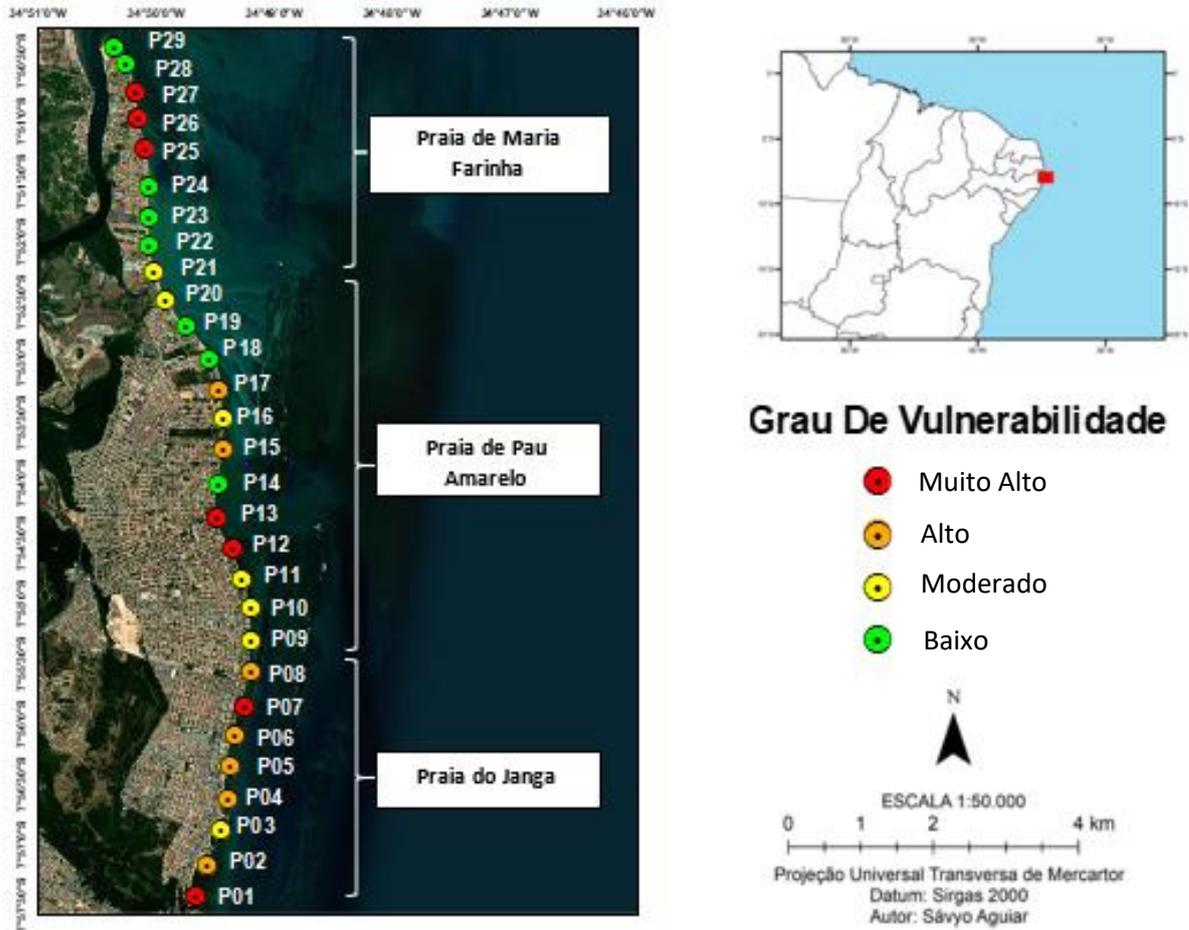
Fonte- O Autor (2020)

Tabela 14- Valores dos Índices Globais de Vulnerabilidade (IGVs) e Índices Globais de Vulnerabilidade Relativo (IGVrel) obtidos para cada ponto no Litoral do Município de Paulista/PE, coloridos conforme o grau de vulnerabilidade, sendo a cor verde para baixo grau de vulnerabilidade, amarelo para moderado grau, laranja para alto grau e vermelho para o grau muito alto.

PONTOS	IGV	IGVrel	Grau de Vulnerabilidade
1	14,38	50,62	Muito Alto
2	10,93	38,46	Alto
3	10,84	38,14	Moderado
4	11,87	41,79	Alto
5	11,69	41,15	Alto
6	11,77	41,41	Alto
7	12,26	43,15	Muito Alto
8	11,49	40,44	Alto
9	10,36	36,45	Moderado
10	10,36	36,45	Moderado
11	10,36	36,45	Moderado
12	11,89	41,85	Muito Alto
13	12,3	43,3	Muito Alto
14	9,68	34,08	Baixo
15	10,91	38,39	Alto
16	10,11	35,6	Moderado
17	10,93	38,47	Alto
18	7,36	25,9	Baixo
19	9,19	32,35	Baixo
20	10,35	36,45	Moderado
21	10,68	37,61	Moderado
22	8,95	31,52	Baixo
23	8,54	30,06	Baixo
24	8,99	31,64	Baixo
25	12,51	44,04	Muito Alto
26	12,24	43,07	Muito Alto
27	12,07	42,47	Muito Alto
28	8,74	30,77	Baixo
29	8,74	30,77	Baixo

Fonte- O Autor (2020)

Figura 25-Espacialização do grau de vulnerabilidade à erosão costeira através dos pontos de coleta nos seus respectivos setores praias.



Fonte- O Autor (2020)

6 DISCUSSÃO

As taxas de progradação e erosão para o período de 1975 a 2018 expressam uma realidade a médio prazo. Este cenário evidencia uma frágil situação para o litoral do município de Paulista, em especial nas praias do Janga e porção sul da praia de Pau Amarelo (dos pontos 01 ao 16), que apresentam comportamento erosivo (Figura 10), embora em grande parte com taxas menores que 0,5 m/ano, sendo classificadas pela metodologia de Mallmann (2010) como em estabilidade (Figura 19 e Tabela 10). Essa tendência a médio prazo prossegue no presente mesmo na presença de obras costeiras (Figuras 14 e 19).

Com a construção dessas obras rígidas, os processos costeiros tendem a seguir a dinâmica destes novos objetos fixados, principalmente, quando a faixa praial se encontra impermeabilizada, inibindo a disponibilização de sedimentos para a praia e gerando a erosão em trechos vizinhos a obra.

Essas modificações trouxeram à tona questionamentos sobre a eficácia das obras construídas ao longo da linha de costa e da faixa de praia. Sobretudo, em relação aos *bagwalls* que segundo Neves (2003) tiveram uma crescente utilização nos projetos de defesa costeira do Brasil, principalmente, em relação ao custo/benefício que, em conformidade com Lyra *et al.* (2017), foi o motivo preponderante que levou o município de Paulista a optar, em caráter emergencial, por esta nova tecnologia de contenção.

