



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ANÁLISE MULTITEMPORAL DA LINHA DE COSTA DA
ILHA DE ALGODOAL/MAIANDEUA, MUNICÍPIO DE
MARACANÃ/PA**

Apresentado por:

GABRIEL SILVEIRA DA SILVA ALVES

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Leilane Almeida Ranieri (UFPA)

Belém-Pará

2018



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ANÁLISE MULTITEMPORAL DA LINHA DE COSTA DA
ILHA DE ALGODOAL/MAIANDEUA, MUNICÍPIO DE
MARACANÃ/PA**

Apresentado por:

GABRIEL SILVEIRA DA SILVA ALVES

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Leilane Almeida Ranieri (UFPA)

Belém-Pará

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- A474a Alves, Gabriel Silveira da Silva.
Análise multitemporal da linha de costa da ilha de Algodual/Maiandeuá, município de Maracanã/PA /
Gabriel Silveira da Silva Alves. — 2018.
xiv, 53 f. : il. color.
- Orientador(a): Prof^a. Dra. Leilane de Almeida Ranieri
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de Oceanografia, Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.
1. Erosão. 2. Acreção. 3. Linha de Costa. 4. DSAS. 5. Ilha de Algodual. I. Título.

CDD 621.3678098115



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

**ANÁLISE MULTITEMPORAL DA LINHA DA ILHA DE
ALGODOAL/MAIANDEUA, MUNICÍPIO DE
MARACANÃ/PA**

TRABALHO APRESENTADO POR:
GABRIEL SILVEIRA DA SILVA ALVES

Como requisito parcial à obtenção do Grau em Bacharel em Oceanografia

Data de Aprovação: 30/11/2018

Banca Examinadora:

Leilanne A. Ranieri

Prof.ª. Dr.ª. Leilanne Almeida Ranieri – Orientadora
Doutora em Geologia – UFPA

Maamar El-Robrini

Prof. Dr. Maamar El-Robrini – Membro
Doutor em Geologia Marinha – UFPA

Juliana de Sá Guerreiro

Msc. Juliana de Sá Guerreiro – Membro
Mestre em Geologia e Geoquímica – UFPA

Àquela que tanto me ensinou como seguir a vida, além de me mimar e proteger das coisas ruins; toda a glória sempre será em memória a ela, Dorinha, minha querida e abençoada avó, que mesmo em meio a tanto sofrimento sempre esteve a sorrir perto de seus netos. Sua falta sempre será sentida, mas acredito que ainda está por aqui com sua mão em nosso ombro guiando-nos. Muito Obrigado por Tudo!!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Prof^ª. Leilanhe que foi quase uma mãe nessa fase final de curso, que além de me ceder toda estrutura e possibilidade de poder criar um bom trabalho, ainda teve a paciência de seguir comigo mesmo após uma sequência de vacilos e a coragem de me dar uma bolsa ao final de tudo. Muitas dúvidas eu possuía sobre meu futuro acadêmico, mas você pôde sanar algumas delas mesmo sem saber e, caso eu siga neste caminho, a Sra com certeza será um grande exemplo para mim.

Às duas pessoas mais importantes da minha vida, das quais herdei muitas de minhas manias e chatices (além das qualidades, claro), Edilene e Sérgio, meus pais, que mesmo com todos seus erros e diferenças sempre fizeram de tudo para nos dar a melhor vida possível. Mãe, sempre esquentadinha e controladora, querendo nos regular a cada passo para que não caíamos nem nos desviemos do caminho correto, mas sempre muito carinhosa e prestativa. Pai, o Sr mais na sua, por muito tempo foi meu mestre dos magos, chegava, dava-me um conselho e me deixava pensando naquilo por dias para que eu pudesse assimilar por mim mesmo; hoje em dia, mesmo longe fisicamente, é muito mais como aquele amigo que posso contar para o que der e vier e ter aquela conversa sincera que vai me abrir os olhos e guiar para o caminho melhor, peço desculpas se demorei para perceber isso.

A meus irmãos, Mano e Rafa, que sempre me deram apoio, e porrada, desde pequenos brigando e se amando; não importa se teremos 80 anos, sempre seremos a porquinha, o dálmata e o tigre daquela foto que todos já fomos zoados. Se nossos pais foram o alicerce da construção de minha personalidade e conhecimento, vocês dois foram os pedreiros que foram moldando esses ensinamentos e aparando algumas arestas que restavam; com vocês tive todo o tipo de ensinamento, desde os mais bestas como por exemplo não fazer luzes no cabelo (Ri muito agora, que, desculpa, mas era muito feio, em ambos), até os mais preponderantes, de como portar perante algumas situações na vida e principalmente de como entender nosso país (Porque os bichinhos são difíceis, viu?!).

Ao Fred, que sempre foi muito mais que o marido da minha mãe, realmente um grande amigo, me ajudou muito em minha vida acadêmica, inclusive na escrita desse mesmo TCC. Com certeza foi mais um responsável pela construção de quem sou hoje.

Obrigado por me apresentar vários rocks que eu não conhecia, me levar sempre pra lancha (Afinal me ganhou pelo estômago, uma goiabinha e uma barra de chocolate, gordo é f***); obrigado por acalmar a fera que é a Edilene, ou pelo menos por ser mais um pra dividir as esculhambações dela. Espero que um dia ela te libere pra voltar a jogar bola.

A todos os irmãos que a Ufpa me deu, vocês com certeza foram o molde final pra minha personalidade e infelizmente não vai dar pra escrever um pouco pra cada porque vai ficar gigante esses agradecimentos, mas vou soltar a listinha. Arthur, Allanzinho das teses, Cássia, Frango, Felps, Gordo Lucas, Herbert pé de morto, Ivdog, JPet, Jacque, Marcos moreno, Matheus joelho de idoso, Suici e Yago.

Ao Lohan, que me ajudou diretamente no Tcc e no grande problema que foi o ArcGis na minha vida. Tô te devendo muitas tardes de gameplay e agora pode crer que vou poder jogar.

Ao bando de fdp do Ideal, que só serviram pra encher o saco até hoje. Sacanagem manos, vocês fizeram meu ensino médio ser muito mais divertido que estressante, mesmo sendo tudo chato pra crl. Andrei sustagen, Biel fofo, Gaúcho, Leonidas das coroas, Mamute pai da criança, Nariga, Pastor Zé, Pinto, Pizza, Rafael índio e TaffaShow.

Aos meus primos, Mateus e Felipe, que foram fundamentais com várias resenhas e futebols, sempre me apoiando nessa batalha que foi a Ufpa. Infelizmente agora um tá longe e o outro virou o rei dos migués, mas ainda vamo dar esse rolê no Canadá e jogar uma MLS.

Ao pessoal de São Braz, JP e Drika, que me acolheram quando a distância da universidade começou a ser um problema pra mim. Junto com Chico e Giovanni, deram mais felicidade ao meu dia-a-dia e álcool ao meu sangue (Kkkkkk).

A Corina, que foi minha segunda mãe e cuidou de mim por muito mais tempo do que eu mesmo posso lembrar, me ensinou muita coisa além de mimar também. Você é uma mulher maravilhosa que quero ter sempre por perto (e que me ajude a cuidar dos meus filhos também).

A todos os membros das famílias Silveira e Alves pelo apoio por toda a minha vida.

Aos meus grandes amigos de futebol, tanto da Hydra (Dracarys) quanto do Sem Furo F.P., que me aceitaram como o velocista quebrador que sou e a todas peladas que vocês me proporcionam (e que sou viciado) que me ajudam demais a relaxar.

Por fim deixei as pessoas que mais foram fundamentais nesses anos de curso, ambas estiverem comigo quase que 100% do meu tempo, passaram por todos meus momentos de alegria e tristeza, estiveram comigo nos momentos de máxima euforia e nos de grande decepção/infelicidade onde as lágrimas pareciam intermináveis. Foi difícil decidir qual de vocês foi mais importante, a diferença ficou em quem me ajudou na construção desse TCC. Mas por pouco, meu amor, Patrícia, você ficou na frente do Billie como a mais importante nesses anos.

À namorada maravilhosa, Patrícia Müller, que tanto me fez amadurecer e crescer academicamente e como pessoa. Até uma semana atrás eu diria que você não fazia noção do quanto era importante pra mim e do quanto sou grato por tudo que você fez por mim e me fez fazer, mas após o tanto de ajuda que me deu com esse TCC acho que você já tem ideia disso. Além de tudo ainda me faz realizar vários sonhos e correr atrás de outros, nunca foi tão real e gratificante essa frase como será agora. **VOCÊ É DEMAIS!!**

Todos citados aqui são muito importantes para mim e tem seu espaço no meu coração, amo demais todos vocês.

“Enquanto se possa mexer, treine o corpo.
Enquanto não se possa mexer, treine a mente.”

Bushido

RESUMO

Mudanças na linha de costa são desencadeadas por processos naturais ou antrópicos e que atuam em diferentes escalas temporais e espaciais, tendo respostas diretas nas políticas empregadas pelas cidades litorâneas dependentes do uso da costa para economia, turismo ou recreação. A zona do salgado paraense está dentro da área de influência hidrológica e do aporte sedimentar do Rio Amazonas, tendo uma constante variação na sua linha de costa, seja por erosão ou acresção de sedimentos. A Ilha de Algodual/Maiandeuá, município de Maracanã, presente na zona do salgado, sofre a dinâmica natural da morfologia de ambientes costeiros e isso pode vir a causar danos a população residente no local. O presente trabalho objetiva identificar as áreas de acresção e erosão costeira e calcular essas variações nas praias arenosas das quatro comunidades da ilha (Algodual, Fortalezinha, Mocooça e Camboinha) durante 28 anos (1988-2016); para isto, serão utilizadas imagens de satélite disponibilizadas pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (*USGS - United States Geological Survey*), utilizando o software *ArcGIS* e sua extensão *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)*, que calcula estatisticamente as variações da linha de costa através de uma série temporal. A ilha apresentou uma área mais estável com variações médias entre 1 e 2 m/ano, tanto de avanço quanto de recuo costeiro, em sua porção oeste (Vilas de Algodual e Camboinha), enquanto na leste foram identificadas grandes variações, especialmente nas praias de Fortalezinha e Princesa onde pôde ser observado grande avanço da linha de costa, com médias de até 16 m/ano de avanço e 8 m/ano de recuo. No geral, o DSAS funciona como uma ferramenta prática e de resultados rápidos que pode ser utilizada para visualizar mudanças morfológicas de longo prazo e sem a necessidade de medições físicas *in situ*, todavia, para um resultado mais completo de caracterização da área de estudo, tais medições são de suma importância, especialmente para fornecimento de estimativas futuras de variações na linha de costa.

Palavras-chave: Erosão. Acresção. Linha de Costa. DSAS. Ilha de Algodual (PA).

ABSTRACT

Changes in the coastline are triggered by natural or anthropogenic processes and act at different temporal and spatial scales, with direct responses to the policies employed by coastal cities dependent of the use of the coast for economy, tourism or recreation. The paraense salty zone is within the area of hydrological influence and the sedimentary contribution of the Amazon River, having a constant variation in its coastline, either by erosion or accretion of sediments. The Algodoal/Maiandeuá Island, municipality of Maracanã, present in the salty zone, undergoes the natural dynamics of the morphology of coastal environments what can cause damage to the resident population in the place. The objective of this work is to identify the areas of accretion and coastal erosion and calculate these variations on the sandy beaches of the four communities of the island (Algodoal, Fortalezinha, Mocoóca and Camboinha) during 28 years (1988-2016); To this end, satellite images made available by the United States Geological Survey (USGS) using ArcGIS software and its Digital Shoreline Analysis System (DSAS) extension, which statistically computes the variations of the coastline through a time series. The island presented a more stable area with average variations between 1 and 2 m/year, for both advancement and costal retreat, in its western portion (Algodoal and Camboinha villages) while to the east were identified great variations, especially in the beaches of Fortalezinha and Princesa, where a great advance of the coast line could be observed, with averages up to 16 m/year of advance and 8 m/year of recoil. In general, the DSAS functions is a practical tool with quick results that can be used to visualize long-term morphological changes and without the need for physical measurements *in situ*, however, for a more complete result of characterization of the study area, such measurements are of paramount importance, especially for the provision of future estimates of variations in the coastline.

Keywords: Erosion. Accretion. Coastline. DSAS. Algodoal Island.(PA)

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Vida Útil dos Satélites Landsat. Fonte: USGS, 2018.....	10
Figura 2 -	Caracterização do método DSAS Fonte: Thieler <i>et al.</i> 2009.....	11
Figura 3 -	Mapa de localização das vilas e praias. Fonte: autor.....	14
Figura 4 -	Zona de praia com extensa faixa de areia. Fonte: autor.....	15
Figura 5 -	Campo de Dunas vegetadas por restinga. Fonte: autor.....	16
Figura 6 -	Formação rochosa (Plataforma de Abrasão). Fonte: autor.....	17
Figura 7 -	Manguezal juvenil e adulto.....	18
Figura 8 -	Fluxograma da metodologia utilizada.....	22
Figura 9 -	Imagem bruta adquirida para o ano de 1988.....	23
Figura 10 -	Recorte das áreas específicas (Algodeal, Camboinha, Mocooca e Vila de Fortalezinha).....	24
Figura 11 -	Recorte das áreas específicas (Princesa e Praia de Fortalezinha).....	25
Figura 12 -	Linhas de Costa dos anos estudados para a Vila de Algodeal. Imagem Landsat 8/OLI do ano de 2016.....	27
Figura 13 -	Variação Espacial pelo método NSM (m) e EPR (m/ano) obtida para a Vila de Algodeal nos períodos 1988-2002 (A, B), 2002-2016 (C, D) e 1988-2016 (E, F).....	29
Figura 14 -	Linhas de Costa dos anos estudados para a Vila de Camboinha. Imagem Landsat 5/TM do ano de 1988.....	30
Figura 15 -	Variação Espacial pelo método NSM (m) e EPR (m/ano) obtida para a Vila de Camboinha nos períodos 1988-2002 (A, B), 2002-2016 (C, D) e 1988-2016 (E, F).....	32
Figura 16 -	Linhas de Costa dos anos estudados para a vila de Mocooca. Imagem Landsat 5/TM do ano de 1988.....	33

Figura 17 -	Variação Espacial pelo método NSM (m) e EPR (m/ano) obtida para a Vila de Mocooca nos períodos 1988-2002 (A, B), 2002-2016 (C, D) e 1988-2016 (E, F).....	34
Figura 18 -	Linhas de Costa dos anos estudados para a vila de Fortalezinha. Imagem Landsat 8/OLI do ano de 2016.....	35
Figura 19 -	Variação Espacial pelo método NSM (m) e EPR (m/ano) obtida para a Vila de Fortalezinha nos períodos 1988-2002 (A, B), 2002-2016 (C, D) e 1988-2016 (E, F).....	36
Figura 20 -	Linhas de Costa dos anos estudados para a praia de Fortalezinha. Imagem Landsat 8/OLI do ano de 2016.....	37
Figura 21 -	Variação Espacial pelo método NSM (m) e EPR (m/ano) obtida para a Praia de Fortalezinha nos períodos 1988-2002 (A, B), 2002-2016 (C, D) e 1988-2016 (E, F).....	38
Figura 22 -	Linhas de Costa dos anos estudados para a praia da Princesa. Imagem Landsat 8/OLI do ano de 2016.....	39
Figura 23 -	Variação Espacial pelo método NSM (m) e EPR (m/ano) obtida para a Praia da Princesa nos períodos 1988-2002 (A, B), 2002-2016 (C, D) e 1988-2016 (E, F).....	40
Figura 24 -	Mapa conceitual da provável circulação estuarina na foz da baía de Marapanim. Corrente Residual em azul. Fonte: Borba (2011).....	41
Figura 25 -	Evolução do banco de areia para os anos de 2002, 2010, 2012 e 2016..	42
Figura 26 -	Mapa de direção das correntes costeira nas praias da Princesa e Fortalezinha. Fonte: Silva (2015).....	43
Figura 27 -	Fluxo sedimentar nas praias da Princesa e Fortalezinha, para os períodos seco (A) e chuvoso (B). Fonte: Silva (2015).....	44

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
EPÍGRAFE	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	xi
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	4
2.1 OBJETIVO GERAL.....	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
3.1 GEOPROCESSAMENTO	5
3.2 SENSORIAMENTO REMOTO	6
3.2.1 Sensores ópticos	8
3.2.2 Análise multitemporal	9
3.2.3 Satélite Landsat	9
3.3 DIGITAL SHORELINE ANALYSIS SYSTEM (DSAS)	11
4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	13
4.1 LOCALIZAÇÃO.....	13
4.2 GEOMORFOLOGIA	14
4.3 GEOLOGIA	18
4.4 ASPECTOS OCEANOGRÁFICOS.....	19
4.5 ASPECTOS CLIMÁTICOS.....	20
4.6 ASPECTOS ANTROPOGÊNICOS	21
5 MATERIAL E MÉTODOS	22
5.1 COLETA DE DADOS	22
5.2 TRATAMENTO DOS DADOS	23
5.3 ANÁLISE DOS DADOS	26
6 RESULTADOS	28
6.1 VILA E PRAIA DE ALGODOAL.....	28
6.2 VILA DE CAMBOINHA.....	31
6.3 VILA DE MOCOCCA.....	34

6.4 VILA DE FORTALEZINHA.....	37
6.5 PRAIA DE FORTALEZINHA	39
6.6 PRAIA DA PRINCESA	42
7 DISCUSSÃO	45
8 CONCLUSÃO.....	49
REFERÊNCIAS.....	50

1 INTRODUÇÃO

O Estado do Pará é o segundo maior estado brasileiro, com uma região litorânea extensa e atrativa, nela se encontra a zona fisiográfica do Salgado, nordeste do estado, onde há forte pressão sobre os recursos naturais costeiros (especialmente manguezais) e baixo nível de atividade econômica. Mesmo assim, estima-se que 95% da floresta de terra firme desta área já tenha desaparecido (Peabiru 2017).

As regiões litorâneas são utilizadas pelo homem para diversos meios, destacando-se o turismo e fins recreativos, sendo historicamente procurada para habitação pela população, muitas vezes sem considerar os fenômenos atuantes nessa região. A demanda por tais usos nas cidades litorâneas induz um crescimento desordenado e sem planejamento, que pode causar danos a natureza e a população que se estabelecer ali. A ocupação humana na zona costeira de forma crescente, é incompatível, numa escala global, com os processos dinâmicos naturais desse e dos demais ecossistemas associados, particularmente no que tange à variabilidade e recuperação temporal e espacial da linha de costa (Farias & Maia 2007), linha que delimita o contato continente-oceano possui natureza móvel cuja posição pode variar em todas as escalas (Boak & Turner 2005).

A linha de costa (LC) é muito importante, pois ela representa a interface entre ambientes marinhos e terrestres, além disso, apresenta um comportamento efêmero, podendo mover-se para cima do oceano ou do continente rapidamente. Essas variações de curto período podem ser medidas e determinadas com precisão e geralmente estão relacionadas a padrões cíclicos, como a alternância entre períodos secos e chuvosos, alternância entre marés de sizígia e quadratura, regime de ondas, direção e intensidade de ventos, balanço local de sedimentos e etc.; contudo, as variações de longo e médio período na linha de costa correspondem a tendências geológicas de milhares de anos, envolvendo movimentos da crosta terrestre e as fases de progradação e retrogradação costeira relacionada as variações relativas do nível médio do mar (Nordstrom 1980).

De acordo com Cracknell (1999), é fundamental o estudo da evolução da linha de costa para o conhecimento dos aspectos geológicos costeiros assim como o estabelecimento de padrões da dinâmica costeira de médio e longo período. A caracterização exata da linha de costa ao longo do tempo pode indicar padrões recorrentes da relação entre aspectos continentais (aporte de sedimentos, colonização da vegetação, posição das redes de drenagem) e marinhos (hidrodinâmica costeira).

As taxas de variação das linhas de costa constituem um ótimo indicador para a determinação das tendências evolutivas de qualquer trecho do litoral e para o diagnóstico dos impactos reais ocorrentes na costa, como áreas com risco de erosão. Contudo, os valores estimados para as taxas médias de variação da linha de costa devem ser ponderados, visto que representam a comparação entre duas situações distintas no tempo, não especificando o que se sucedeu entre elas nem a ocorrência de uma eventual excepcionalidade. Portanto, para uma boa interpretação dos dados, há de considerar a extensão do período analisado, a época do ano, o método, a escala, a densidade de dados e a extensão e variabilidade do trecho costeiro estudado (Ranieri & El-Robrini 2015).

Para estudos em ambientes costeiros, as imagens dos sensores remotos funcionam como uma excelente ferramenta, principalmente a utilização de imagens de diferentes períodos, que permite uma análise multitemporal para estudos geomorfológicos costeiros, assim, é possível estender informações pontuais para um contexto mais amplo possibilitando o entendimento da evolução histórica desse ambiente (Chu *et al.* 2006, Trebossen *et al.* 2005).

Segundo Farias & Maia (2010), diversos são os fatores que vêm contribuindo para que, nas últimas décadas, situações de elevada erosão costeira se agravassem em regiões litorâneas em quase todo o planeta. Este retrocesso natural da linha de costa é, em grande parte, agravado por ações de natureza antrópica que promovem diminuição ou suspensão do abastecimento sedimentar à região (ex: construção de barragens, a extração de sedimentos fluviais e dragagens portuárias) ou que causam a degradação dos sistemas costeiros naturais (como campos dunares eólicos, sistemas de manguezais ou bancos arenosos submarinos).

As repercussões econômicas da erosão costeira são muito sérias, como a perda parcial ou total de infraestruturas públicas ou privadas, principalmente em países em desenvolvimento, devido à falta de recursos para manutenção da costa e recuperação de danos, como é o caso do Brasil (Farias & Maia 2010).

A possibilidade de utilização de técnicas que visam analisar o recuo e avanço da linha de costa e, conseqüentemente, a erosão e acreção costeira é sempre de grande valia para estudos locais, regionais ou mesmo globais. O Sistema de Análise Digital da Linha de Costa – *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) é uma técnica para estes fins utilizada em todo mundo e já empregada em alguns setores da costa paraense (Baia 2018, Conti & Rodrigues 2011, Ranieri & El-Robrini 2015). A facilidade de acesso e a carência de trabalhos sobre a zona costeira da Ilha de Algodal/Maiandeuá, bem como a

importância dessa zona costeira para as populações que a utilizam, foram fatores determinantes na escolha da área e do tema desta pesquisa

Partindo dessa premissa, o presente trabalho visa à determinação do comportamento da linha de costa como geoindicador de recuo e avanço costeiro em vários trechos da Ilha de Algodal, a partir da análise multitemporal de imagens de sensoriamento remoto, que se constitui numa valiosa ferramenta para a projeção e análise do comportamento de ecossistemas. Pretende-se, dessa forma, contribuir com a geração de conhecimentos e informações sobre as mudanças morfológicas ao redor da ilha, auxiliando na produção de uma base que possa conduzir a futuros projetos aplicados no planejamento e gestão da área, cujos diagnósticos são fundamentais para o aproveitamento sustentável dessa região.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Identificar recuo e avanço ocorridos na linha de costa da Ilha de Algodal/Maiandeuá através de séries temporais, utilizando imagens do satélite Landsat.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar variações da linha de costa de longo prazo, em intervalos de 14 anos: 1988, 2002 e 2016;
- Quantificar a taxa de acreção e retração costeira nas praias e vilas da Ilha de Algodal nos anos determinados;
- Relacionar os dados obtidos com a dinâmica costeira.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 GEOPROCESSAMENTO

As imagens de satélite em meio digital possuem dados acerca de corpos físicos encontrados à superfície terrestre, que podem ser identificados por intermédio de processos de classificação. Esses processos, baseiam-se na distinção de alvos através de seus comportamentos espectrais diferentes, o que permitem a sua identificação. A classificação digital de imagens associa cada pixel a uma determinada feição terrestre, obtendo-se como resultado a identificação e extração de informações da área desejada, sendo indispensável em qualquer projeto de classificação e mapeamento envolvendo informações obtidas por meio de sensoriamento remoto; tudo isso associado a um Sistema de Informação Geográfica (SIG) e ao Sistema de Posicionamento Global (GPS), são a base para o geoprocessamento (Farias & Maia 2010).

Para uma melhor compreensão sobre geoprocessamento, faz-se necessário entender como funcionam os geoindicadores¹, visto que o desenvolvimento urbano e o meio ambiente estão em constante batalha por espaço e o estudo das características locais (socioeconômicas, culturais e ambientais) são fundamentais para avaliar os impactos ambientais provenientes da ocupação territorial da comunidade. Obtendo essas informações, é possível melhorar a qualidade de vida da população e harmonizar o processo de ocupação com o meio ambiente (Espinoza *et al.* 2009).

Segundo Albuquerque (2013), independentemente do cenário (erosão ou acresção costeira), as discussões na literatura têm se concentrado na confiabilidade das ferramentas e metodologias que podem ser aplicadas à quantificação das taxas em trechos costeiros específicos. Dois métodos bem conhecidos são o *Digital Shoreline Analysis System - DSAS* (Thieler *et al.* 2009) e o *Change Polygon Method* (Smith & Cromley 2012). O primeiro foi desenvolvido pelo Serviço Geológico Americano (USGS) e é realizado pelo software ArcGis®. Ele permite que os usuários calculem as taxas de variação na linha costeira usando *transectos* que são traçados perpendicularmente ao trecho litorâneo monitorado. O Método do Polígono de Mudança baseia-se na elaboração de polígonos e na álgebra poligonal: duas linhas de costa (uma

¹ Os geoindicadores são a base da análise das mudanças costeiras, fornecendo elementos para a mensuração e avaliação de processos e formas, que ocorrem em escalas de tempo de até 100 anos (Berger 1996).

linha de base e a de interesse) são usadas para determinar áreas erodidas e taxas de recuo em uma área específica.

O conhecimento das taxas de variação da linha costeira, bem como os resultados de ambos os métodos para uma área específica que foi degradada por um processo erosivo, fornece subsídios para a identificação de áreas de alto risco, a quantificação da perda de terras e a determinação de trechos de proteção no caso de construções futuras (Albuquerque 2013).

3.2 SENSORIAMENTO REMOTO

Sensoriamento remoto, foi um termo cunhado no início dos anos de 1960 por Evelyn L. Pruitt e colaboradores, e é considerado como uma das tecnologias de coleta automática de dados mais bem-sucedidas para o levantamento e monitoração dos recursos terrestres em escala global (Meneses *et al.* 2012). Já Lillesand e Kiefer (1994) definem que: sensoriamento remoto é a ciência e a arte de se obter informações sobre um objeto (alvo), área ou fenômeno através da análise de dados adquiridos por um dispositivo (sensor) que não está em contato direto com o objeto, área ou fenômeno sob investigação.

Desde o início, o termo Sensoriamento Remoto foi criado para designar essa tecnologia capaz de obter imagens da superfície terrestre a longas distâncias. A principal característica proposta por definições clássicas, de que o sensor precisa estar a uma distância remota do objeto, estabelece uma base para inserir o sensoriamento remoto numa concepção um pouco mais científica, que é regida segundo os seguintes preceitos: a) exigência: ausência de matéria no espaço entre o objeto e o sensor; b) consequência: a informação do objeto é possível de ser transportada pelo espaço vazio; c) processo: o elo de comunicação entre o objeto e o sensor é a radiação eletromagnética, a única forma de energia capaz de se transportar pelo espaço. Portanto, com base nesses preceitos, uma definição mais científica que pode ser utilizada para explicar o Sensoriamento Remoto seria: Sensoriamento Remoto é uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres (Meneses *et al.* 2012).

A técnica do sensoriamento remoto pode fornecer informação confiável sobre objetos físicos e o ambiente por meio do processo de registro, medição, e interpretação de imagens e representações digitais dos padrões de energia derivados de sistemas

sensores sem contato físico (Colwell 1997). Nesse sentido, a técnica do sensoriamento remoto é considerada como não intrusiva, visto que, os sensores podem ser programados para coletar dados sistematicamente sobre determinado alvo, sem causar interferências ou enviesar o estudo, tal qual em muitas coletas de campo tradicionais. Assim, sob condições controladas, os dados de sensoriamento remoto podem ser eficazes para estimar variáveis geofísicas ou biofísicas de forma rápida e abrangendo uma vasta área do globo. O produto final das imagens, após seu devido tratamento nos softwares, é muito utilizado para a modelagem de processos naturais (mudanças climáticas, variações na linha de costa, desertificação, etc.) ou antrópicos (poluição, desmatamento, expansão urbana, etc.) (Souza 2010).

Em ciência, sensoriamento remoto significa observar o nosso planeta usando sensores de observação muito acima do solo. Esses sensores podem ser câmeras que “enxergam” não somente a luz visível, mas também a radiação em outros comprimentos de onda como o infravermelho e as micro-ondas, ou seja, O sensoriamento remoto é regido pela interação entre a radiação eletromagnética (REM) e o alvo. A REM se propaga pelo espaço vazio, como a luz solar, e funciona como uma forma de onda e de energia, ao mesmo tempo. Esse conceito de dualidade é extremamente importante, pois sempre que alguém estiver analisando qualquer tipo de imagem de sensoriamento remoto, a coexistência da radiação eletromagnética na forma de onda e na forma de energia deverá ser considerada para que se possa explicar tudo o que se observa nas imagens com referência às características dos objetos (Meneses *et al.* 2012).

Para gerar informações relevantes, o processo é composto por alguns elementos fundamentais: a) Uma fonte de energia ou iluminação, podendo ser o Sol ou o próprio sensor; b) Radiação eletromagnética e atmosfera, que funcionam com condutores do dado; c) Interação com o alvo; d) Registro da energia pelo sensor; e) Transmissão, recepção e processamento dos dados; e f) Interpretação e análise dos resultados (Souza 2010).

O acelerado avanço com que o sensoriamento remoto se desenvolveu em poucas décadas deve-se à revolução nos meios de observar à Terra numa escala global e periódica, e na rapidez do monitoramento dos fenômenos dinâmicos e das mudanças das feições terrestres. É uma tecnologia empregada em escala mundial e que, talvez, reúna a maior diversidade de pesquisadores e usuários, em torno de uma mesma tecnologia de aplicação. Atualmente, a resolução espectral das imagens obtidas pelos sensores ópticos já ultrapassa centenas de bandas, e a resolução espacial de muitas imagens já é maior

que 1 metro, possibilitando aplicações nas áreas de levantamentos de recursos naturais, monitoração ambiental, detecção de desastres naturais, desmatamentos florestais, previsões de safras, cartografia de precisão, defesa e vigilância, entre outras (Meneses *et al.* 2012).

3.2.1 Sensores ópticos

Sabendo que a REM de cada comprimento de onda interage de formas distintas e com intensidades diferentes com os objetos terrestres, um dos parâmetros mais importantes para definir as características de um sensor são os comprimentos de onda das imagens que o sensor irá adquirir. As imagens não são definidas num comprimento de onda específico, mas abrangendo pequenos intervalos, conhecidos como bandas espectrais (Meneses *et al.* 2012). A REM é capturada pelos satélites a partir dos sensores ópticos. Esses dispositivos convertem a energia recebida, transformando-as em um sinal elétrico, podendo assim registrá-las. Esses dados são armazenados ou transmitidos para serem convertidos em informações compreensíveis e eficientes para descrever objetos ou eventos que ocorrem à superfície do planeta (Moraes 2002).

No final da década de 1960 esses equipamentos começaram a ser testados em aeronaves como programas de simulação, para serem posteriormente instalados em satélites. Eles receberam o nome de sensores imageadores, em razão do processo ser feito na forma de varredura linear do terreno e não por um mecanismo de tomada instantânea de área, como era feito com câmeras fotográficas. Outra importante diferença dos sensores imageadores foi a capacidade de obterem imagens simultâneas em várias faixas do espectro eletromagnético, além de conseguir imagear toda a superfície do planeta em um curto espaço de tempo. Essas características, associadas ao fato de os satélites ficarem orbitando continuamente a Terra de maneira sistemática, propiciaram detectar e monitorar mudanças ecológicas e climáticas, tornando as imagens de satélite uma das ferramentas mais eficientes para a utilização em análises ambientais dos ecossistemas terrestres (Meneses *et al.* 2012).

Atualmente, há no espaço dezenas de sensores orbitais imageando a superfície da Terra em todas as faixas espectrais possíveis, com os mais variados parâmetros de resolução espacial e temporal. De um lado há os sensores hiperspectrais com centenas de bandas espectrais (centenas de imagens) e do outro, há os sensores de alta resolução espacial, capazes de detectar objetos na superfície da Terra, menores que 50 cm (Meneses *et al.* 2012). E para atravessar a opacidade das nuvens, muito frequente em regiões como a Amazônia, há os sensores de radar com as suas fontes artificiais de

REM que fazem das nuvens um objeto transparente.