A construção de uma obra costeira necessita de planejamento, ela não tem somente a função de proteger a linha de costa do processo de recuo, como também de garantir a presença e a manutenção da praia. Além disso, sua construção deve levar em conta seus efeitos nas áreas vizinhas. Como ratifica Nordstrom (2010), é necessário buscar uma maior eficácia nas ações citadas para encontrar soluções que tragam benefícios ambientais no controle da erosão costeira e da reparação ao ambiente praial.

Por esse motivo, faz-se necessário afirmar que as obras presentes ao longo do litoral estudado não exercem a sua função essencial. De todas as obras presentes no litoral de Paulista, apenas mostraram ser parcialmente efetivos os quebra-mares da praia do Janga, pois os mesmos permitiram certa acumulação de sedimentos, ainda que descontínua (Figuras 7 e 14). Em algumas situações permitiram também a manutenção da praia recreativa na maré alta (Figura 14).

Em contrapartida, os *bagwalls*, os enrocamentos e a barreira de troncos, em sua totalidade não estabilizaram a erosão, e tão pouco garantiram a manutenção da praia, deixando mais evidente a baixa eficácia do tipo de obra presente para o litoral de Paulista, motivando assim, o agravamento da vulnerabilidade à erosão, já que, uma vez construída a obra, os resultados esperados envolvem a manutenção, a proteção e a preservação da faixa praial.

Antes de iniciar a construção de uma obra costeira para que se consiga atingir seus objetivos finais, seja ela qual for, se faz necessário entender o grande dinamismo da costa que advém da complexa interação dos processos erosivos e deposicionais relacionados com a ação de ondas, correntes de maré e correntes litorâneas, sem desprezar as questões antrópicas (ROSSETI, 2008).

De acordo com o Sistema de Modelagem Costeira (SMC-Brasil) na região estudada o regime de ondas tem predominância nas direções Leste-Sudeste (ESE) e Sudeste (SE) que determinam um transporte litorâneo potencial direcionado para Norte (N). A principal fonte de sedimentos no litoral de Pernambuco, situado a sul da área de estudo é o Rio Capibaribe com vazão média de $2,885 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e o Beberibe com vazão média de $0,388 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (ANDRADE, 2013; MARTINS, 2017).

O Porto do Recife, localizado a 14 km a sul da área pesquisada e situado entre os rios Capibaribe e Beberibe, apresenta um molhe hidráulico, construído em meados de 1914 que freia a corrente costeira, provocando escassez de sedimentos nos setores situados a sotamar, gerando, por consequência, erosão e recuo de linha de costa, como está ocorrendo na área de influência do Porto, onde situam-se as cidades de Olinda e Paulista (MAI, 2008).

É relevante pontuar que os problemas decorrentes da erosão no litoral de Olinda não são atuais e que segundo Carneiro (2003) as intervenções neste litoral foram realizadas na década de 1950 como forma emergencial e descontínua, logo após a ampliação do Porto do Recife (CPRH, 2003). A construção dessas obras para contenção do avanço do mar, ao longo do litoral de Olinda, provocou a interrupção do fluxo de sedimento em alguns trechos e a perda de areia das praias, tendo como resultado o agravamento do processo erosivo. Carneiro (2003) destaca que as intervenções no Porto do Recife objetivavam proteger o mesmo de ações causadas pelas ondas. Em 1954 iniciaram novos estudos que visavam uma proposta inovadora para a proteção das praias. Em 1958 as obras começaram e em 1962 as intervenções foram concluídas parcialmente, por esse motivo, só foram construídos três espigões curtos no Norte de Olinda,

dos seis que estavam no planejamento. Esses três que não foram construídos seriam fixados na parte Sul de Olinda (CPRH, 2003).

Antes da conclusão das obras foi observado que o mar continuava avançando na parte Norte do litoral de Olinda. Nessa ocasião, no intuito de conter a erosão, foi recomendada a construção de mais trinta e cinco espigões curtos no Setor Central, espaçados cerca de 50 metros, ligados por uma muralha aderente de pedras soltas (CARNEIRO, 2003). As obras executadas garantiram a proteção da orla de Olinda, entretanto não houve preocupação com a regeneração das praias. À medida que a cidade se expandia em direção ao norte, o problema da erosão mostrava-se incontido tornando-se mais grave (CPRH, 2003).

Conforme Carneiro (2003), os processos erosivos continuaram destruindo as praias ao Norte de Olinda. Diante deste fato, a Empresa de Obras Públicas do Estado (EMOPER) solicitou ao Instituto de Pesquisas Hidroviárias (INPH) a elaboração de novos projetos visando à proteção do litoral no trecho entre o Quartel da Polícia Especial do Exército e a foz do rio Doce/Jaguaribe. O resultado motivou a construção de sete quebra-mares paralelos à costa (Setor Norte) entre os anos de 1977 e 1985, com eventual engordamento artificial das praias, sendo finalizado com a execução do guia corrente (molhe hidráulico) na foz do rio Doce/Jaguaribe que é a divisa entre o Município de Paulista e Olinda.

Diante do panorama histórico-temporal do litoral de Olinda, compreende-se que há uma realocação dos processos erosivos sentido Norte, o qual é chamado de “Efeito Dominó”, e que, segundo Cabral *et al.*, (2014), chega às praias do município de Paulista como uma catástrofe.

Nos dias atuais, encontramos a junção de diversos problemas para a causa da erosão no litoral de Paulista, sendo os principais deles: o decréscimo na vazão dos sedimentos provenientes dos rios Capibaribe e Beberibe (SOUZA, 2011) e, por consequência, a diminuição dos sedimentos disponíveis para serem transportados pela deriva litorânea. Este baixo aporte sedimentar acaba sendo intensificado pelas configurações das linhas de recifes de arenito (LGGM, 2000). A contribuição relativa de cada um desses fatores é pouco conhecida, no entanto, sabe-se que a ocupação do ambiente praias por edificações ou outras estruturas dificulta a sedimentação, impedindo a manutenção do equilíbrio sedimentar natural de cada praia (ESTEVEZ & SANTOS, 2001).

Essas ocupações estão presentes em todo o litoral estudado, de forma mais densa nos setores das praias do Janga e Pau Amarelo (Figuras 7, 8 e 20) enquanto na praia de Maria Farinha as ocupações são espaçadas (Figuras 9 e 20). No que tange à praia de Maria Farinha, o problema é concentrado entre os pontos 25 e 27 em virtude das construções residenciais que foram fixadas sobre o estirâncio, intensificando os processos erosivos e aumentando a vulnerabilidade à erosão costeira do local.

Segundo a metodologia de Mallmann (2010), o setor mais vulnerável a erosão do município de Paulista é o da praia do Janga, seguida pela praia de Pau Amarelo e o setor menos vulnerável o da praia de Maria Farinha (Tabela 13 e Figura 25).

Considerando-se a espacialização dos resultados encontrados em cada Índice Parcial de Vulnerabilidade (IPV) e a discussão dos mesmos, é compreendida a necessidade de entender qual a influência que cada índice parcial exerce sobre os setores praias presentes no litoral estudado.

Dos índices parciais, o que mais colabora para a vulnerabilidade em todos os setores é o Índice Parcial de Vulnerabilidade Associado à Morfologia Costeira (IPVMC) (Tabela 9 e Figuras 22, 23 e 24). Esse índice é o que contém o grupo de descritores que caracterizam a faixa de praia, como largura e inclinação do pós-praia, e estes descritores tornam o IPVMC o índice parcial mais atuante em todos os setores estudados (Tabela 9). Isso ocorre, porquê além de se constatar ausência de pós-praia em um longo setor da área estudada, mesmo quando este era verificado, o pós-praia caracterizava-se por ser estreito (APÊNDICE C e D).

Foi constatado através do Índice Parcial de Vulnerabilidade associado à Morfologia Costeira (IPVMC) e Índice Parcial de Vulnerabilidade Associado à Presença de Atributos Naturais (IPVAN) que os recifes paralelos à costa têm uma grande influência sobre o litoral, principalmente, nas áreas do setor das Praias de Pau Amarelo e Maria Farinha, em específico no descritor 'tipo de orla', reduzindo assim a vulnerabilidade, mesmo todos eles sendo submersos, visível somente nas marés entre -0,1m e 0,3m.

Se faz pertinente pontuar que nos pontos onde estão localizados os enrocamentos e boa parte dos *bagwalls* (Pontos 09 ao 17) não há faixa de praia em nenhum cenário da variação da maré, logo então, a capacidade recreativa, turística e econômica do litoral é diminuída permanentemente. Se um litoral não apresenta faixa praial, ele não vai ser visto como um ambiente economicamente e socialmente ativo. Além disso, a presença de obras costeiras

produz duas consequências negativas: i) a poluição visual e ii) a recreação inviabilizada no estirâncio e no pós-praia.

Com base na Lei Nº 4.726/2017 que institui o Plano Municipal de Gerenciamento Costeiro do Município de Paulista, pontua-se que:

Para áreas urbanas consolidadas, não será permitido qualquer tipo de instalação de novas construções, urbanização ou outra forma de utilização do solo na zona costeira, na faixa de 33 m (trinta e três metros), considerada como “non aedificandi”, medidos perpendicularmente em direção ao continente, a partir da linha de preamar máxima da sizígia atual, podendo ser superior quando precedida de estudo técnico, ressalvadas aquelas a serem localizadas em loteamentos regularmente aprovados até a data de publicação desta Lei.

Esses resultados demonstram a real face da influência antrópica sobre o ambiente praiial, tendo em vista que ao longo dos últimos 43 anos, este mesmo litoral passou por diversas mudanças causadas pelo processo da intensificação urbana, sendo o principal deles a expansão do Porto do Recife que, mesmo à 14 km de distância, influencia diretamente na realidade costeira da área estudada. Embora com essa influência, foram obtidos baixos valores para o Índice Parcial de Vulnerabilidade à Influência Antrópica (IPVIA), entendendo, assim, que a influência antrópica existente na área estudada é resultante de ações que a antecedem e que ocorrem nas vizinhanças da área estudada, e por essas razões, não foram abarcadas pela metodologia utilizada. Para o trecho estudado os valores do IPVIA foram baixos em especial por causa dos descritores tipo de construção residencial (predominantemente casas) e localidade da primeira faixa de construção (em geral, atrás do pós-praia - o que se dá em alguns pontos, inclusive por que não há mais pós-praia) (Figura 20). Se a metodologia de Mallmann (2010) incluísse alguma variável a respeito da influência de portos e de obras de áreas vizinhas, poderiam haver valores mais altos para o IPVIA. Diante disso, percebe-se uma limitação da metodologia utilizada. Sendo assim, abre-se espaço para novos debates visando uma adaptação para cada área a ser estudada.

No caso da Praia de Pau Amarelo se repetiu a situação da Praia do Janga, onde boa parte do litoral deste setor vem apresentando uma linha de costa tomada por obras rígidas, mas, mesmo assim, o IPVIA não representou contribuição significativa para o IGV (Tabela 9 e Figura 23). O índice que tem a sua influência ressaltada é o atrelado às condições morfológicas (IPVMC) tendo em vista que este setor não apresenta faixa de praia em quase todo o seu

segmento costeiro, no que influencia diretamente nos descritores largura e inclinação do pós-praia.

No caso do setor da Praia de Maria Farinha (Tabela 9 e Figura 24) a tipologia de orla, largura e inclinação da faixa de praia também não foram classificadas com pesos baixos. Vale ressaltar que as únicas localidades que apresentaram resultados diferentes são os pontos 28 e 29, devido à proximidade da desembocadura do rio Timbó e do Canal de Santa Cruz, sofrendo assim, uma maior influência dos atributos naturais (Figura 24).

No que diz respeito às áreas prioritárias para o gerenciamento costeiro, por mais que os setores das praias do Janga e Pau Amarelo revelam-se com maior grau de vulnerabilidade (Figura 25 e Tabela 13) isso não exclui o setor da praia de Maria Farinha de fazer parte também de um projeto de gerenciamento, dado que este último setor fazer parte do mesmo litoral e, conseqüentemente, responderá por todas as ações exercidas nas localidades ao sul, em especial considerando a deriva litorânea predominante para norte no município (Figura 6 e Tabela 9).

Em relação a outros municípios do litoral sul do estado de Pernambuco, estudados pela mesma metodologia, o município de Paulista apresenta uma maior quantidade de atributos antrópicos ao longo de boa parte da costa, especialmente, no quesito obras costeiras. Em contrapartida, os estudos feitos por Mallmann (2010) apresentaram uma grande influência dos atributos naturais, como mangues, afloramentos rochosos, arrecifes e desembocaduras dos rios que funcionam como fontes de sedimentos, diminuindo assim, os processos erosivos.

Em relação aos Índices Globais de Vulnerabilidade (IGVs) no trabalho de Mallmann os que mais se destacaram foram os que sofrem influência dos centros urbanos, onde apresentam a junção dos Índices Parciais de Vulnerabilidade (IPVs) atrelados à condições morfológicas, processos costeiros e influência antrópica. Já neste trabalho, os valores dos IGVs foram influenciados pelos Índices Parciais de Vulnerabilidade (IPVs) atrelados à condições morfológicas, a influência de atributos naturais e a processos costeiros.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação de mestrado assumiu como objetivo geral a identificação da vulnerabilidade à erosão costeira no município de Paulista/PE, tendo como cerne principal a correlação entre os agentes da dinâmica natural mais as intervenções antrópicas locais, especialmente, no que diz respeito à ocupação e à construção de infraestruturas de proteção costeira.

Com isso, ao longo de todos os procedimentos metodológicos, foram concebidas informações cruciais para o entendimento das problemáticas que se fazem presentes ao longo da linha de costa e faixa praial estudada. Informações essas que foram encontradas, esmiuçadas, analisadas e compreendidas no intuito de melhoramento das ações antrópicas sobre esses espaços que vêm sendo modificados há anos, principalmente, entre o espaço-tempo de 1975 a 2018.