Os sensores imageadores orbitais podem ser divididos em três classes: os sensores ópticos que utilizam a luz solar como fonte de radiação eletromagnética; os sensores termais que usam a radiação emitida pela Terra como fonte; e os sensores de radar que usam fontes artificiais, podendo ser uma fonte própria de REM, a qual é emitida para o objeto, refletida e registrada pelo mesmo, ou fontes artificiais construídas pelo homem. (Meneses *et al.* 2012).

3.2.2 Análise multitemporal

O método científico mais útil e preciso na interpretação de imagens consiste no desenvolvimento de análises: multiespectrais, multidisciplinares, multiescalas e multitemporais (Jensen 2009). A utilização de imagens multitemporais de satélites refere-se à obtenção de mais de uma imagem, em determinada área de estudo, que, aliadas aos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), possibilita o monitoramento de paisagens e perturbações através do tempo, permitindo entender os processos que atuam na área, tal como visualizar e estimar as mudanças na região, como no caso das instabilidades das linhas de costa (Ranieri & El-Robrini 2015).

A zona litorânea sofre constantes mudanças ao longo do tempo. Nos estudos de monitoramento e gerenciamento costeiro, a análise multitemporal das imagens de sensores remotos, torna-se uma ferramenta fundamental, ao estender informações pontuais de uma área para um contexto geográfico, possibilitando o entendimento da história evolutiva destes sistemas; logo, um registro de maior quantidade de imagens a longo período, esclarece de forma mais acurada como pode estar ocorrendo os fenômenos estudados (Chu *et al.*, 2006, Trebossen *et al.* 2005).

3.2.3 Satélite Landsat

Um marco importante que deu início à era do sensoriamento remoto moderno foi o lançamento do primeiro satélite de sensoriamento, ERTS-1, posteriormente renomeado para Landsat 1, colocado em órbita em 1972. O sensor imageador multiespectral desse primeiro satélite possibilitava a obtenção de quatro imagens simultâneas nas faixas do espectro do visível e do infravermelho próximo e uma imagem no termal, além do que era possível até então com o uso de filmes fotográficos. A largura da área imageada na Terra por cada órbita do satélite era de 185 km, o que permitia uma visão sinótica, impossível de ser obtida com as câmeras fotográficas

aéreas, além de cobrir toda a órbita da Terra em apenas 18 dias (Meneses *et al.* 2012).

A série Landsat (Land Remote Sensing Satellite), iniciou em 1972 com o lançamento do satélite ERTS-1. Ela teve sequência com os Landsat 2, 3, 4, sobretudo com o Landsat 5 e 7, e atualmente com o Landsat 8. Os satélites Landsat de 1 a 4 foram lançados entre os anos de 1972 e 1982 e serviram como base tecnológica para o lançamento do Landsat 5, em 1984, que por muito tempo foi um dos principais imageadores terrestres. O Landsat 5 foi revolucionário por possuir mais bandas (sete ao invés de cinco) e percorrer a órbita Terrestre em menos dias (16), até sua desativação em 2011. O satélite Landsat 6 foi lançado em 1993, contudo não alcançou a órbita, logo, não possuem registros desse satélite. O Landsat 7 foi lançado em 1999 e funcionou concomitante com o 5 durante muitos anos, porém com upgrades; o sistema do Landsat 7 possui oito bandas do espectro eletromagnético, com uma resolução espacial de 30 metros, menos para as bandas 6 e 8 que possuem 60 e 15 metros, respectivamente, e continua fornecendo informações diárias. O satélite Landsat 8, lançado em 2013, opera com dois imageadores (OLI e TIRS), conseguindo reportar dados mais precisos e em uma resolução espacial melhor, entre 15 e 30 metros; além disso, o sistema possui a presença de 9 bandas multiespectrais, sendo a primeira delas especializada para a captura de aerossóis. A NASA em parceria com o USGS já agendou o lançamento do Landsat 9 para o ano de 2020 (Figura 1). O principal objetivo do sistema Landsat é o mapeamento multiespectral em alta resolução da superfície da Terra. Esse é o sistema orbital por satélites mais utilizado para o mapeamento da dinâmica espaço-temporal da superfície do planeta e de seus fenômenos ocorrentes (USGS, 2018).



Figura 1 - Vida Útil dos Satélites Landsat. Fonte: USGS, 2018.

3.3 DIGITAL SHORELINE ANALYSIS SYSTEM (DSAS)

Estudos envolvendo a determinação das taxas de recuo de linha de costa vêm sendo realizados desde a segunda metade do século passado, utilizando para tal os mais diversos métodos (comparação cartográfica, medições diretas em fotografia aérea vertical, medições periódicas no terreno, técnicas fotogramétricas, utilização de imagens de satélite etc.), visando a obtenção de previsões dinâmicas do comportamento da linha de costa (Calhaghan *et al.* 2009, Short & Trembanis 2004).

O *Digital Shoreline Analysis System* – DSAS, elaborado por Thieler e colaboradores em 2003, é uma extensão que amplia as funcionalidades do *software* ArcGIS, permitindo a automatização de grande parte das tarefas relacionadas com a análise quantitativa da evolução das tendências de erosão e deposição através de uma série estatística de tempo e posições múltiplas da linha de costa (Thieler *et al.*, 2005). O objetivo desta extensão é estender a funcionalidade normal do ArcView GIS para incluir a análise histórica da mudança da linha de costa, conduzindo eficientemente o usuário através de todas as principais etapas da análise de mudança costeira em uma interface organizada e atrativa.

O cálculo das taxas de variação da linha de costa obtidas pelo DSAS é baseado na geração de linhas perpendiculares equidistantes (*transectos* ortogonais) que são desenhadas em uma base da linha costeira (*baseline*), uma linha paralela às linhas costeiras, cuja posição é oposta à linha de água (Figura 2); essa *baseline* serve como referência para as *polylines*, que são as várias posições da linha de costa obtidas através de imagens de satélite multitemporais. As taxas de mudança são mostradas em uma tabela de atributos de acordo com distintos métodos estatísticos (Thieler *et al.*, 2005).

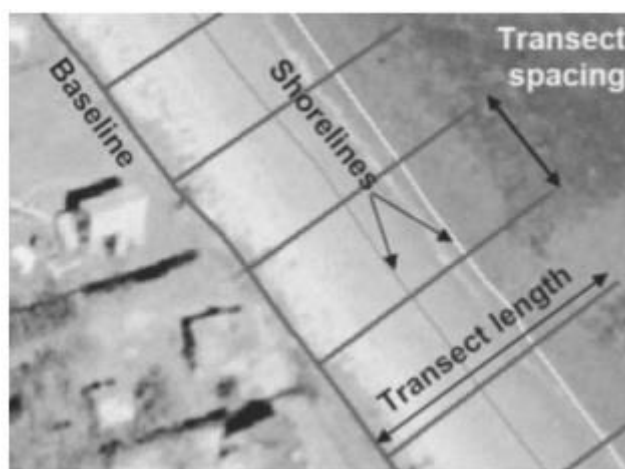


Figura 2 - Caracterização da técnica do DSAS Fonte: Thieler *et al.* 2009

O DSAS possui os seguintes métodos/parâmetros estatísticos (Thieler *et al.* 2017):

- *Net Shoreline Movement* (NSM): O NSM expõe uma distância entre duas *polylines*, a mais antiga e a mais nova. Isso representa a distância total entre as linhas de costa mais longínqua e mais atual, presentes nos *transectos*.

- *End Point Rate* (EPR): A taxa de ponto final (EPR) é calculada dividindo a distância do movimento da linha de costa pelo tempo decorrido entre as medições mais antigas e mais recentes, ou seja, é uma relação espaço-temporal, onde a distância é dada em metros, que em seguida é dividida pelo intervalo de tempo tendo assim um produto com unidade em m/ano. A principal vantagem do EPR é sua facilidade de cálculo e exigência mínima de dados de linha de costa, bastando apenas duas linhas de costa para que seja efetuado o cálculo das taxas de variação. A principal desvantagem é que, nos casos em que mais de duas linhas de costa estejam disponíveis, a informação existente sobre o comportamento das outras linhas é desconsiderada. Assim, mudanças no sinal ou magnitude da tendência do movimento da linha costeira, ou ciclicidade do comportamento podem ser perdidas.

- *Shoreline Change Envelope* (SCE): O SCE descreve a distância entre os extremos das linhas de costa em relação a linha de base (reco e avanço), não levando em consideração as datas e representando o movimento total realizado pela costa.

- *Linear Regression* (LRR): O método LRR calcula as taxas de recuo de linha de costa através de regressão linear simples, considerando para tal as inflexões existentes ao longo de cada linha de costa. É um método que utiliza conceitos estatísticos aceitados aonde todos os transectos são considerados para efeito de cálculo. O método nada mais é do que uma regressão linear da taxa de variação entre a primeira e a última linha de costa, considerando todas as que estão entre elas.

Os dois últimos métodos têm a vantagem de usar todos os dados da linha costeira, mas tendem a subestimar a extensão da mudança, em comparação com a estatística EPR (Genz *et al.* 2007).

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1 LOCALIZAÇÃO

A Ilha de Algodual/Maiandeua, município de Maracanã, está localizada na Zona fisiográfica do Salgado, região Nordeste do Estado do Pará (Figura 3). Possui uma área de aproximadamente 562 km² e população estimada de 1.600 habitantes, divididos dentro de quatro comunidades: Vila de Algodual, Fortalezinha, Mocooca e Camboinha (Vianna & Morgado 2001). A ilha encontra-se a leste da desembocadura do Rio Amazonas, entre as Baías de Marapanim e Maracanã, banhada pelo Oceano Atlântico e pelo Canal da Mocooca.

O local está situado dentro da Área de Proteção Ambiental (APA) Ilha de Algodual/Maiandeua, que é uma Unidade de Conservação de Uso Sustentável instituída pela Lei Estadual n.º. 5.621/90, de 27 de novembro de 1990, é uma das três unidades de conservação estadual implantadas na planície costeira da região nordeste do Pará, sendo todas na região de Maracanã, e gerenciada pelo Instituto de Desenvolvimento Florestal e da Biodiversidade do Estado do Pará (IDEFLOR-BIO).

O acesso à Ilha é exclusivamente fluvial. A travessia é feita por barcos que saem do porto de Marudá rumo ao porto de Algodual com duração média de 40 minutos, dependendo da maré. Na APA, o acesso interno entre as vilas e outras localidades ocorre a pé ou de carroça, dependendo da maré pode ser de canoa, margeando os furos e igarapés. Por esse motivo a ilha encontra-se relativamente conservada em sua porção central.

A ilha é uma das áreas do Estado do Pará que possui grande importância, tanto do ponto de vista ambiental quanto do econômico através do ecoturismo. A ilha é constituída por frágeis ecossistemas representados por dunas, lagos, mangues e baixos terraços oriundos, principalmente, de materiais geológicos do Quaternário sobre solos de baixa fertilidade (Bastos 1996, Ruivo 2005). As zonas litorâneas são de grande importância do ponto de vista ambiental, por constituírem regiões de interface entre o mar e o continente, as quais representam papel fundamental na qualidade de vida do planeta.

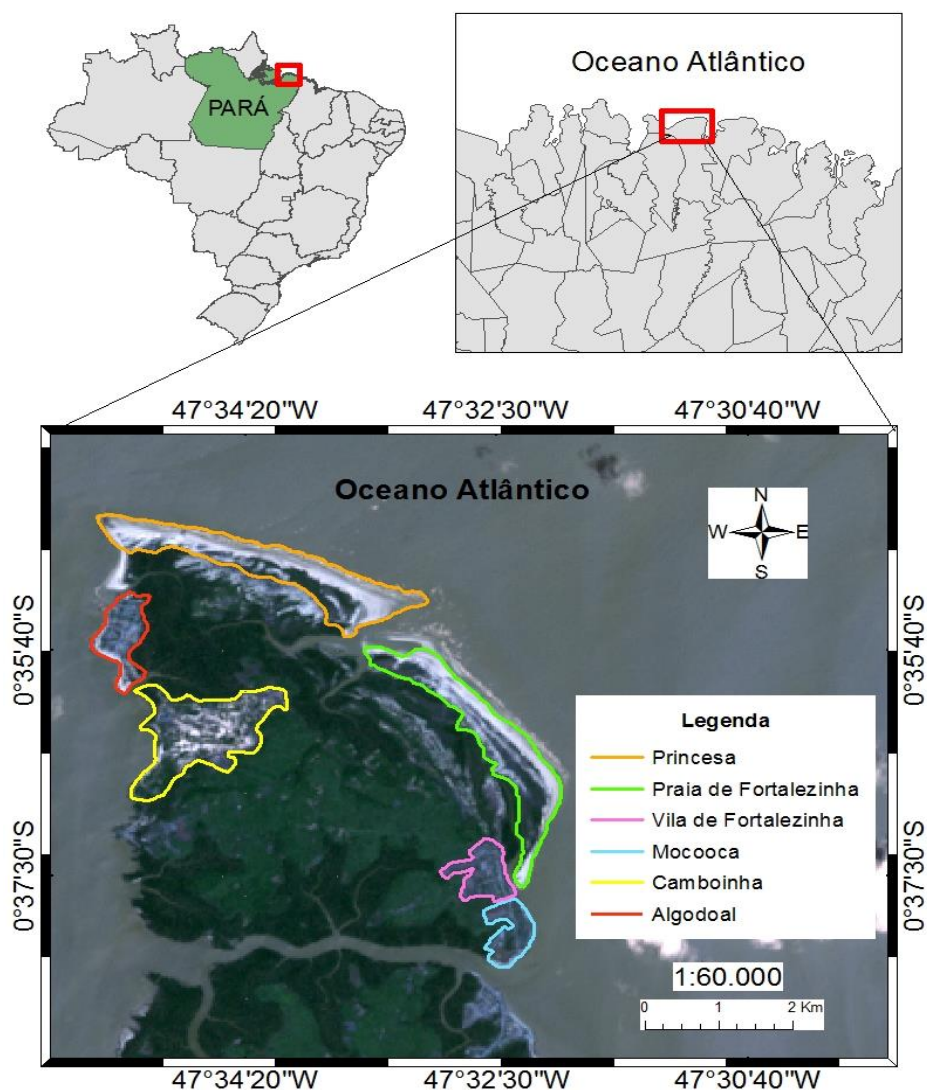


Figura 3 - Mapa de localização das vilas e praias. Fonte: autor.

4.2 GEOMORFOLOGIA

A Ilha de Algodão/Maiandeuá apresenta uma grande diversidade de ambientes expostos em sua faixa litorânea, segundo Vidal & Mascarenhas (2012), são eles:

1. **Faixa de praia** - Nesta (Figura 4) são desenvolvidas atividades de lazer e balneabilidade. No pós-praia seu uso e ocupação são caracterizados, em geral, pela atividade do turismo com desenvolvimento de trilhas, e ainda podem ser encontradas casas de segunda residência e/ou pousadas. Há uma infinidade de modificações sazonais durante os processos de deposição e remoção de sedimentos arenosos na faixa de praia, que são causados pelas variações das marés, uma vez que ocorre uma maior acumulação

na preamar e predomina a erosão durante o refluxo de baixa-mar.



Figura 4 - Zona de praia com extensa faixa de areia. Fonte: autor.

2. **Campo de dunas** – A ilha apresenta grandes campos de dunas, sendo estas tanto móveis (sem presença de cobertura vegetal, instáveis e migratórias) quanto fixas (dunas recobertas por vegetação, estáveis e imobilizadas) (Figura 5). Tratando de atividades de uso e ocupação, concentram-se as atividades relativas às coletas de frutos da vegetação *Chrysobalanus icaco* (Ajuru). Além disso, pôde-se constatar que em alguns pontos do campo de dunas, sobretudo os localizados na porção noroeste da ilha, estão sendo utilizados como depósitos de lixo, tornando-se um ambiente propício à proliferação de vetores de doenças. Um grande volume de lixo está sendo jogado nessa unidade, próximo à da praia da Princesa, e a ação eólica tem contribuído para “esconder” as embalagens de vidro e plástico jogados ali pela população.



Figura 5 - Campo de Dunas vegetadas por restinga. Fonte: autor.