Constatou-se que todo o litoral estudado vem sendo reflexo de ações exercidas no passado, fortalecendo a ideia da realocação dos processos erosivos que são causadas pela expansão do Porto do Recife a partir de 1914 e da implantação de obras rígidas sobre o litoral do município de Olinda a partir da década de 1950. Essas ações acabam indo de encontro com a configuração do litoral do Município de Paulista que já apresentava predisposição aos processos erosivos como em qualquer outro litoral, porém tendo um gradativo aumento na vulnerabilidade à erosão a partir das ações antrópicas.

Pontuou-se que com a diminuição do transporte de sedimentos próximo à costa, a faixa de praia foi se tornando cada vez mais estreita por falta do processo de acumulação, deixando a linha costeira exposta às ações hidrodinâmicas e causando acentuados recuos na área diretamente atingida.

Ratificou-se que com a variabilidade da linha costeira, inúmeras áreas foram enquadradas como vulneráveis à erosão, principalmente, nas áreas de adensamento urbano que vêm se solidificando gradualmente nos espaços que compreendem a parte de atrás do pós-praia. Com isso, o resultado da soma entre a variabilidade da linha costeira e do adensamento urbano, acabou atribuindo em uma descaracterização da paisagem praial, artificializando, enrijecendo e desconfigurando as características naturais.

Observou-se que a descaracterização da paisagem trouxe consigo uma intensificação das problemáticas ambientais atreladas aos agentes erosivos,

principalmente, nos setores das Praias do Janga e Pau Amarelo, onde estão localizadas todas as obras rígidas. Esses mecanismos rígidos que teoricamente deveriam apresentar resultados positivos, foram vistos como perpetuadores das ações erosivas somados a desvalorização da faixa praial que teve sua característica recreativa inviabilizada por essas obras.

Evidenciou-se que por meio desses mecanismos rígidos a ação erosiva foi sendo deslocada da Praia do Janga para a Praia de Pau Amarelo, retirando por quase completa toda a faixa de areia que era encontrada dez anos atrás. Por meio disso, é denotada uma vulnerabilidade muito alta ao longo da área estudada, seja ela por questões naturais ou pelas ações mal pensadas que levaram as construções fixas na área de quebra das ondas como na linha de costa.

Afirma-se que toda a área estudada, vem sendo influenciada por aspectos atrelados a morfologia costeira e a influência marinha, ambos modificados e intensificados cotidianamente por forças antrópicas. Reforçando ainda mais o pensamento de quando o ambiente costeiro não apresenta equilíbrio e características adequadas, a força motriz desse mesmo ambiente tende a fazer a sua retomada, causando assim, numerosas adversidades, que vão além da vulnerabilidade à erosão costeira.

Por fim, o entendimento sobre a vulnerabilidade à erosão costeira permeia inúmeros campos do saber e isso leva a entender que todas as problemáticas vistas e discutidas nesta pesquisa devam ser corrigidas em estudos interdisciplinares. Estudos esses, que ajudarão em um planejamento urbano e em um gerenciamento costeiro mais horizontal, dando mais espaços para as forças da natureza, respeitando os limites do meio ambiente praial.

8 REFERÊNCIAS

- ABUODHA P, WOODROFFE C. D. (2006) *International assessments of the vulnerability of the coastal zone to climate change, including an Australian perspective*, Australian Greenhouse Office , Department of the Environment and Heritage, September 2006, 75p.
- ADGER, W. N. (2006) *Vulnerability Global Environmental Change*, v.16, p.268-81.
- ARUN, K.; PRAVIN, D. K. (2012). Coastal vulnerability assessment for Chennai, east coast of India using geospatial techniques. *Natural Hazards*, 64 853-872 p.
- BLAIKIE P, CANNON T, DAVID I, WISNER B. (1994) *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability, and Disasters*, London, Routledge.
- BORUFF, B. J. EMRICH, C. CUTTER, S. L. (2005). *Erosion hazard vulnerability of US Coastal Counties*. *Journal of Coastal Research*, West Palm Beach, Florida, v. 21, n. 5, 932-42 p.
- BRICIO, L.; NEGRO, V.; (2008). *Geometric Detached Breakwater Indicators on the Spanish Northeast Coastline*. *Journal of Coastal Research*, 24:5. 1289-1303 p.
- BROOKS, N. (2003) *Vulnerability, risk and adaptation: A conceptual framework*. Working Paper 38. Tyndall Centre for Climate Change Research.
- BRUUN, P. 1995. *The Development of Downdrift Erosion*. *Journal of Coastal Research*, 11: 1242-1257.
- BUSH, D. M. (1999). *Utilization of geoindicators for rapid assessment of coastal- hazard risk and mitigation*. *Ocean Coast Manag* 42:647–670 p.
- CABRAL, C. J.; SILVA, W. F.; GIRÃO, O. (2014). Impactos ambientais derivados do uso e ocupação da linha de costa em trechos das praias de Pau Amarelo e Maria Farinha – município de Paulista/PE: Estudo preliminar. *Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)*, Sobral – CE, v. 16, n. 1, p.74-88 p.
- CAPOBIANCO, M. (1999). *Coastal area impact and vulnerability assessment: the point of view of a morphodynamic modeller*. *Journal Of Coastal Research*. v. 15, p. 701-716 p.
- CARTER, R.W.G. (1988). *Coastal Environments*. Academic Press, San Diego, CA

- CERC- Coastal Engineering Research Center. (1984). *Shore Protection Manual*. U.S. Army Corps of Engineers. Washington, D.C. v. I, 597 p. c. II, 603 p.
- CHARLIER, R. H.; CHAINEUX, C.P. & MORCOS, S. (2005). *Panorama of the coastal Protection*. Journal of Coastal Research, 21:79-111.
- CLARK, G.E.; MOSER, S.C.; RATICK, S.J.; DOW, K.; MEYER, W.B.; EMANI, S.; JIN, W.; KASPERSON, J.X.; KASPERSON, R.E., and SCHWARZ, H.E. (1998). *Assessing the vulnerability of coastal communities to extreme storms: the case of Revere, MA, USA*. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 3, 59–82.
- COOPER, J. A. G. and McLAUGHLIN, S. (1998). *Contemporary multidisciplinary approaches to coastal classification and environmental risk analysis*. Journal of Coastal Research, 14, (2), 512-524.
- COUTINHO, P. N. (1993). *Compartimentação geológico-geomorfológica da faixa costeira norte de Pernambuco (Folha Itamaracá)*. XV Simp. De Geol. Do Nordeste.
- CPACC- Caribbean Planning For Adaptation To Global Climate (2009). *Technical Report*. TR98002, 44 p.
- CPRH- Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (2003). *Diagnóstico Socioambiental Litoral Norte*. 213 p.
- CRUZ DE OLIVEIRA, S.M.; CATALÃO, J.; SOUSA, C. & DIAS, J.A. (2003). *Aplicação de Técnicas Fotogramétricas e Ambientes SIG no Estudo do Recuo da Linha de Costa - Área do Forte Novo-Trafal, Algarve*.
- DAL CIN, R; SIMEONI, U. (1994). *A model for determining the classification, vulnerability and risk in the suthern coastal zone of the Marche (Italy)*. Journal of Coastal Research, v. 10, 18-29 p.
- DAVIDSON-ARNOTT, R. (2010). *Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*. New York: Cambridge University Press.
- DIAS, J.A. (2005). *Estudo sintético e diagnóstico da geomorfologia e da dinâmica sedimentar dos troços costeiros de entre Espinho e Nazaré*.
- DIEZ, P. G.; PERILLO, G. M. E.; PICCOLO, M. C. (2007). *Vulnerability to sea- level rise on the coast of the Buenos Aires Province*. Journal of Coastal Research, v. 23, 119-126 p.

- DOMINGUEZ, J. M. L., BITTENCOURT, A. C. S. P., MARTIN, L. (1992). *Controls on Quaternary coastal evolution of the east-northeastern coast of Brazil: Roles of sea-level history, trade winds and climate*. *Sedimentary Geology*, Amsterdam, 80: 213-232 p.
- DOWNING T. E., PATWARDHAN A. (2004). *Assessing vulnerability for climate adaptation*. In: *Adaptation Policy Frameworks for Climate Change: Developing Strategies, Policies, and Measures*. Cambridge University Press.
- DWARAKISH, G.S. (2009). *Coastal vulnerability assessment of the future sea level rise in Udupi coastal zone of Karnataka state, west coast of India*. *Ocean & Coastal Management* 52(9) 467-478 p.
- ESTEVEVES, L. S. & SANTOS, I. R. (2001). *Impacto econômico da erosão na praia do Hermenegildo (RS), Brasil*. *Pesquisas em Geociências*, 28(2):393-403.
- ESTEVEVES, L.S., (2014). *Managed realignment: A viable long-term coastal management strategy?* SpringerBriefs in Environmental Science. New York: Springer.
- Fanos, A.M; Khafagy, A.A. & Dean, R.G. (1995). *Protective Works on The Nile Delta Coast*. *Journal of Coastal Research*, 11: 2. 516-528.
- FLAX, L.K.; JACKSON, R.W.; STEIN, D.N. (2002). *Community vulnerability assessment tool methodology*. *Natural Hazards Review*, 3(4), 163–176 p.
- FRIHY, O. E. (2001). *The necessity of environmental impact assessment (EIA) in implementing coastal projects: lessons learned from the Egyptian Mediterranean Coast*. *Ocean & Coastal Management*, 44: 489-516.
- FRIHY, O. E.; SHEREET, S. M.; BANNA, M. M. E. (2008). *Pattern of Beach Erosion and Scour Depth along the Rosetta Promontory and their Effect on the Existing Protection Works, Nile Delta, Egypt*. West Palm Beach, Florida, 24:4.857-866 p.
- GARCIA-MORA, M. R. (2001). *A coastal dune vulnerability classification – A case study of the SW Iberian Península*. *Journal of Coastal Research*, v. 17, p. 802- 811 p.
- GILLIE, R.D. (1997). *Causes of coastal erosion in Pacific island nations*. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 24, 173-204.
- GORNITZ, V; KANCIRUK, P. (1989). *Assessment of global coastal hazards from sea-level rise*. *Proceedings of the 6th Symposium on Coastal and Ocean management, ASCE*, 11-14 p.

- GORNITZ, V.M.; BEATY, T.W.; DANIELS, R.C. (1997). *A Coastal Hazards Data Base for the US West Coast*. Oak Ridge, Tennessee: Oak Ridge National Laboratory, 162 p.
- GRANJA, H.M. & CARVALHO, G.S. (1995). *Is the Coastline "Protection" of Portugal by Hard Engineering Structures Effective?* Journal of Coastal Research, 11: 4. 1229-1241.
- GRIGGS, G. B. (1999). *The Protection of California's Coast: Past, Present and future*. Shore and Beach, 67: 1. 18-28 p.
- GRIGGS, G.B. (2005). *The Impacts of Coastal Armoring*. Shore & Beach, 73: 1. 13-22.
- HANSON, H.; BRAMPTON, A.; CAPOBIANCO, M.; DETTE, H.H.; HAMM, L.; LAUSTRUP, C.; LECHUGA, A. & SPANHOFF, R. (2002). *Beach nourishment projects, practices, and objectives-a European overview*. Coastal Engineering, 47. 81-111.
- HINKEL J E KLEIN R. J. T. (2007). *Integrating knowledge for assessing coastal vulnerability to climate change*. In: Managing coastal vulnerability pp 61-77. Amsterdam, The Netherlands, Elsevier Science.
- HINKEL J. E. (2011). *Indicators of vulnerability and adaptive capacity: towards a clarification of the science-policy interface*. Global Environmental Change, 21, 198-208.
- HOMSI, A. (1978). *Wave Climate in some zones of the Brazilian Coast*. Proceedings of the 16th Coastal Engineering Conference. ASCE. Hamburg, Germany.
- HOGBEN, N. AND LUMB, P. (1967). *Ocean Wave Statistics*. Ministry of Technology, HMSO, London, 263 pp.
- HSU, B. J. R. C. & SILVESTER, R. (1990). *Accretion Behind Single Offshore Breakwater*. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 116: 3. 362-380.
- HSU, T.W.; JAN, C.D. & WEN, C.C. (2003). *Modified McCormicks model for equilibrium shorelines behind a detached breakwater*. Ocean Engineering, 30. 1887-1897.
- HSU, T.W.; LIN, T.Y.; TSENG, I.F. (2007). *Human Impact on coastal Erosion in Taiwan*. Journal of Coastal Research, 23: 4. 961-973 p.
- IONESCU, C.; R.J.T. KLEIN; K.S. KAVI KUMAR; J. HINKEL AND R. KLEIN.(2005) *Towards a Formal Framework of Vulnerability to Climate Change*. Ne Water Working Paper 2 and FAVAIA Working Paper 1. Potsdam Institute for Climate Impact Research, Potsdam, Germany, ii+20 pp.