3. **Falésias** - As falésias da vila de Algodal vêm sofrendo intenso processo denudacional, devido provavelmente à elevação do nível do mar em escala planetária. Na vila de Fortalezinha os problemas são de ordem antropogênica, sendo basicamente associados à exploração mineral. O material argiloso da falésia é utilizado na construção das casas dos moradores locais. Outra forma de destruição das falésias nessa vila foi o aplainamento e, posteriormente, o revestimento por cimento, na construção de uma praça. A descaracterização da paisagem é ocasionada pela remoção da vegetação nativa para a construção de pousadas e barracas de madeiras, e ainda pelo cultivo de pequenas hortas.

4. **Plataforma de Abrasão** - pode-se caracterizar dois tipos de plataforma de abrasão: a Plataforma de Abrasão Ativa, que sofre influência das ações abrasivas do mar (Figura 6); e a Plataforma de Abrasão Inativa, que não sofre mais influência das ações marinhas.



Figura 6 - Formação rochosa (Plataforma de Abrasão). Fonte: autor.

5. **Planície fluvio-marinha** – As planícies fluvio-marinhas decorrem do processo combinatório entre os agentes fluviais e oceânicos. São feições de acumulação, com formas de relevo plano. O uso e ocupação da planície fluvio-marinha tem seguido, em geral, a tendência nacional com o desmatamento, a produção de carvão vegetal e ocupação pela população de baixa renda em imóveis de precária situação. Na Ilha de Algodoal/Maiandeua, assiste-se o aumento das residências de madeiras oriundas de grande parte da vegetação retirada do manguezal (Figura 7). A produção de carvão vegetal também é realizada nessa unidade.

6. **As planícies lacustres** - são as principais unidades visitadas pelos turistas da Ilha de Algodoal-Maiandeua. Próximo a elas os bares funcionam sazonalmente, basicamente no verão, época de grande fluxo de pessoas para a ilha. O uso para a balneabilidade tem ocasionado grandes problemas socioambientais, como a deposição de lixo urbano e orgânico e a poluição do lençol freático.



Figura 7 - Manguezal juvenil a frente e adulto atrás.

7. **Canais de Maré** - Os canais de marés são caracterizados pela vegetação de mangue, sendo o habitat de algumas espécies como caranguejo, siri, camarão e aves. As margens do canal de maré são utilizadas pela comunidade local para extração da madeira, para a produção de carvão, e em algumas áreas cultiva-se arroz para o consumo interno. O canal de maré é responsável pelo fornecimento de sedimentos e oxigenação da planície de maré lamosa, possuindo um formato sinuoso e bifurcado, como uma calha rasa, com comprimento de mais ou menos 5 Km.

4.3 GEOLOGIA

A estrutura geológica de Algodual é similar à de toda a microrregião Bragantina, com dominância de sedimentos Terciários da Formação Barreiras, na porção mais interior da ilha, e por sedimentos inconsolidados do Quaternário Subatual e Recente, localizados nas suas margens (sedimentação fluvio-marinha). Seu relevo, através de suas formas singelas, está inserido na unidade morfoestrutural Planalto Rebaixado do Amazonas (da zona Bragantina). São característicos tabuleiros ou baixos platôs, aplainados e dissecados, terraços e áreas de várzeas. A ilha está situada praticamente ao nível do mar, a variação altimétrica é muito pequena, em torno de 5 metros (FAPESPA 2016).

É possível dividir a Ilha de Algodual-Maiandeuá/PA em 3 grandes unidades

geológicas. A primeira, do Quaternário, representado pelas planícies aluviais recentes, resultante das atividades dos cursos hídricos e de seus tributários. A segunda unidade (a partir do Pleistoceno), se faz presente nas antigas planícies de inundação; ou seja, a ela também pertencem os sedimentos inclusos ao Quaternário, porém fora das faixas de inundações atuais, e por último no Holoceno, representado pelos depósitos marinhos, fluviomarinhas, fluviais e eólicos (Mascarenhas 2006).

Os solos da Ilha de Algodal/Maiandeuca são, na sua maioria, arenosos, salinos e de baixa fertilidade. A cobertura vegetal e a influência marinha são importantes fatores de formação dos solos. (Ruivo 2005). Nesses solos, também há a ocorrência de ácidos fúlvicos maior que a dos ácidos húmicos, fato que está relacionado à acidez do solo e à baixa qualidade da matéria orgânica (Ruivo 2002).

4.4 ASPECTOS OCEANOGRÁFICOS

No nordeste paraense ocorrem meso e macromarés de regime semidiurno, com altura média de 2 m e 4 m, respectivamente. Entre março e abril ocorrem as marés de maior altura devido à associação do maior índice de precipitação e do Equinócio de primavera, podendo a maré alcançar altura próxima a 6 m (Ranieri & El-Robrini 2015). As correntes de marés são as principais correntes que atuam no nordeste do Pará, com velocidade máxima de 2 m/s na plataforma continental interna, durante a maré de sizígia (Cavalcante Segundo 2007). Para a Ilha de Algodal a corrente costeira é bidirecional, atuando sentido SE-NW durante a enchente e NW-SE durante a vazante, com intensidades médias de 71,4 e 63 cm/s, respectivamente (Silva 2015).

De acordo com Geyer (1996), o nordeste paraense recebe ondas formadas a partir dos ventos alísios de NE, representando o regime de ventos dominantes durante o ano todo, que cruzam a plataforma continental em direção a SW, gerando trens de ondas incidentes, que associados à morfologia de fundo, ocasionam correntes de deriva litorânea para NW, as quais, segundo Braga (2007), são responsáveis pelo transporte de grandes quantidades de sedimentos da plataforma continental para o litoral e retrabalhamento dos sedimentos litorâneos. Durante o período de dezembro a março, os alísios de NE somam-se aos alísios de SE proporcionando valores máximos de velocidade dos ventos (Geyer 1996), sendo a velocidade média anual de 4,50 m/s para o município de Maracanã (CPTEC 2018).

4.5 ASPECTOS CLIMÁTICOS

Na Ilha de Algodual, o clima está classificado, segundo Köppen (1948), como do tipo Am, tropical com sistema de monções, conhecido como Clima Equatorial Amazônico, sendo quente e com alta taxa de umidade relativa do ar, média anual em torno de 80% a 90%, com valores mais baixos nos meses de menor queda pluviométrica (Martins & Luz 2004).

De acordo com Ruivo (2005), a área apresenta precipitação pluviométrica com valores anuais elevados, em termos médios, valores entre 2700 e 2400 mm. A distribuição das chuvas, ao longo dos meses, define dois períodos distintos: um bastante chuvoso (dezembro a maio), onde as precipitações são muito intensas, principalmente no trimestre fevereiro, março e abril, ocasionando em excedentes hídricos, e outro de chuvas bastante reduzidas (período de estiagem) que atinge os demais meses do ano, quando ocorre um déficit hídrico pluviométrico. O índice alto de precipitação durante os primeiros meses do ano está relacionado à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e seu deslocamento para o Hemisfério Sul neste período (Albuquerque *et al.* 2010).

A Ilha sofre temperaturas elevadas típicas do clima equatorial amazônico, com média anual em torno de 27°C. Para a área em estudo, pode-se atribuir que as temperaturas médias mensais apresentam uma variação inferior a 5°C. Essa variação está associada à distribuição mensal das chuvas, ocorrendo, durante o período chuvoso, temperaturas máximas menos elevadas se comparadas ao período de estiagem, além de que, a região do Salgado é plenamente beneficiada pelos ventos do mar, que contribuem para essa baixa amplitude térmica. (Ruivo 2005).

Para Rocha (2001), a ilha de Algodual/Maiandeuá é caracterizada por dois sistemas de perturbação atmosférica: o sistema de circulação de W (instabilidade tropical) e o movimento latitudinal migratório da ZCIT, sendo atuantes de forma direta sobre a ilha, influenciando sobre o clima e conseqüentemente na pluviosidade.

O regime de precipitação da Amazônia é influenciado por sistemas de várias escalas, que interagem entre si, sendo elas: o Sistema de Grande Escala que são zonas de convergência ligadas a circulações térmicas diretas, que migram sazonalmente de noroeste para sudeste, provocando por exemplo, um aquecimento adiabático no verão do Hemisfério Sul, responsável pela formação da Zona da Alta da Bolívia. Ainda tem o Sistema de Escala Sinótica, com cerca de 1000 km, uma formação de aglomerados convectivos associados à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), no oeste, sudeste e sul da Amazônia. Pode-se, ainda, destacar o Sistema Sub-sinótico, menor que

500 km, que são aglomerados de cumulonimbus (Cb) associadas as Linhas de Instabilidades, surgindo na costa Atlântica forçada pela circulação da brisa marítima e propagando-se para sudoeste, Amazônia adentro (Mascarenhas 2006, Silva 2010). A região também é afetada grandemente por anomalias climáticas naturais, ENSO (El Niño/La Niña) e Dipolo do Atlântico, que ocorrem nos oceanos Pacífico e Atlântico (Ranieri & El-Robrini 2015).

4.6 ASPECTOS ANTROPOGÊNICOS

A ocupação da ilha é datada por Quaresma (2003) a partir da metade do século XX, por pescadores artesanais, os quais encontraram nos ecossistemas costeiros uma fonte de recursos pesqueiros, o que contribuiu de forma significativa para a fixação de pequenos pescadores. Durante a década de 1970, a ilha começou a atrair estudiosos cujas pesquisas tinham o objetivo de perceber as características antropológicas, botânicas, ecológicas e geomorfológicas da Ilha (Bastos 1996).

A população residente em Algodual consta de habitantes nascidos na ilha e pessoas provenientes de outros municípios, estados ou mesmo do exterior. Os nativos têm como principal atividade a pesca artesanal, embora, atualmente, dediquem-se também ao comércio e ao turismo (SECTAM 1999). Enquanto os homens praticam a pesca, as mulheres da ilha ocupam-se dos serviços domésticos: cuidado das crianças, limpeza de casa e quintais, feitura do carvão, preparo da alimentação e beneficiamento do pescado (Roman 2001).

A Ilha possui um potencial bastante considerável o ecoturismo, baseado nos atrativos naturais da APA de Algodual-Maiandeuá, isto em função da diversidade do ecossistema e da grande beleza cênica existente no local. Destacam-se as praias, as dunas, os manguezais, falésias, e inúmeras trilhas que interligam as quatro vilas que compõem a Unidade. Além das paisagens naturais acrescentam-se as ricas manifestações culturais como o artesanato local produzido com sementes colhidas da própria flora regional, o preparo artesanal da farinha de mandioca, a música, a dança do carimbó praiano, a culinária e a pesca artesanal (IDEFLOR-BIO 2018).

O estado atual dos sistemas ambientais na Ilha de Algodual-Maiandeuá vem sofrendo intenso processo de mudança tanto em seu aspecto físico (derivado da ação eólica e ação das ondas que transformam a linha do litoral nas poções noroeste e leste da ilha), como nos aspectos socioeconômicos, com a substituição das atividades tradicionais (pesca e mariscagem) para atividades relacionadas ao turismo inconsciente

e ao crescente fenômeno da segunda residência. Pode-se caracterizar esse fenômeno como o processo de ocupação do litoral através de residências construídas com o objetivo de serem ocupadas somente em período de férias, feriados prolongados e/ou finais de semana. Esse fenômeno não traz benefícios à população local, visto que não produz renda, e subvaloriza os espaços dentro da ilha, impactando negativamente a cultura local (Vidal & Mascarenhas 2012).

5 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia foi especificada no fluxograma abaixo (Figura 8).

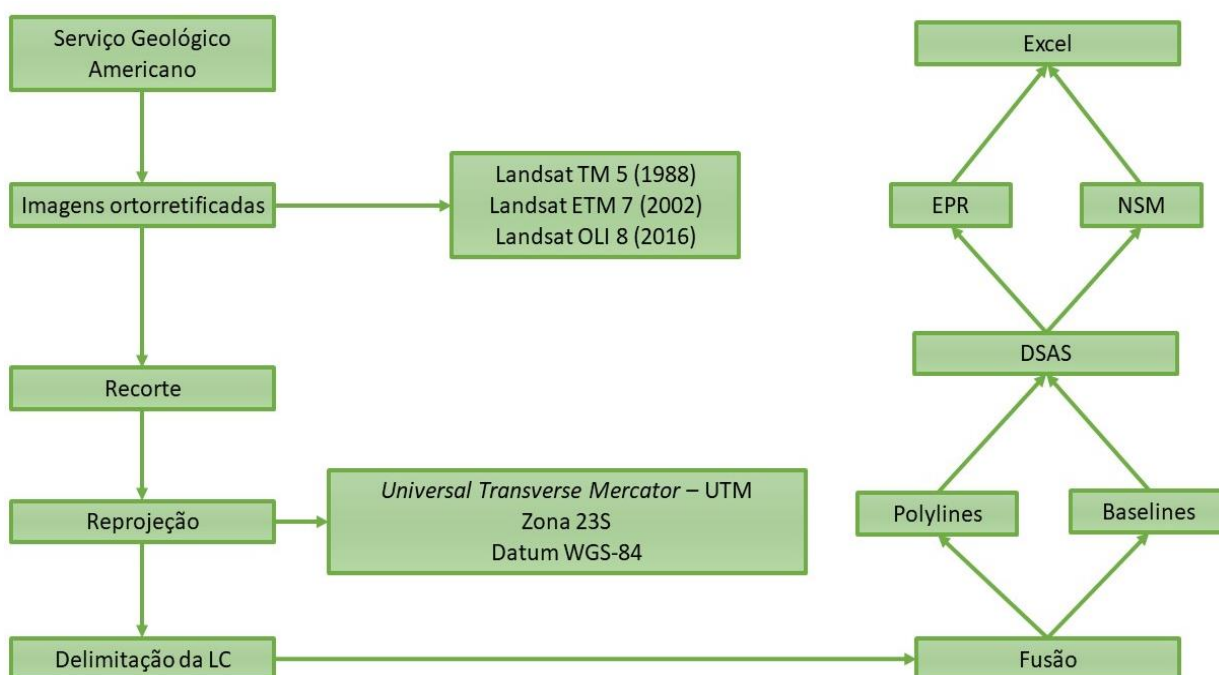


Figura 8 - Fluxograma da metodologia utilizada.

5.1 COLETA DE DADOS

As imagens de satélite utilizadas foram adquiridas previamente ortorretificadas², no formato GEOTIFF, projeção UTM, zona 23N e datum WGS-84, através das fontes: a) *Global Land Cover Facility* (<http://glcfapp.glcf.umd.edu>) da Universidade de Maryland – *United States Geological Survey* (USGS), para o ano de 1988; e b) *LandsatLook Viewer* (<http://landsatlook.usgs.gov>) – USGS, para os anos de 2002 e 2016.

² Ortorretificadas: correção de uma imagem que possui distorções internas e externas, tornando as coordenadas mais precisas.

Dentro da diversidade de imagens disponíveis para cada ano, foram escolhidas aquelas em que o nível de cobertura de nuvens era baixo (-10%) (Tabela 1).

Tabela 1 - Características das imagens Landsat.

Ano	Sensor	Data de Captura	Resolução Espacial	Período	Estado Provável da Maré
1988	Landsat 5	22/07	30 m	Seco	Seca
2002	Landsat 7	11/10	30 m	Seco	Cheia
2016	Landsat 8	16/05	30 m	Chuvoso	Seca

5.2 TRATAMENTO DOS DADOS

As imagens Landsat foram adquiridas em quadrantes (Figura 9), logo, foi necessário um corte da área de estudo. Primeiramente o corte restringiu a região da Ilha de Algodal, depois a imagem foi recortada/delimitada várias vezes para abranger somente as vilas e praias de Fortalezinha, Algodal, Mocooca, Princesa e Camboinha (Figuras 10 e 11). Posteriormente o processo foi repetido para todas as imagens utilizando as mesmas coordenadas, para que assim as imagens ficassem padronizadas.