- IPCC- The Intergovernmental Panel on Climate Change (1991). *IPCC Common Methodology (CM)*. Update provided in Appendix C in IPCC
- KATES, R. W., (1985). *The Interaction of Climate and Society* . Climate Impact Assessment: Studies of the Interaction of Climate and Society, John Wiley, pp. 3-36.
- KAWAKAMI, T.; KUMAGAI, K.; YAMASHITA, T. & TANAKA, S. (1995). *Typical Examples of Beach Erosion and Countermeasures in Japan*. Proc. Int. Conf. 'Coastal Change 95' Bordomer-IOC, Bordeaux, p 981.
- KEGEL, W. (1955). Geologia do fosfato de Pernambuco. Div. Geol. Min. DNPM. Vol. 157,54 p.
- KEGEL, W. (1957). Novo membro fossilífero da Formação Itamaracá (Cretácio superior de Pernambuco). Anais Acad. Bras. Cienc., 29:373-375 p.
- KRAUS, N. C.; DOUGAL, W.G. (1996). *The Effects of Seawalls on the Beach: Part I, An Updated Literature Review*. Journal of Coastal Research, 12:3. 691-701 p.
- LGGM- Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha (1992). Macrozoneamento costeiro do litoral de Pernambuco: Folha Itamaracá- SB.25-Y-CVII. Relatório Técnico. DEMI/UFPE. Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- LIZÁRRAGA-ARCINIEGA, R.; ALBRETCHSEN, C.M.A.; FISCHER, D.W. (2001). *Planning for Beach Erosion: A Case Study, Playas de Rosarito, B. C. Mexico*. Journal of Coastal Research, 17: 3. 636-644 p.
- LUERS A. L, LOBELL D. B, SKLAR L. S, ADDAMS C. L, MATSON P. A. (2003). *A method for quantifying vulnerability, applied to the Yaqui Valley, Mexico*. *Global Environmental Change*, 13, 255-267.
- MABESOONE, J. M.; ALHEIROS, M. M, (1988). Origem Da Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco-Paraíba, Revista Brasileira de Geociencias 18(4):476-482 p.
- MAHAPATRA M, RAMAKRISHNAN R, RAJAWAT A.S. (2013). *Coastal vulnerability assessment using analytical hierarchical process for South Gujarat coast, India*. *Natural Hazards*, 76, 139-159.
- MALLMANN, D. L. B; ARAÚJO, T. C. M. (2010). Vulnerabilidade Física Do Litoral Sul De Pernambuco À Erosão. *Tropical Oceanography*, Recife, v. 38, n. 2, 130-152 p.

- MANGOR, K. (2004). *Shoreline Management Guidelines*. DHI Water & Environment. Horsholm, Denmark. 294 p.
- METZGER M.J.; LEEMANS R.; SCHRÖTER. D (2005) *A multidisciplinary multi-scale framework for assessing vulnerabilities to global change*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, **7**, 253-267.
- MORENO, A.; BECKEN, S. (2009). *A climate change vulnerability assessment methodology for coastal tourism*. Journal of Sustainable Tourism, 17(4), 473–488 p.
- MORTON, R. A. (1988). *Interactions of Storms, Seawalls, and Beaches of the Texas Coast*. In The Effects of Seawalls on the Beach, N.C. Kraus and O.H. Pilkey (editors), Journal of Coastal Research, SI 4: 115-136 p.
- MUEHE, D. (2001) Critérios morfodinâmicos para o estabelecimento de limites da orla costeira para fins de gerenciamento In: Revista Brasileira de Geomorfologia. vol. 2. n° 1. 35-44 p.
- MURALI, R.M. (2013). *Coastal vulnerability assessment of puducherry coast, India using analytical hierarchical process*. Natural Hazards, earth system Science Discussion 1 509-559 p.
- NGUYEN, T., BONETTI, J., ROGERS, K., WOODROFFE. D. C., (2016). *Indicator-based assessment of climate-change impacts on coasts: A review of concepts, methodological approaches and vulnerability indices*. Ocean & Coastal Management v. 123, p. 18-43, 2016.
- NICHOLLS, R. J; HOOZEMANS, F. M. J; MARCHAND, M. (1999). *Increasing flood risk and wetland losses due to global sea-level rise: regional and global analyses*. Flood Hazard Research Centre, Middlesex University, Enxeld, London.
- NICOLODI, J. L.; PETERMANN, R. M. (2011). *Vulnerability of the Brazilian Coastal Zone in its Environmental, Social, and Technological Aspects*. Journal of Coastal Research, v. SI 64, 1372-1379 p.
- PENDLETON, E. A.; WILLIAMS, S. J.; THIELER, E. R. (2007). *Coastal vulnerability assessment of Assateague Island National Seashore (ASIS) to sea- level rise*. U.S. Geological Survey Open-File Report 2004-1020, Electronic Book. 20p.
- PILARCZYK K.W. (2003). *Alternative systems for coastal protection an overview*. In: International Conference on Estuaries and Coasts, Hangzhou, pp. 409-419. 32

- PORTO NETO, F. F. (1998). Variação nictemeral e sazonal do zooplâncton no canal de Santa Cruz-Itamaracá, PE. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 146 p.
- RANASINGHE R., TURNER I.L. (2006). *Shoreline response to submerged structures: A review*. Coastal Engineering, 53: 65-79.
- RAYBOULD, M. & MULES, T. (1999). *A Cost-benefit study of protection of the northern beaches of Australia's Gold Coast*. Tourism economics, 5:2. 121-139.
- ROSSETTI, D. F. (2008) Ambientes Costeiros. In:____. Florenzano, T. G (org.). Geomorfologia: Conceitos e Tecnologias Atuais. São Paulo: Oficina de Textos.
- SHARPLES, C. (2006). *Indicative Mapping of Tasmanian Coastal Vulnerability to Climate Change and Sea-Level Rise: Explanatory Report (Second Edition)*; Consultant Report to Department of Primary Industries & Water, Tasmania, 173 p.
- SILVA, E. R. M. (2014). Avaliação da suscetibilidade e vulnerabilidade ocasionadas pela previsão de elevação do nível do mar no litoral de Paulista – PE-Brasil. Dissertação de Mestrado em Geologia Ambiental e Sedimentar – Universidade Federal de Pernambuco, Recife- PE. 118 p.
- SOUSA, P. H. G. O.; SIEGLE, E.; TESSLER, M. G. (2012). *Vulnerability assessment of Massaguaçu Beach (SE Brazil)*. Ocean and Coastal Management, 77,24–30 p.
- SOUZA, W. L. S. (2011) Produção de sedimentos da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe para a Zona Costeira da Região Metropolitana do Recife. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011,136p.
- STAUBLE, D.K. (2003). *The Use of Shoreline Change Mapping in Coastal Engineering Project Assessment*. Journal of Coastal Research, 38: 178-206 p.
- SUDHA RANI N. N.V, SATYANARAYANA A. N. V, BHASKARAN P. K. (2015) *Coastal vulnerability assessment studies over India: a review*. Natural Hazards, 77, 405-428.
- TATE, E. (2013). *Uncertainty Analysis for a Social Vulnerability Index*. Annals of the association of American Geographers, 103, 526-543.

- THIELER, E. R.; HAMMER-KLOSE, E. S. (2000). *National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise: Preliminary Results for the US Gulf of Mexico Coast*. Woods Hole, MA: United State.
- THOMALLA, F. & VINCENT, C.E. (2004). *Designing Offshore Breakwaters Using Empirical Relationships: A Case Study from Norfolk, United Kingdom*. *Journal of Coastal Research*, 20: 4. 1224-1230.
- TIMMERMANN, P. (1981). *Vulnerability, Resilience and the Collapse of Society*. Number 1 in Environmental Monograph. Institute for Environmental Studies. University of Toronto. Toronto, Canada.
- TORRESAN, A. ET AL (2012). *Assessment of coastal vulnerability to climate change hazards at the regional scale: the case study of the North Adriatic Sea*. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 12, no 7: 2347, 68 p.
- UNDRO- United Nations Disaster Relief Organization (1982). *Disasters*, 6(1), 72–72.
- USACE- Us Army Corps Of Engineers. (2002). *Longshore Sediment Transport*. In: USACE. *Coastal Engineering Manual – Chapter 2, Part III*. Vicksburg, Mississippi: EM 1110-2-1100, 113 p.
- WICKER, P.E. 1966. *Problems Of The New Jersey Beaches*. *Shore And Beach*. Abril: 3-7.
- WOOD, N.J.; GOOD, J.W., AND GOODWIN, R.F., (2002). *Vulnerability assessment of a port and harbor community to earthquake and tsunami hazards: integrating technical expert and stakeholder input*. *Natural Hazards Review*, 3(4), 148–157.
- WU, S.; YARNAL, Y.; FISHER, B. (2002). *A of coastal communities to sea-level rise: a case study of Cape May County, New Jersey, USA*. *Climate Research*, 22, 225–270 p.
- ZHANG, Y.; GUO, J.; CHE, Z. (2014). *Discussion on evaluating the vulnerability of storm surge hazard bearing bodies in the coastal areas of Wenzhou*. *Frontiers of Earth Science*, 9(2), 300–307 p.