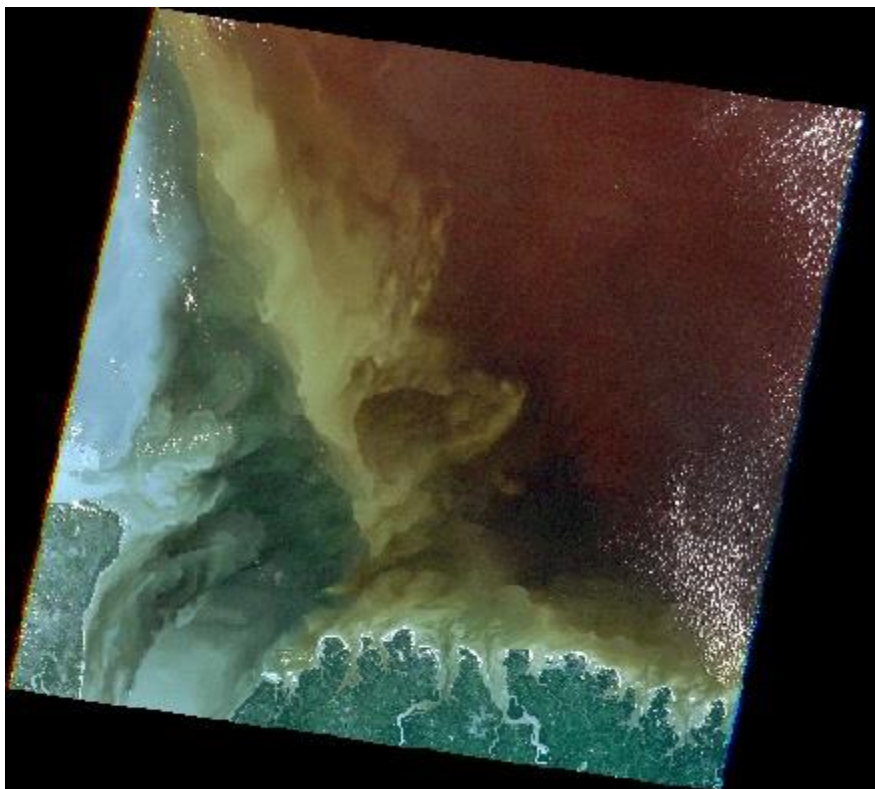


Figura 9 - Imagem bruta adquirida para o ano de 1988.

Uma vez que as imagens foram adquiridas banda a banda, foi necessária a sobreposição de todas as bandas em um mesmo arquivo GEOTIFF, que permite o processamento. As imagens foram então convertidas para um sistema de coordenadas UTM (meridiano central 23 SUL) e reprojctadas em datum WGS 84. Para uma melhor visualização das feições de interesse, junto à linha de costa, foram necessárias à aplicação de processos de aumentos de contrastes, composições coloridas em RGB. Na imagem Landsat 5 de 1988 e Landsat 7 de 2002 foi utilizada a composição colorida com as bandas 3, 4 e 5, combinação 4R5G3B. Para a imagem Landsat 8 de 2016, a combinação utilizada foi com as bandas 4, 5 e 6 (5R6G4B), pois as mesmas correspondem às bandas 3, 4 e 5 dos satélites Landsat anteriores. Após esse tratamento, as imagens foram correlacionadas espacialmente a partir de pontos de controle notáveis em todas as cenas para que fosse obtido uma sobreposição perfeita das imagens.

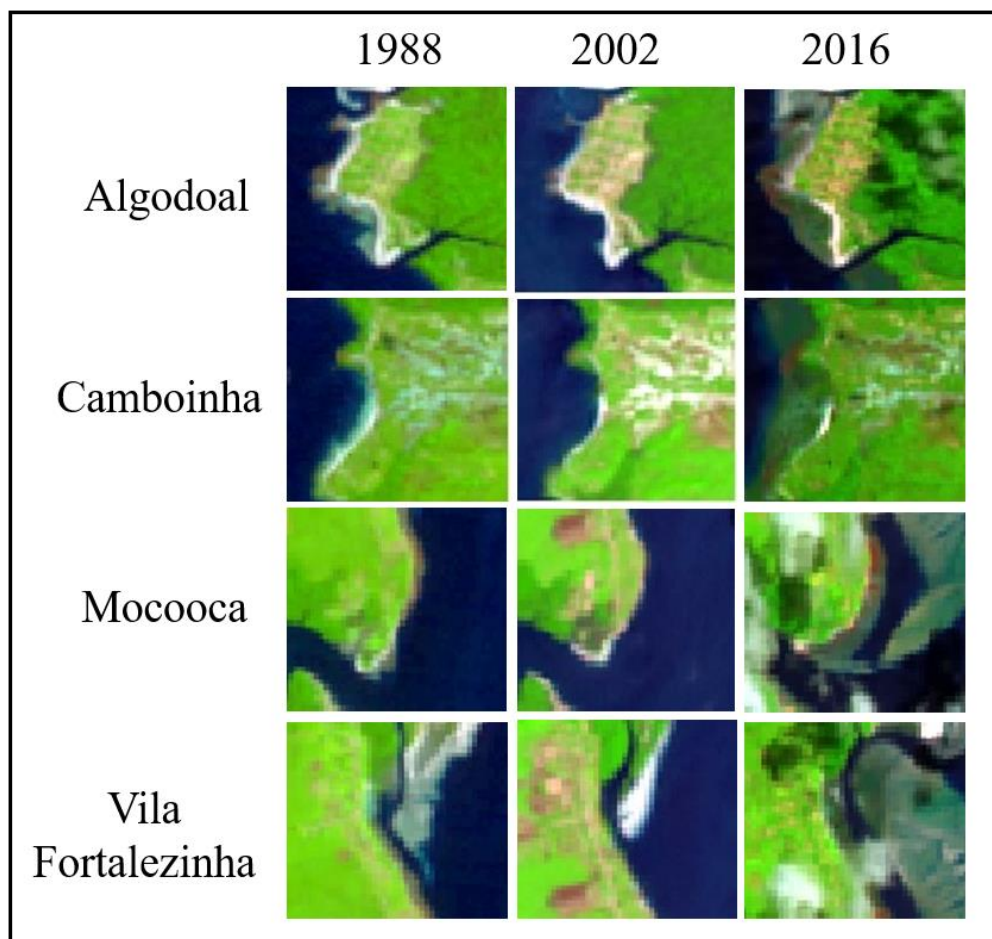


Figura 10 - Recorte das áreas específicas (Algodual, Camboinha, Mocooca e Vila de Fortalezinha).

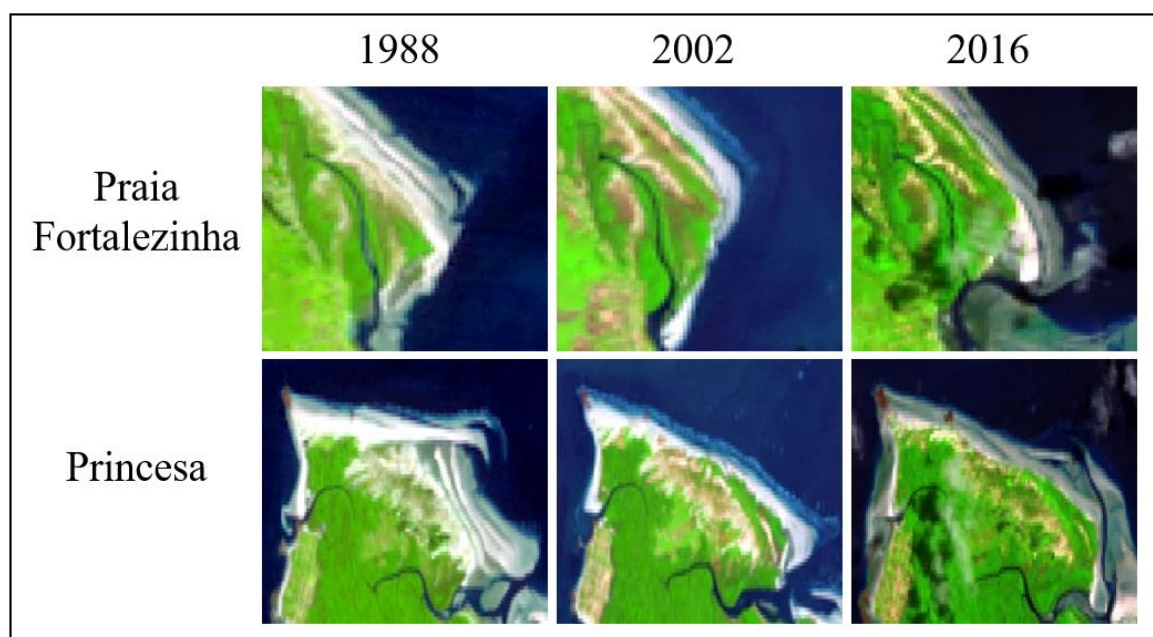


Figura 11 - Recorte das áreas específicas (Princesa e Praia de Fortalezinha).

Para trabalhos envolvendo detecção de variações na linha de costa utilizando sensores remotos multiespectrais, Moore (2000) sugeriu três possíveis métodos de delimitação das linhas de costa: a Linha Limite de Vegetação (LV), a Linha de Contato Água/Solo (LCAS) e a Linha de Deixa (LD); para o presente trabalho, o parâmetro escolhido foi a LV, que normalmente é obtida através de análise visual de bandas pancromáticas, sendo mais facilmente detectável. Tendo em vista que o trabalho tem o objetivo de analisar padrões a longo prazo (mais de 10 anos), a variação da vegetação tende a apresentar tendências mais robustas do que em trabalhos de curto prazo onde o tempo talvez não fosse o suficiente para a colonização vegetal.

A LCAS e LD, outros procedimentos sugeridos por Moore, não apresentaram boa utilidade para este trabalho, visto que, a LCAS depende muito da posição da maré no período do imageamento e muitas vezes pode induzir a falhas em áreas rasas ou com altas quantidades de material em suspensão, como na costa paraense, além disso, para a imagem de 1988, não existem dados de maré disponíveis para confirmar a informação obtida através das imagens; já em relação a LD, a dificuldade é que o posicionamento é muito subjetivo e pode não ser detectável em imagens de média resolução espacial com pixels maiores que 10m, tal são as imagens Landsat.

Para a representação da linha de costa foram criados *shapefiles*, em *polylines*, cada um representando a linha de costa de um ano de estudo. Além disso, foi feita uma *polyline* específica para a linha de base (*baseline*). Cada linha de costa foi digitalizada no *ArcView* do pacote de *softwares* do *ArcGis* 10.3, utilizando a linha de vegetação como referência, enquanto que a *baseline*, digitalizada na região oceânica, foi o referencial fixo para analisar a variação da linha de costa (Ranieri & El-Robrini 2015).

5.3 ANÁLISE DOS DADOS

Uma vez digitalizados os arquivos vetoriais multitemporais (1998, 2002 e 2016) das linhas de costa para a região de estudo, foi criado um projeto no DSAS para calcular as taxas de variação entre os vetores, assim como proposto por Thieler *et al.* (2003). O DSAS permite ao utilizador calcular com maior confiabilidade as taxas de mudança a partir de uma sequência de linhas de costa, representadas por *polylines*, devidamente posicionadas; então, são gerados transectos ortogonais a linha de base (*baseline*), determinada pelo usuário, e, a partir da distância em metros entre cada *polyline* em relação a *baseline*, são calculadas as taxas de variação da linha de costa ao longo do tempo. Os cálculos são realizados através de métodos estatísticos distintos, que são

convertidos em uma tabela de atributos composta por uma série de parâmetros quantitativos, que expressam a taxa de variação horizontal de acordo com o parâmetro estatístico escolhido.

O DSAS permitiu o cálculo das taxas de recuo / avanço entre os pontos dos *transectos* que cruzam as linhas de costa (*polylines*), com base na distância entre elas e o tempo decorrido, assumindo que as mudanças seriam processos lineares. A taxa de mudança de posições na linha de costa foi avaliada usando 2 abordagens diferentes: *End Point Rate* (EPR) e *Net Shoreline Movement* (NSM), dois dos parâmetros estatísticos calculados no DSAS.

Os dados das tabelas de atributos foram transportados ao *Microsoft Office Excel* para a devida análise. Todos os valores negativos foram considerados como processos erosivos ou recuo costeiro e os valores positivos como processos acrescionais ou avanço da linha de costa.

6 RESULTADOS

6.1 VILA E PRAIA DE ALGODOAL

As linhas de costa obtidas para a vila de Algodual estão representadas na figura abaixo (Figura 12).

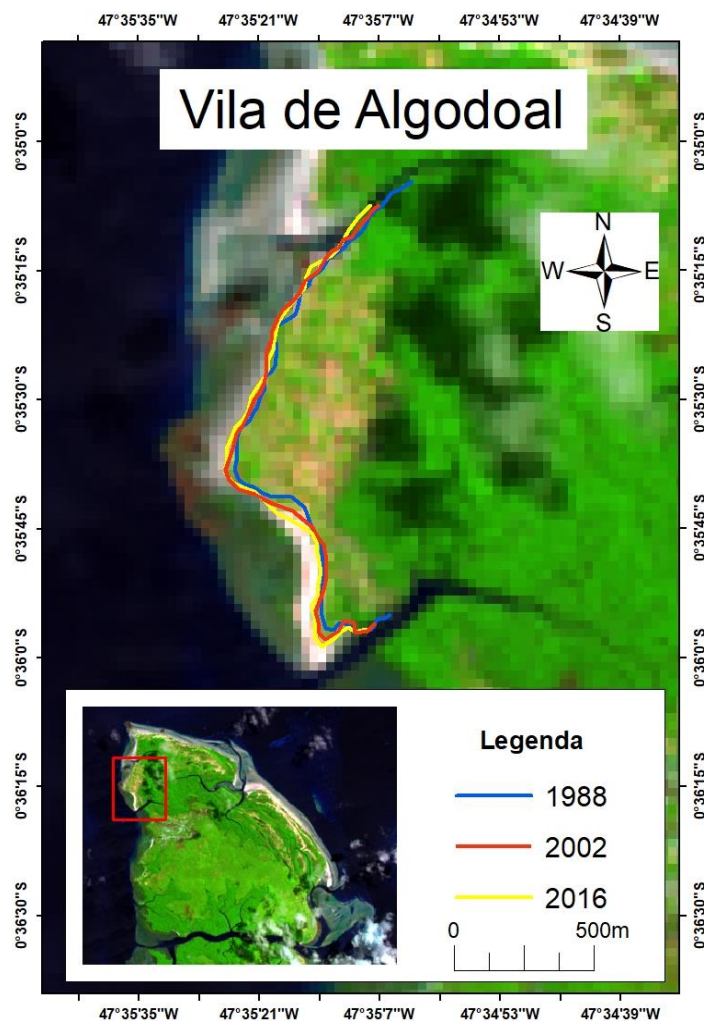


Figura 12 - Linhas de Costa dos anos estudados para a Vila de Algodual. Imagem Landsat 8/OLI do ano de 2016.

No período de 1988-2002 a amplitude espacial, calculada com o método NSM, teve médias de avanço e recuo da linha de costa de 22,34 e -8,03 metros (Figura 13-A), respectivamente. A taxa de variação média, calculadas pelo método EPR, foi de 1,52 e -0,56 m/ano (Figura 13-B) para avanço e recuo costeiro. Para o período 2002-2016, a amplitude espacial média foi de 20,13 metros para as áreas de avanço e 9,38 metros para as áreas de recuo (Figura 13-C), com taxas médias de 1,48 e -0,63 m/ano (Figura 13-D), respectivamente. Para o período todo de estudo, 1988-2016, a vila de Algodual foi a única área em que predominou avanço da linha de costa, ou seja, valores positivos,

mesmo que separadamente nos períodos houvessem valores negativos, eles não foram tão ocorrentes a ponto de caracterizar a área como mais erosiva; assim, a amplitude espacial média da região foi de 28,27 metros (Figura 13-E), a uma taxa de variação de 1,01 m/ano (Figura 13-F). Considerando todo o período de estudo, a amplitude máxima de variação da linha de costa foi de 115,90 (para avanço) na porção central da praia e - 14,57 metros (para recuo) ao sul da praia.

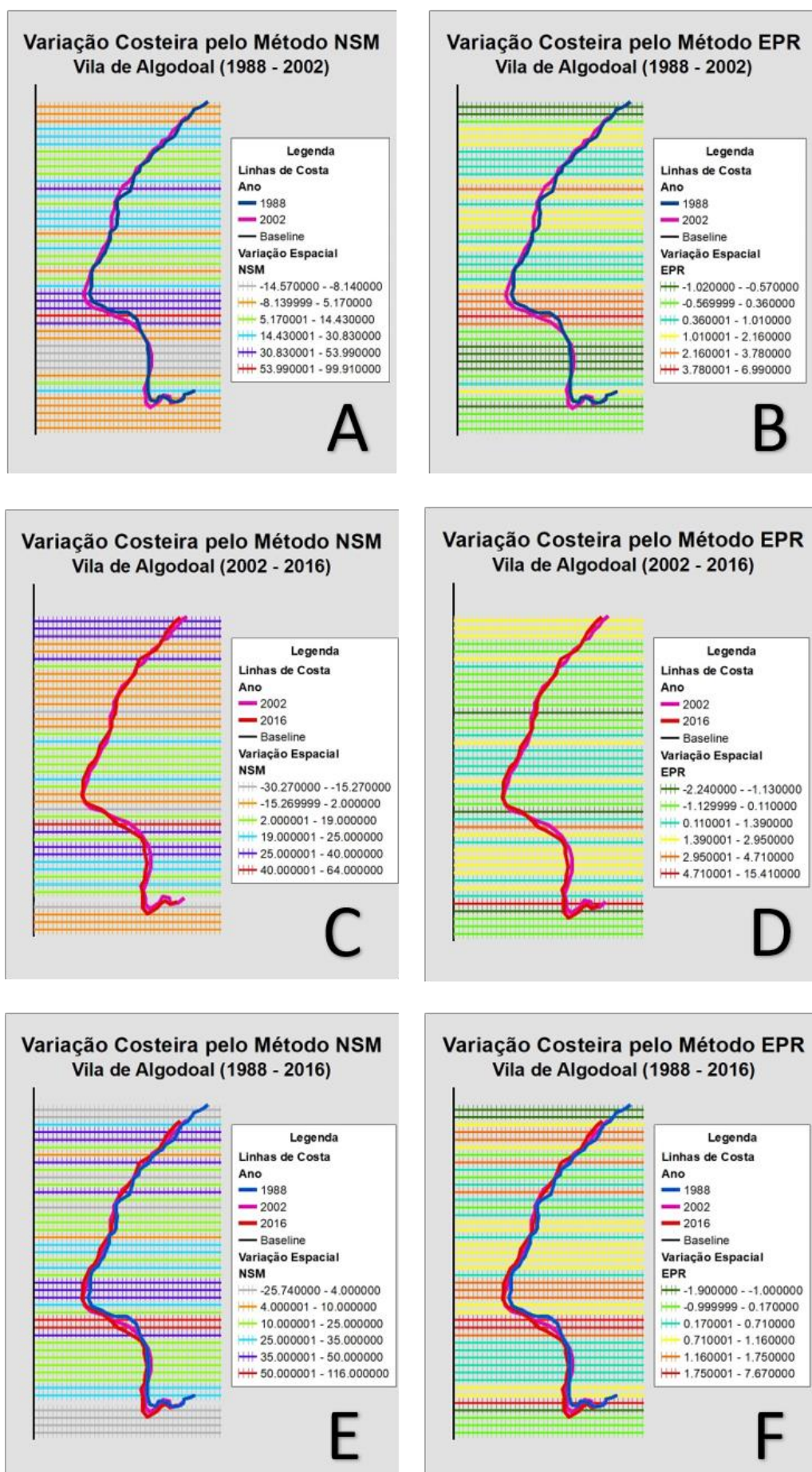


Figura 13 - Variação Espacial pelo método NSM (m) e EPR (m/ano) obtida para a Vila de Algodal nos períodos 1988-2002 (A, B), 2002-2016 (C, D) e 1988-2016 (E, F).

6.2 VILA DE CAMBOINHA

A representação das linhas de costa obtidas para a vila de Camboinha está na Figura 14.

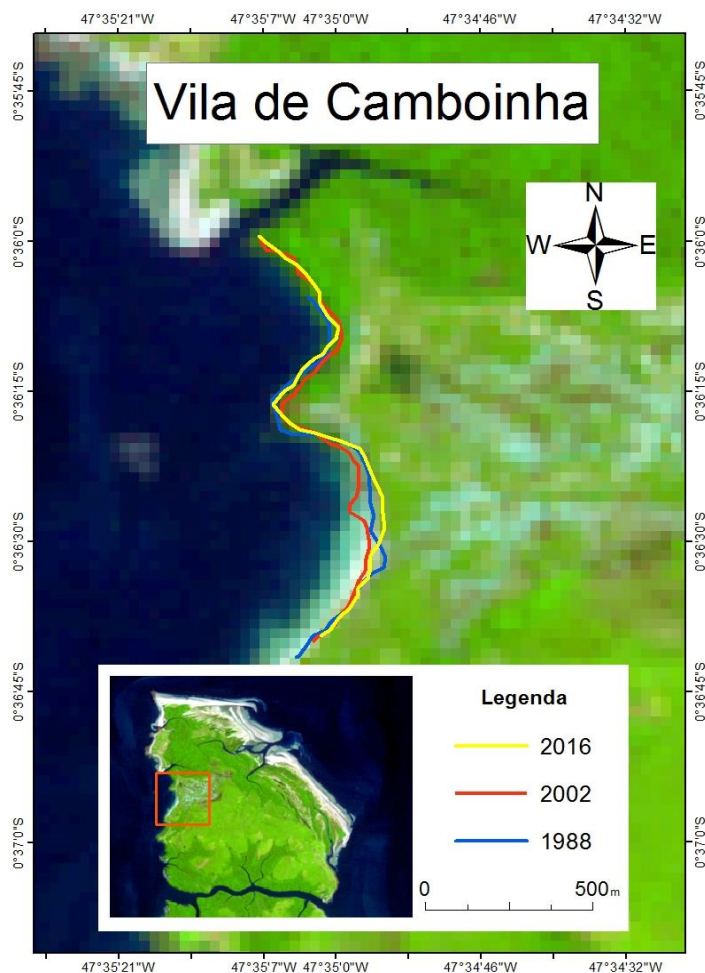


Figura 14 - Linhas de Costa dos anos estudados para a Vila de Camboinha. Imagem Landsat 5/TM do ano de 1988.

No geral, a vila de Camboinha apresentou zonas de acresção e erosão, tendo variações positivas e negativas, prevalecendo, em extensão total, as áreas onde houve o recuo da linha de costa. Para o período 1988-2002, a porção sul da vila sofreu um grande avanço sobre o mar, enquanto que a porção norte sofreu recuo; as taxas médias de variação foram de 2,16 (para avanço costeiro) e -2,10 m/ano (para recuo) (Figura 15-B), com amplitudes médias de 30,99 e -30,17 metros (Figura 15-A), respectivamente. No período seguinte, 2002-2016, o padrão de mudanças se inverteu, tendo avanço na porção norte e recuo na porção sul da vila; com valores positivos de 19,35 metros e 1,43 m/ano (ao norte), e negativos de -28 metros e -2,07 m/ano (ao sul) (Figura 15-C e D). A alternância entre zonas de acresção e erosão costeira para os dois períodos fez com que, considerando os 28 anos, 1988-2016, os valores de variação fossem amenizados. A amplitude espacial média foi de 20,47 (para avanço costeiro) e -18,53 metros (para

recuo) (Figura 15-E) com variações de 0,73 e -0,66 m/ano (Figura 15-E), respectivamente. As amplitudes espaciais extremas, para o período todo de estudo, foram de 67,90 na porção central da vila, entre os anos de 1988 e 2002, e -77,38 metros também na porção central da ilha, muito próximo a área de maior avanço.

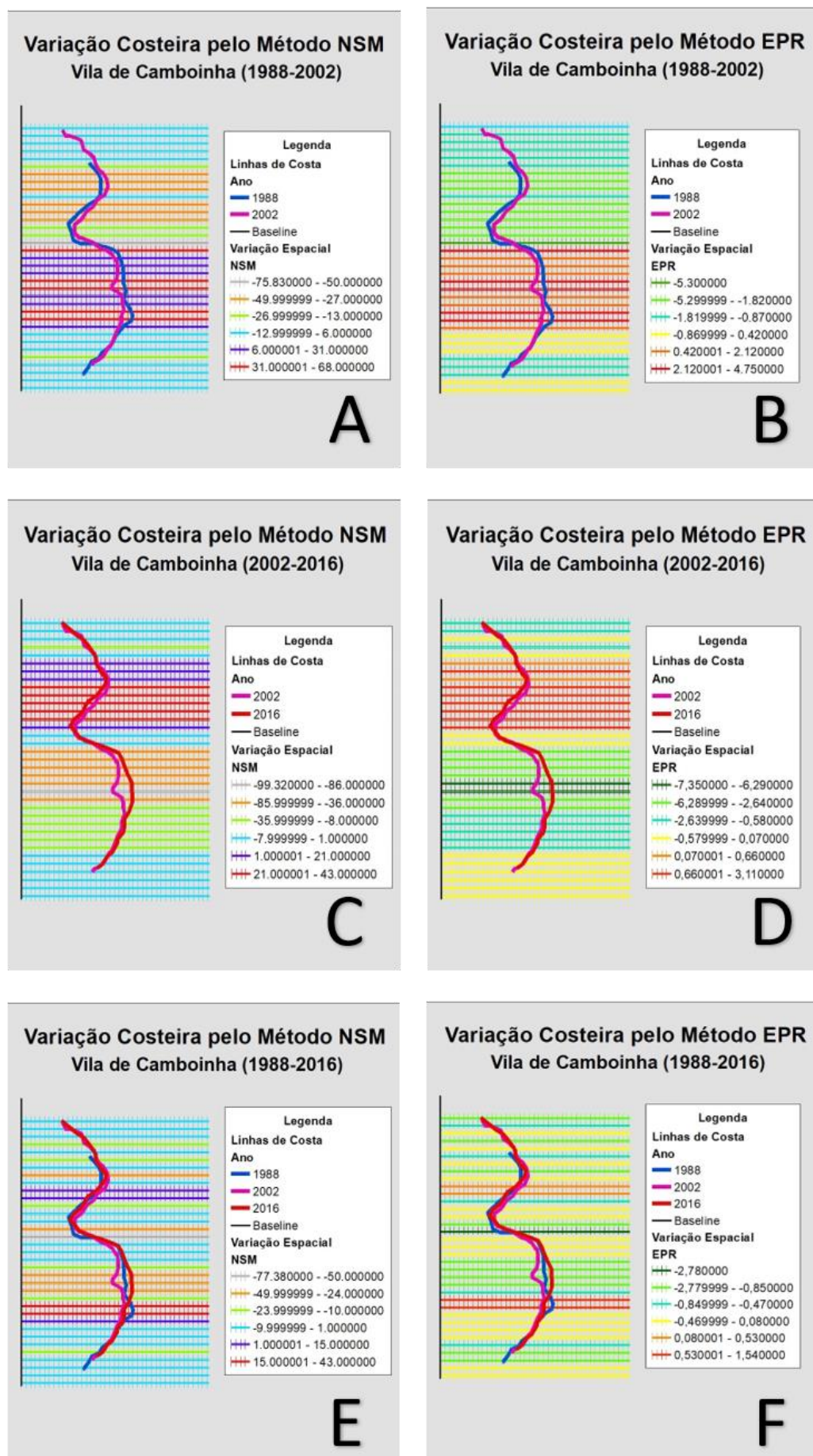


Figura 15 - Variação Espacial pelo método NSM (m) e EPR (m/ano) obtida para a Vila de Camboinha nos períodos 1988-2002 (A, B), 2002-2016 (C, D) e 1988-2016 (E, F).

6.3 VILA DE MOCOOCA

A vila de Mocooca apresentou a seguinte representação de suas linhas de costa (Figura 16):

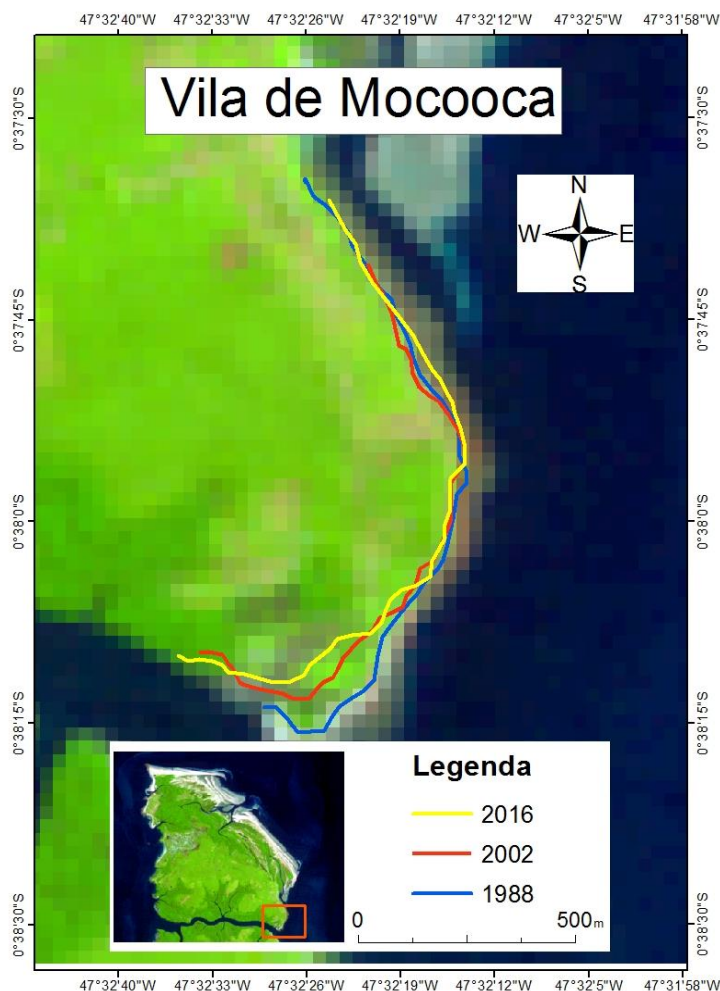


Figura 16 - Linhas de Costa dos anos estudados para a vila de Mocooca. Imagem Landsat 5/TM do ano de 1988.

A vila de Mocooca apresentou um padrão de recuo em sua porção sul e avanço na porção norte em todos os períodos. Para os anos de 1988 a 2002, a variação anual foi de 0,41 e -1,60 m/ano (Figura 17-B) e a média de deslocamento da costa de 4,45 e -22,93 metros (Figura 17-A). Para os anos de 2002 a 2016, a variação costeira média foi de 23,14 e -8,18 metros (Figura 17-C) a taxas anuais de 1,71 e -0,60 m/ano (Figura 17-D) de avanço e recuo da linha de costa, respectivamente. Para o período como um todo, prevaleceu, em valores, as taxas de recuo da linha de costa; de 1988 a 2016 a variação espacial média foi de 15,55 e -29,35 metros (Figura 17-E), variando em 0,55 e -1,05 m/ano (Figura 17-F). A variação máxima positiva da costa foi de 35 metros na porção norte da vila, enquanto que a máxima negativa foi de -110,91 metros no extremo sul da

vila.