APÊNDICE A- Planilha de Campo

NOME DA PRAIA _____ DATA _____ HORA _____

Nº PONTO ____ COORDENADAS UTM _____ / _____

Descritores	Pesos		
	1	2	3
<i>Condições Morfológicas IPVMC</i>			
Tipo de orla	Abrigada	Semi-abrigada	Exposta
Largura da pós-praia	Ampla (>70m)	Média (30-70m)	Estreita (<30m)
Inclinação da pós-praia	Íngreme (>30°)	Moderada (5-30°)	Suave (<5°)
Diâmetro médio do grão	Areia grossa (0,5-1mm)	Areia média (0,25-0,5mm)	Areia Fina (0,125-0,25mm)
<i>Atributos Naturais IPVAN</i>	1	2	3
Recifes paralelos à costa	Presente	-	Ausente
Manguezal	Presente	-	Ausente
Distância de foz de rio	Distante	Moderada (adjacências)	Próximo
Dunas ou cordões arenosos	Presente	-	Ausente
Afloramento rochoso	Ausente	-	Presente
<i>Influência Marinha IPVIM</i>	1	2	3
Variação de maré*	Micro (<2m)	Meso (2-4m)	Macro (>4m)
Tipo de arrebentação	Deslizante	-	Mergulhante
Largura da zona de surfe	Ampla	Média	Estreita
Praia recreativa na maré alta	Sim	-	Não
Altura estimada de onda	<0,5m	0,5-1m	>1m
<i>Processos Costeiros IPVPC</i>	1	2	3
Indicadores de erosão	Ausente	-	Presente
Indicadores de acumulação	Presente	-	Ausente
Taxa anual histórica de deslocamento de linha de costa **	> 0,5 m.ano-1	De -0,5 a 0,5 m.ano-1	> -0,5 m.ano-1
<i>Influência Antrópica IPVIA</i>	1	2	3

Urbanização na Faixa de Praia	Baixa (<30%)	Moderada (30-70%)	Alta (>70%)
Tipo de construções	Casas	-	Prédios
Local onde a primeira faixa de construções está assentada	Atrás da pós-praia	Pós-praia	Praia
Estrutura de proteção costeira	Ausente	-	Presente
Taxa de crescimento demográfico*	<10%. ano-1	10 a 20%. ano-1	> 20%.ano-1

* Dados obtidos ou calculados a partir de informações pré-existentes

** Dados obtidos a partir de fotografias aéreas

APÊNDICE B- Tabela de Taxas da Regressão Linear (*Linear Regression Rate-LRR*) e a tendência do R²

PRAIA	PONTOS DE COLETA	TRANSECTOS	LRR - TAXA DE PROGRADAÇÃO	LRR - TAXA DE EROSÃO	TAXA R ²
PRAIA DO JANGA	1	1		0,481	0,97147765
		2		-0,146325004	0,01983040
		3		-0,392965042	0,20750327
		4		-0,823106211	0,60717522
	2	5		-0,822034355	0,61184235
		6		-0,910176022	0,58149416
		7		-0,525802429	0,57092793
		8		-0,123077068	0,01780599
		9		0,101095674	0,01004371
		10		-0,006109345	0,03839610
		11		-0,289138575	0,09697401
		12		-0,465656875	0,21277157
		13		-0,639235734	0,32734123
		14		-0,831734166	0,43504839
	3	15		-0,406948332	0,09397265
		16		-0,994640254	0,41739224
		17		-1,261690326	0,558513928
		18		-1,274446618	0,533909647
		19		-1,393823013	0,613482896
		20		-1,231250945	0,546601423
		21		-0,887849089	0,309835973
		22		-1,307861371	0,603101022
		23		-1,246907261	0,617253444
		24		-1,058988852	0,648002934
	4	25		-0,249358657	0,069585646
		26		-0,298423152	0,148841794
		27		-0,399970349	0,314750213
		28		-0,438092672	0,305687288
		29		-0,149373027	0,094463632
		30		-0,049510995	0,010574778
		31	0,388291361		0,363725167
		32	0,354440037		0,34017044
		33	0,429462735		0,326020876
		34	0,063562334		0,011104283
	5	35		-0,02099653	0,001739154
		36		-0,184311117	0,133861206
		37		-0,174076201	0,027818775
		38		-0,258819328	0,125624067
		39		-0,446271121	0,411040177
		40		-0,367966568	0,337660571
		41	0,229425756		0,217969447
		42	0,124382053		0,026405016
		43	0,386583948		0,283400968
		44	0,414203683		0,576464502
	6	45		-0,08663	0,057557365
		46		-0,086488394	0,037038695
		47	0,119885872		0,036020936
		48	0,216817211		0,110331433
		49	0,311305572		0,16284438
		50		-0,024220443	0,00255862
		51		-0,167862979	0,124337497
		52		-0,276642129	0,243235335
		53		-0,292407826	0,221607646
		54		-0,307460369	0,236661738
	7	55		-0,336027549	0,257511563
		56		-0,406469481	0,299885308
		57		-0,661389783	0,597972748
		58		-0,585069644	0,482957507
		59		-0,516385066	0,441697462
		60		-0,418542357	0,496554465
		61		-0,391640363	0,474235173
		62		-0,312646053	0,440300242
		63		-0,191791024	0,496349719
		64		-0,122769875	0,317297355
	8	65		-0,3007	0,855099886
		66		-0,3007	0,719158772
		67		-0,4596	0,510625813