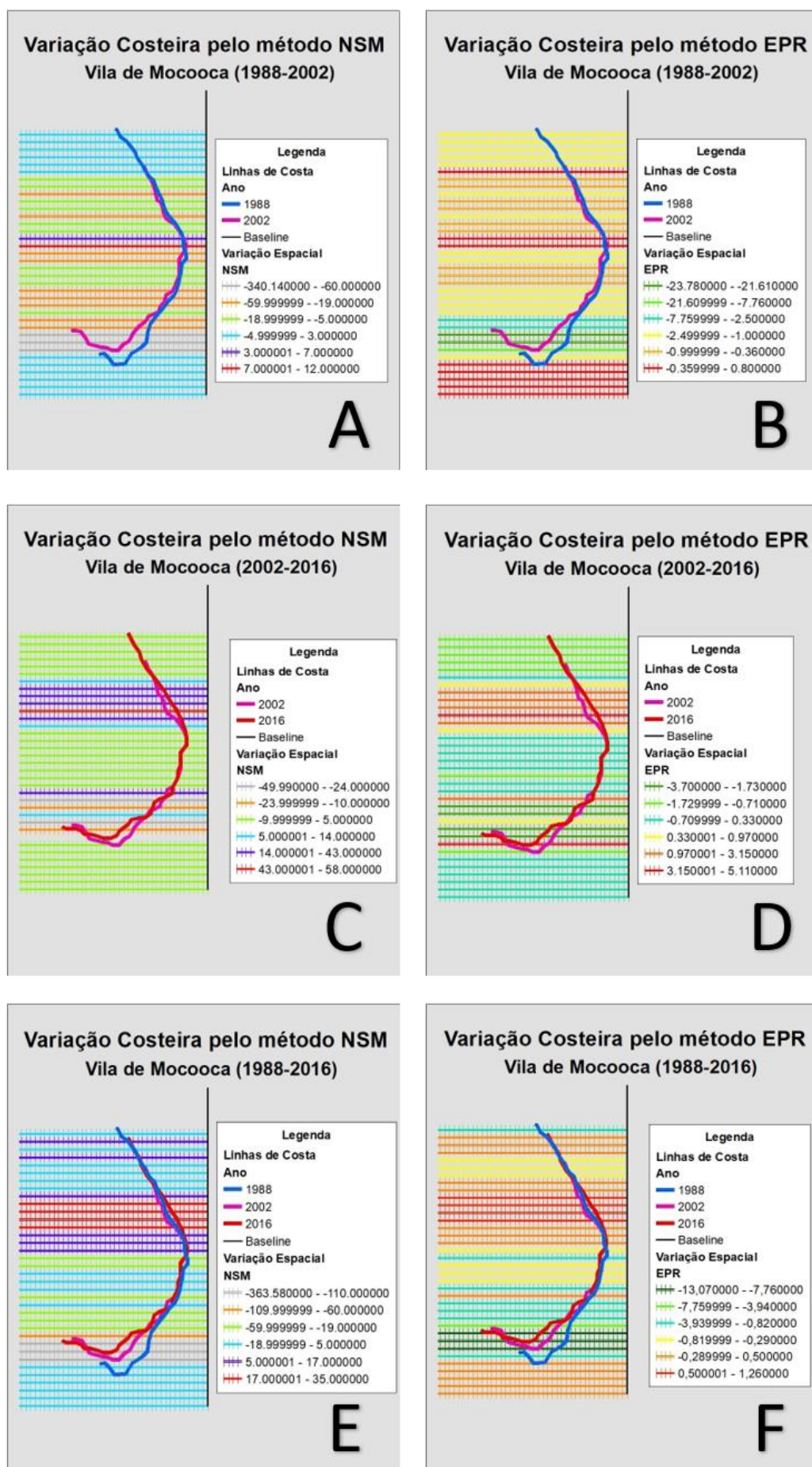


Figura 17 - Variação Espacial pelo método NSM (m) e EPR (m/ano) obtida para a Vila de Mocooca nos períodos 1988-2002 (A, B), 2002-2016 (C, D) e 1988-2016 (E, F).

6.4 VILA DE FORTALEZINHA

A Figura 18 mostra a configuração das linhas de costa da Vila de Fortalezinha para o período do estudo.

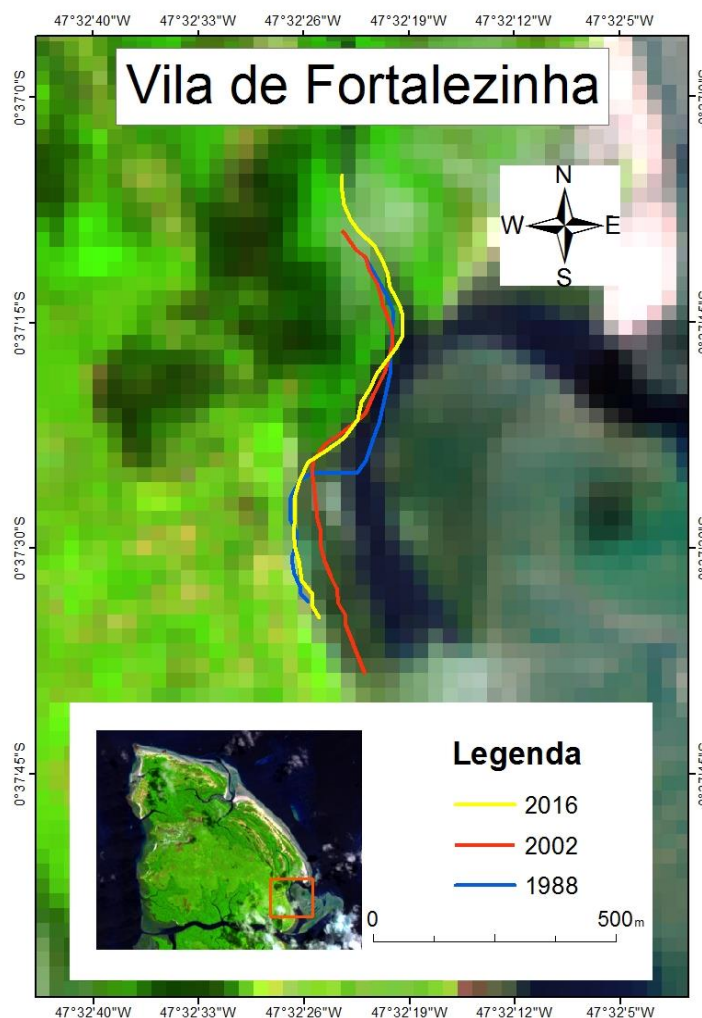


Figura 18 - Linhas de Costa dos anos estudados para a vila de Fortalezinha. Imagem Landsat 8/OLI do ano de 2016.

Essa região da ilha também esteve demarcada por alternância entre acreção e erosão costeira. O período de 1988-2002 teve valores de variação costeira média de 49,19 (para acreção/avanço da linha de costa) e -32,30 metros (para erosão/recuo da linha de costa) (Figura 19-A), com taxas de 3,44 e -2,25 m/ano (Figura 19-B), respectivamente; já para os anos de 2002 a 2016, os valores médios foram de 24,28 e -35,73 metros (Figura 19-C) e 1,79 e -2,64 m/ano (Figura 19-D). Considerando os 28 anos, de 1988 a 2016, a amplitude espacial média foi de 15,10 metros de avanço da linha de costa e 45,46 metros de recuo (Figura 19-E), com taxas de 0,54 e -1,63 m/ano, respectivamente (Figura 19-F). O deslocamento máximo da linha de costa, em valores positivos e negativos, foi de 73,04 no extremo sul da vila, entre o período de 1988 a 2002 e -113,39 metros na porção central da vila.

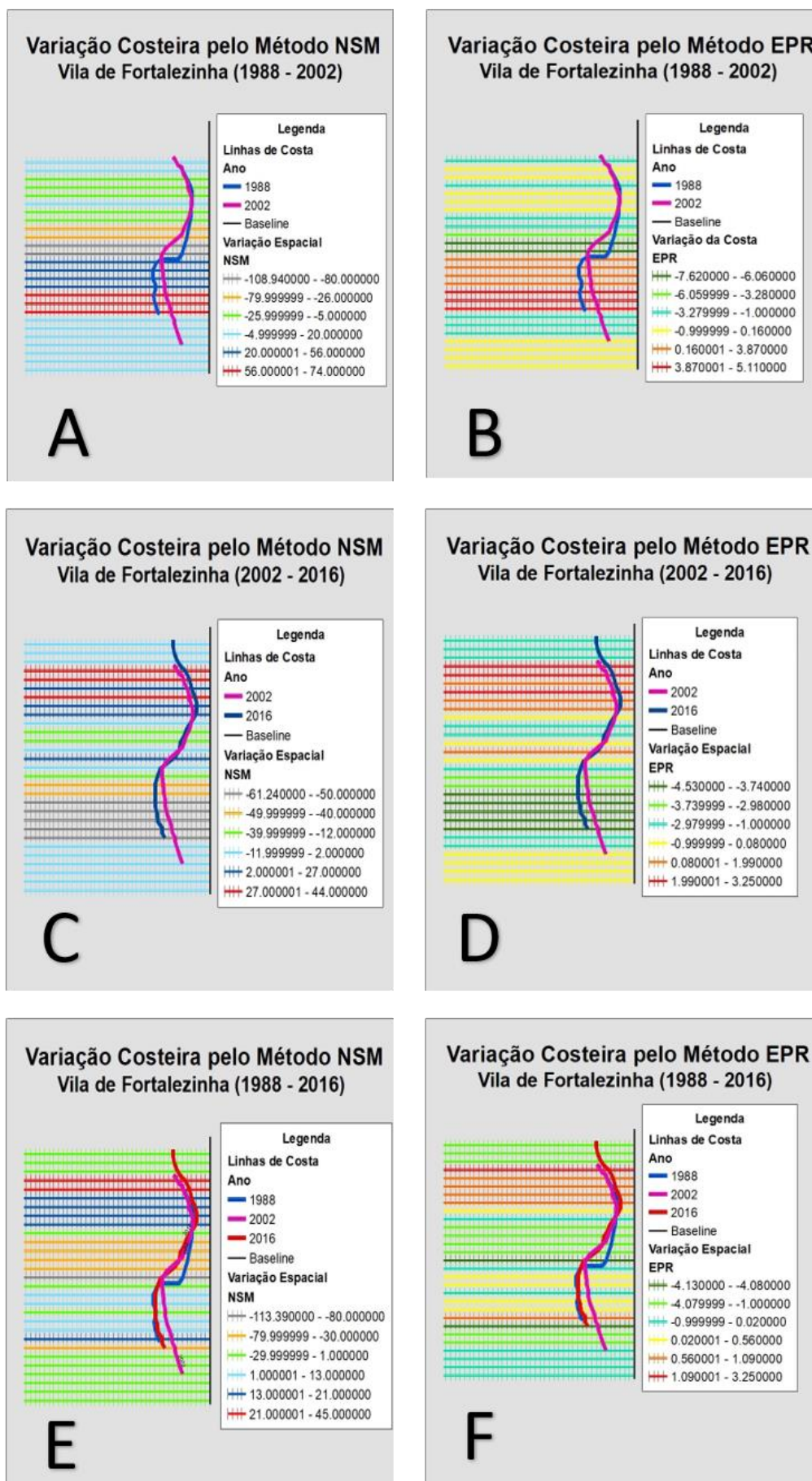


Figura 19 - Variação Espacial pelo método NSM (m) e EPR (m/ano) obtida para a Vila de Fortalezinha nos períodos 1988-2002 (A, B), 2002-2016 (C, D) e 1988-2016 (E, F).

6.5 PRAIA DE FORTALEZINHA

O mapa da praia de Fortalezinha com suas respectivas linhas de costa está representado na figura abaixo (Figura 20).

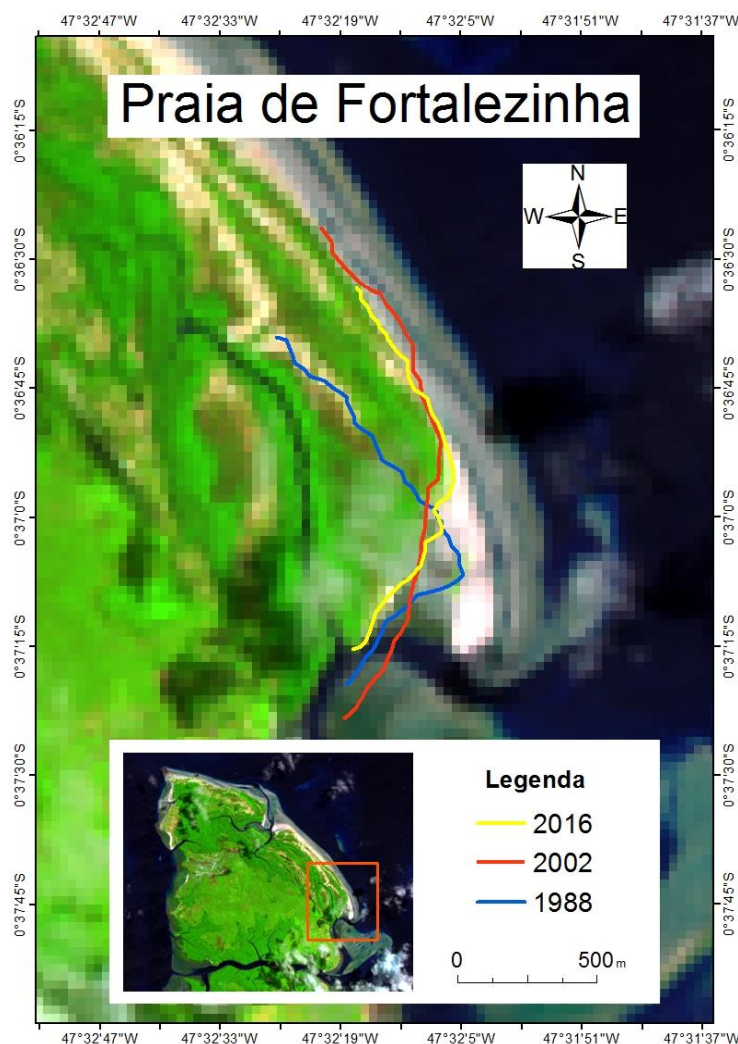


Figura 20 - Linhas de Costa dos anos estudados para a praia de Fortalezinha. Imagem Landsat 8/OLI do ano de 2016.

A praia de Fortalezinha teve um movimento bem demarcado de erosão em sua porção sul e acresção na porção norte. No período 1988-2002, mesmo a porção sul, apresentou avanço costeiro e somente uma pequena área central da praia teve recuo, a amplitude espacial média foi 202,47 metros de avanço costeiro e -92,12 metros de recuo (Figura 21-A) e as taxas médias anuais foram de 14,15 e -6,44 m/ano (Figura 21-B), respectivamente. Entre os anos de 2002 e 2016 os valores foram mais amenos, 33,18 e -69,17 metros de amplitudes médias (Figura 21-C) e 2,45 e -5,11 m/ano de taxas médias de variação (Figura 21-D). Para o período 1988-2016, a porção norte da praia teve amplitude espacial média de 244,22 metros com variação de 8,78 m/ano; já a porção sul apresentou amplitude de -94,06 metros com variação de -3,38 metros anuais (Figura 21-E e F). Os valores mais extremos atingidos pela costa foram de 443,91 metros no

extremo norte da praia, no período de 1988 a 2002, e -179,98 metros na porção central da praia.

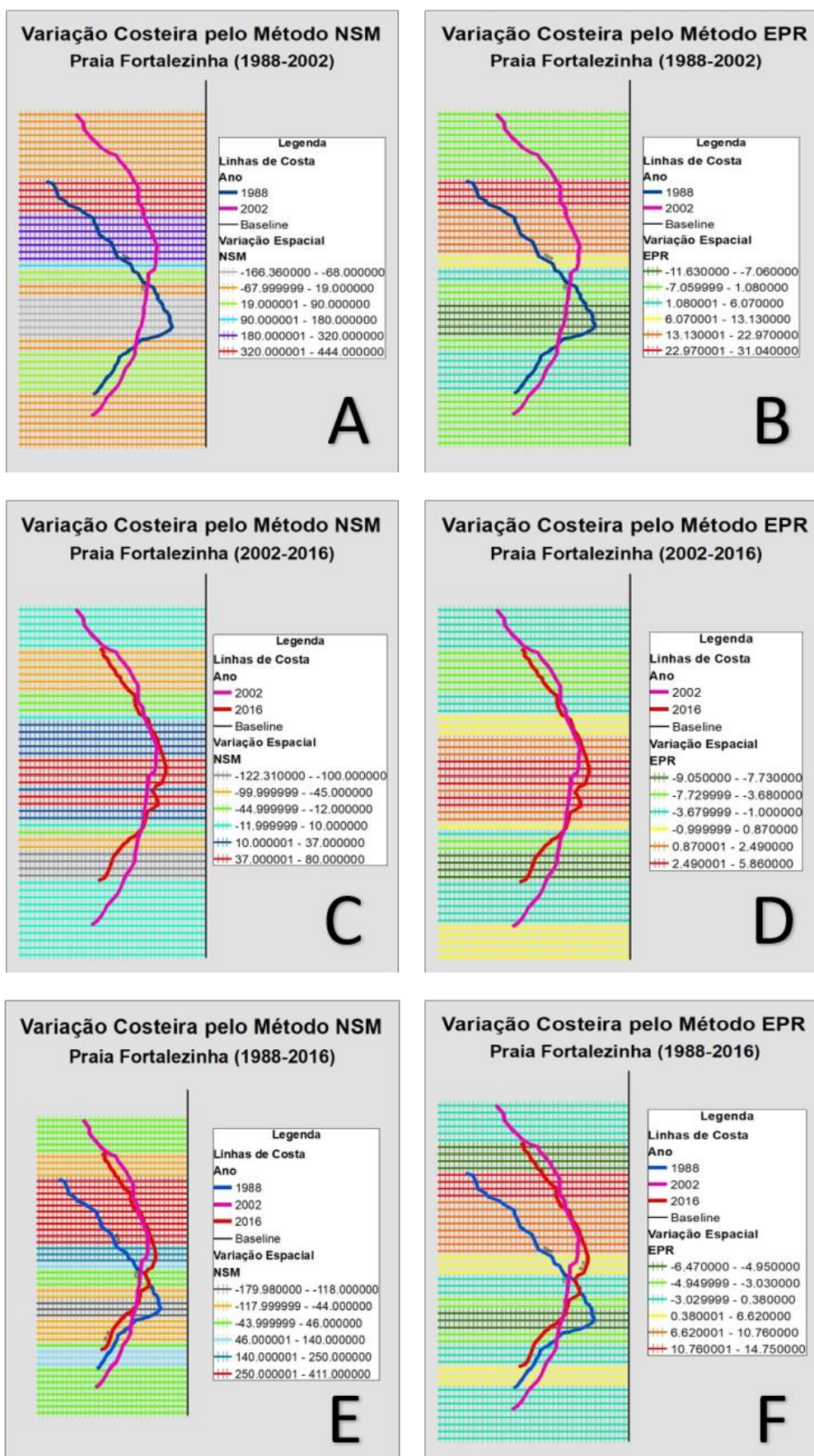


Figura 21 - Variação Espacial pelo método NSM (m) e EPR (m/ano) obtida para a Praia de Fortalezinha nos períodos 1988-2002 (A, B), 2002-2016 (C, D) e 1988-2016 (E, F).