PRAIA DE PAU AMARELO

	68		-0,4579	0,575051185
	69		-0,4317	0,540493088
	70		-0,4129	0,628909102
	71		-0,5383	0,843797811
	72		-0,575	0,882181478
	73		-0,5658	0,940557631
	74		-0,1582	0,113119568
	75		-0,1833	0,16296974
9	76		-0,2563	0,292306473
	77		-0,349230376	0,640246015
	78		-0,480472341	0,779704907
	79		-0,540685238	0,796125758
	80		-0,534019205	0,811769222
	81		-0,501001599	0,829195779
	82		-0,44892054	0,774311675
	83		-0,36356792	0,798300725
	84		-0,280415756	0,748319413
	85		-0,219626395	0,66249312
10	86		-0,1623	0,483713428
	87		-0,098442539	0,290946636
	88		-0,117125819	0,410097183
	89		-0,005272105	0,001773908
	90		-0,048395914	0,090886746
	91		-0,006740237	0,000898647
	92		-0,10664503	0,273403149
	93		-0,006812085	0,001895938
	94		-0,020056882	0,015099334
	95		-0,095146292	0,191800483
	96		-0,055259372	0,12857589
11	97		-0,0327	0,014397651
	98		-0,014721335	0,002487495
	99		-0,052263914	0,024679341
	100		-0,074620925	0,1192299
	101		-0,177376795	0,910425377
	102		-0,070634819	0,592000276
	103		-0,854303473	0,895877106
	104		-0,86610112	0,907445661
	105		-0,439534557	0,640878627
	106		-0,394157034	0,805464891
12	107		-0,69436015	0,867194049
	108		-0,706758209	0,952863367
	109		-0,714411814	0,934788244
	110		-0,274019478	0,194042431
	111		-0,108830666	0,046045593
	112		-0,009250233	0,000443061
	113	0,036808467		0,023795952
	114	0,109007025		0,074069491
	115	0,168387906		0,169526373
	116	0,131812867		0,116499565
13	117		-0,0156	0,001855676
	118		-0,14587265	0,134880018
	119		-0,267090915	0,33785825
	120		-0,349564793	0,561431837
	121		-0,050213428	0,034092503
	122		-0,100809137	0,144188349
	123		-0,16043693	0,364648876
	124		-0,091100405	0,22917869
	125		-0,041372597	0,081367445
	126		-0,163083674	0,717193386
14	127		-0,246993079	0,81292067
	128		-0,256261488	0,887960144
	129		-0,245076535	0,923655298
	130		-0,300079222	0,939954772
	131		-0,325940246	0,917154211
	132		-0,394175002	0,928909683
	133		-0,420160805	0,920002234
	134		-0,534114893	0,910259559
	135		-0,63766426	0,913224457
	136		-0,687653174	0,921290587
15	137		-0,651864043	0,884182119
	138		-0,51109965	0,793016345
	139		-0,323458003	0,48537971
	140		-0,184360922	0,106125586

	141		-0,150557416	0,070990745
	142		-0,196865223	0,115474607
	143		-0,194275267	0,088483026
	144		-0,128379838	0,020013901
	145	0,020046568		0,001577862
	146		-0,269816049	0,360191551
16	147		-0,190794368	0,251236578
	148	0,011309675		0,000827323
	149	0,275048009		0,251685119
	150	0,360736877		0,264968498
	151	0,275855486		0,214692563
	152	0,28274933		0,239040002
	153	0,365988448		0,357627319
	154	0,450279154		0,470627826
	155	0,479562237		0,517280932
	156	0,688900999		0,654794268
17	157	0,5776		0,732517405
	158	0,807417815		0,685418345
	159	0,934246223		0,786705865
	160	1,064717855		0,88422494
	161	1,168530231		0,946606211
	162	1,25401849		0,958830461
	163	1,287308543		0,951648059
	164	1,332999307		0,970250706
	165	1,29011133		0,985719315
	166	1,214316439		0,967662577
18	167	1,148957877		0,938479865
	168	1,214719644		0,953365079
	169	1,284094797		0,962018526
	170	1,275773349		0,725669266
	171	2,069582298		0,782544765
	172	2,26607696		0,783818037
	173	1,615090028		0,541074629
	174	1,46740967		0,444183872
	175	1,110022612		0,242207587
	176	0,56737426		0,085731038
	177	1,044501638		0,46834073
19	178	1,1821		0,555078125
	179	1,110019336		0,469781044
	180	1,199426621		0,589453718
	181	1,162166526		0,641906637
	182	0,420985084		0,143010837
	183	0,43978042		0,172442272
	184	0,451998552		0,205440712
	185	0,456435788		0,268843034
	186	0,073868339		0,011625697
	187	0,054		0,006180298
20	188	0,0095		0,000311302
	189	0,042575724		0,009942141
	190	0,094015263		0,049711286
	191	0,259998599		0,34360472
	192	0,319698773		0,413379038
	193	0,379833126		0,487114739
	194	0,402800447		0,502781567
	195	0,371192348		0,468054106
	196	0,368006161		0,471005529
	197	0,348573871		0,481551699
21	198	0,264503628		0,285911394
	199	0,069		0,072074649
	200	0,0143573		0,001200593
	201	0,510597314		0,1888091
	202	0,638019675		0,197385268
	203	0,778164822		0,211687382
	204	0,656403246		0,212174099
	205	0,520567686		0,186763347
	206	0,368476808		0,130061536
22	207	0,310350625		0,126722536
	208	0,156533586		0,039143807
	209	0,160144517		0,045333258
	210	0,222652079		0,094933019
	211	0,356468948		0,249718708
	212	0,526944991		0,491765515
	213	0,809958315		0,652941548

PRAIA DE MARIA FARINHA

	214	0,881017968		0,552940943
	215	1,103996789		0,582004703
	216	1,123950835		0,552626334
23	217	1,225451465		0,591032915
	218	1,482435901		0,700044868
	219	1,590945155		0,747850853
	220	1,693206247		0,782003179
	221	1,455661158		0,723843786
	222	1,505427288		0,783632016
	223	1,389303967		0,740081681
	224	1,245005239		0,736420105
	225	1,204430481		0,720237553
	226	1,144822638		0,710060186
24	227	1,019204562		0,688559224
	228	0,954313323		0,635763892
	229	0,941166464		0,595982733
	230	1,326494347		0,780199608
	231	1,305209332		0,649281146
	232	1,393216218		0,68374507
	233	1,469566192		0,809978079
	234	1,533539151		0,785973885
	235		-0,352836193	0,670395481
	236		-0,4734	0,688261863
25	237		-0,422966218	0,652759296
	238		-0,357050919	0,685148324
	239		-0,912243776	0,489650554
	240		-0,006816554	0,685659113
	241		-0,646188494	0,714372274
	242		-0,630936251	0,657290839
	243		-0,719913832	0,611565288
	244		-0,388362636	0,338999247
	245		-0,217898215	0,188076098
	246		-0,64059888	0,859464949
26	247		-0,57632434	0,709797025
	248		-0,145725264	0,076414081
	249		-0,070556711	0,015414678
	250		-0,064913899	0,013660781
	251		-0,080954668	0,028997022
	252	0,083481309		0,048375153
	253	0,146960962		0,177344703
	254	0,416270636		0,269968538
	255	0,433425532		0,318114634
	256	0,275110568		0,317870874
	257	0,127729258		0,672779952
27	258	0,071608368		0,214889398
	259	0,266425442		0,465461228
	260	0,037679354		0,003774815
	261	0,107942125		0,067675505
	262	0,055935336		0,010342405
	263	0,016893631		0,001140499
	264	0,166444976		0,154082766
28	265	0,728068838		0,468344716
	266	0,686738954		0,428188018
	267	0,79960303		0,457817902
	268	0,869520927		0,285504058
29	269	0,9055		0,038305659