6.6 PRAIA DA PRINCESA

As linhas de costa obtidas para a praia da Princesa estão representadas na figura abaixo (Figura 22).

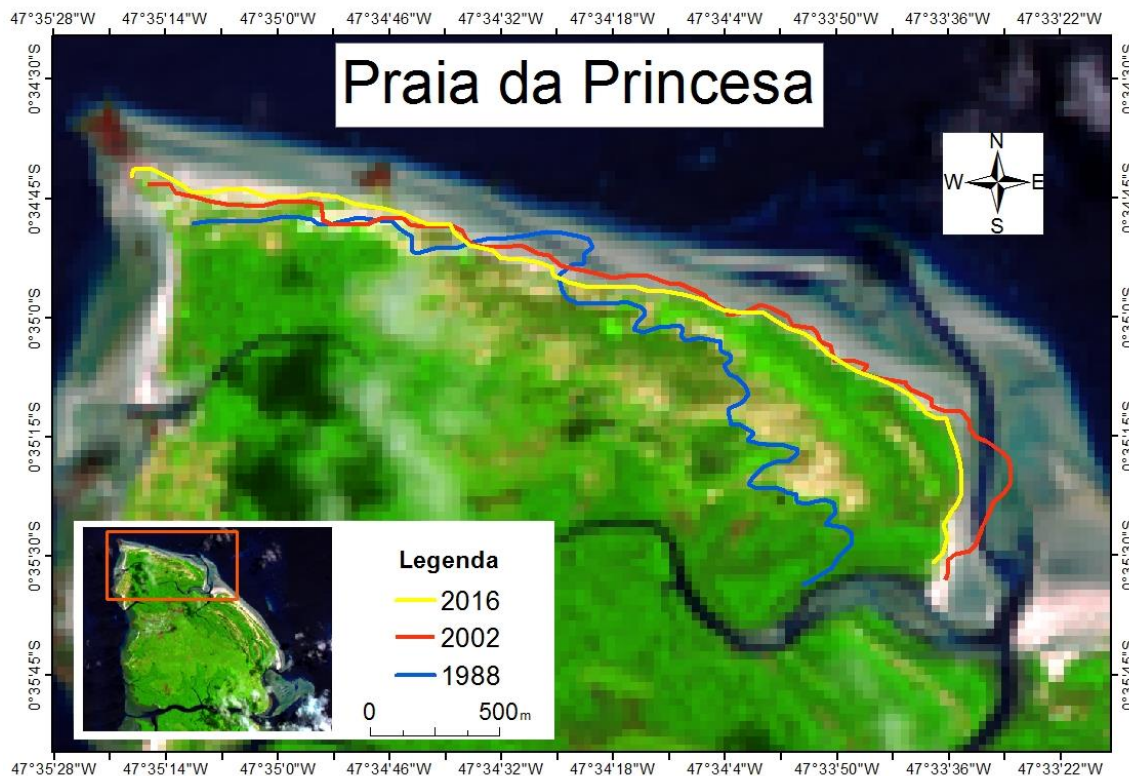


Figura 22 - Linhas de Costa dos anos estudados para a praia da Princesa. Imagem Landsat 8/OLI do ano de 2016.

A praia da Princesa foi a região do estudo que sofreu a maior mudança em sua linha de costa, principalmente durante o primeiro período de estudo; para os anos de 1988 a 2002, a costa teve uma média de avanço e recuo de 15,54 e -3,55 m/ano (Figura 23-B) e amplitude média de 222,33 e -50,79 metros (Figura 23-A), respectivamente. Nos anos de 2002 a 2016 as mudanças foram mais amenas e similares, o deslocamento médio da linha de costa ficou em 40,04 metros de avanço e -30,01 metros de recuo (Figura 23-C) com taxas médias de variação de 3,05 e -2,22 m/ano (Figura 23-D). Para o período todo de estudo, os valores positivos ficaram em 229,45 metros e 8,13 m/ano, e os negativos em -90,73 metros e -3,26 m/ano (Figura 23-E e F). O avanço máximo da linha de costa alcançou 592,00 metros no máximo leste da praia, enquanto o recuo máximo foi de -146,30 metros na porção central da praia.

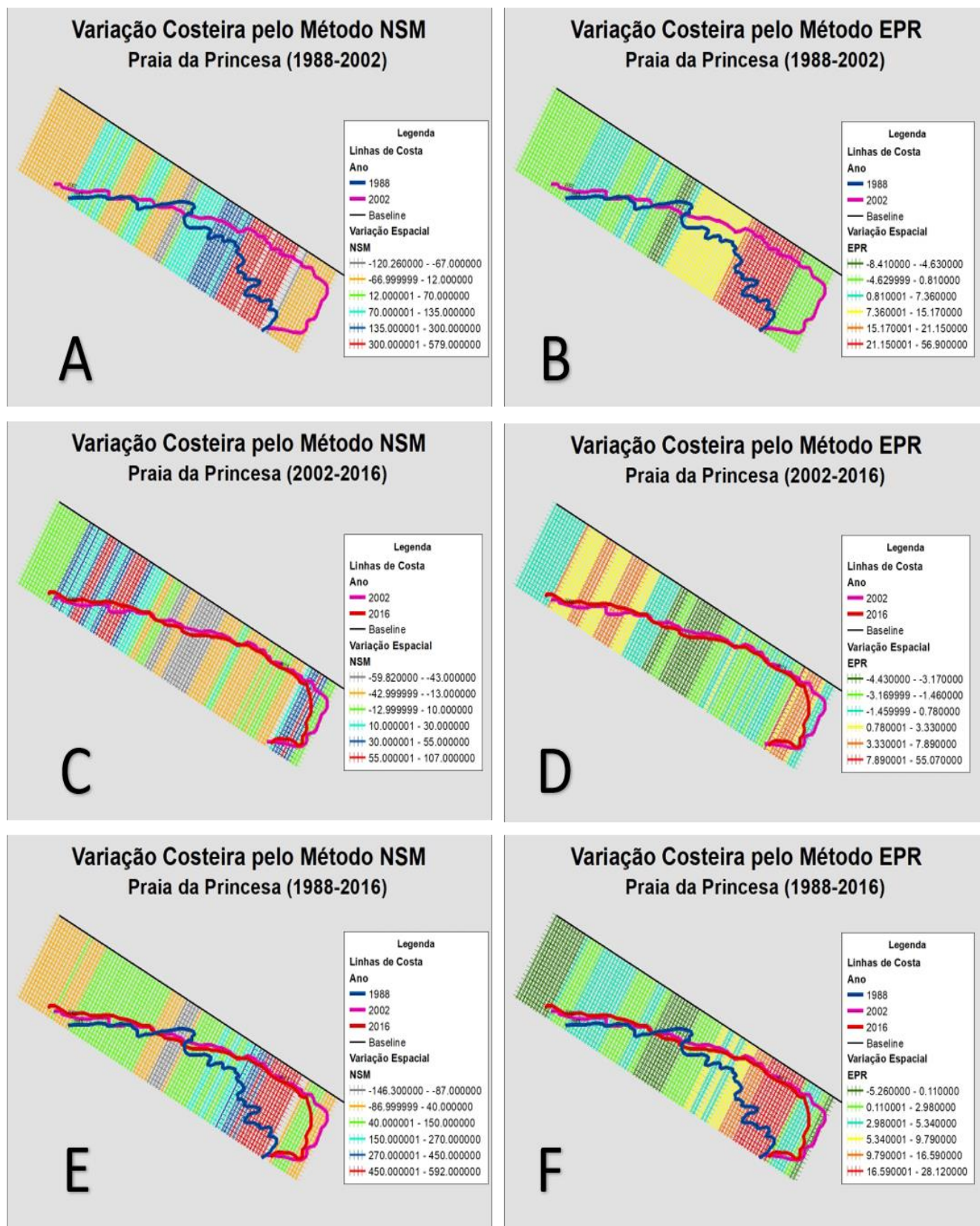


Figura 23 - Variação Espacial pelo método NSM (m) e EPR (m/ano) obtida para a Praia da Princesa nos períodos 1988-2002 (A, B), 2002-2016 (C, D) e 1988-2016 (E, F).

Nas extremidades da praia da Princesa (Figura 23), de Algodal (Figura 13) e Mocooca (Figura 17), correspondentes às reentrâncias de canais de maré ou curvatura

da ilha, os valores de variação da linha de costa ficaram comprometidos e reduzidos, devido o cruzamento linear dos *transectos* com as linhas de costa mais de uma vez, desta forma o programa calculou a maior distância entre a base e as linhas de costa, não correspondendo ao cálculo correto. Erro similar aconteceu quando os *transectos* não envolverem as linhas de costa de todos os anos em estudo.

Desta forma, para não implicar em erros, com valores médios subestimados ou superestimados, considerou-se apenas as variações de linha de costa localizadas especificamente na faixa praia, desprezando esses *transectos* apenas a nível de cálculo e mantendo-os nas imagens para melhor representação da linha de costa como um todo.

7 DISCUSSÃO

A Ilha de Algodal/Maiandeua apresenta sua dinâmica costeira governada pelos processos físicos naturais atuantes na mesma (ondas, marés, correntes, ventos, descarga fluvial). Sendo os fatores antrópicos ainda pouco impactantes, no que tange às modificações espaciais da linha de costa.

A ocupação humana na ilha se estabeleceu, prioritariamente, nas 4 vilas estudadas, sendo que nas vilas de Mocooca e Fortalezinha prevalecem construções de madeira e apenas em Algodal e Camboinha há conglomerados de construções de alvenaria. Mesmo nessas vilas onde existe maior desenvolvimento, a locomoção é feita em carroças ou bicicletas e não existe pavimentação, além disso, os maiores imóveis não passam de dois andares, logo, a ilha como um todo apresenta baixo índice de urbanização e sua linha de costa pouco é afetada diretamente por essas práticas.

Algodal apresentou uma característica de acresção costeira, pois os valores de variação anual da praia estão positivamente estáveis, indicando o aumento da linha de costa; mesmo com alguns valores negativos entre os períodos, para os 28 anos de estudo houve predominância de avanço da linha de costa, como observado na Figura 13 (E e F).

Algodal e Camboinha apresentaram os menores valores de variação e até mesmo certa estabilidade, visto que em todas as outras áreas (vilas e praias mapeadas) houveram mudanças características na fisiografia da costa, com exceção dessas duas. Ambas estão na porção oeste da Ilha de Maiandeua, banhadas pelo Rio Marapanim cujas correntes residuais tem sentido em direção a essas vilas, segundo Borba (2011) (Figura 24). Esse fenômeno pode ser responsável pela maior erosão na região de Camboinha e transporte sedimentar que causa a acresção contínua da praia de Algodal.

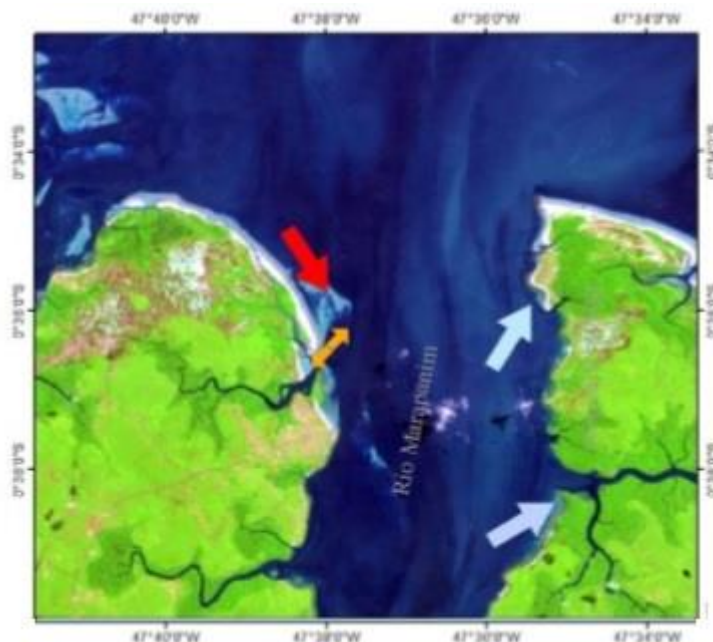


Figura 24 - Mapa conceitual da provável circulação estuarina na foz da baía de Marapanim. Corrente Residual em azul. Fonte: Borba (2011).

A Vila de Mocooca sofreu um padrão de erosão na sua porção sul e acresção na porção norte (Figura 16), padrão esse que pode ser observado na vila e praia de Fortalezinha, com ressalvas, que estão imediatamente a norte de Mocooca. Seguindo o quadro de acresção da Vila de Mocooca, esperava-se uma continuação desse avanço da linha ao sul da Vila de Fortalezinha (Figura 18), porém isso só pôde ser visto durante o período 1988-2002; no período de 2002-2016 a linha de costa praticamente retornou ao estado inicial do estudo, contudo, nesse mesmo período observou-se a formação de um grande banco de areia em frente a área da Vila de Fortalezinha, que pode ter sido o responsável por reter esse sedimento e impedir a deposição na vila. Pode indicar o transpasse de sedimentos *offshore* de 2002 a 2016, na forma de barras arenosas (Figura 25).

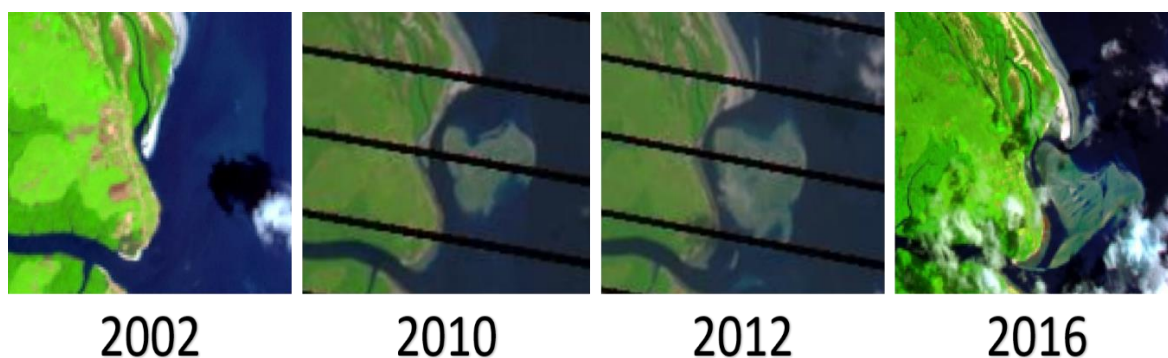


Figura 25 – Evolução do banco de areia para os anos de 2002, 2010, 2012 e 2016.

Na praia de Fortalezinha, o padrão de acresção rumo ao norte se manteve, mas

além disso houve um aplainamento do formato da praia e aparente deslocamento lateral da mesma rumo ao norte (Figura 20). Tal situação também ocorreu na Praia da Princesa, porém o movimento foi em sentido sudeste (Figura 22); nessa praia o aplainamento de seu formato fica ainda mais aparente, visto que, no ano de 1988 a linha de costa da mesma possuía um certo recorte ondulado/irregular e com o passar dos anos foi se tornando mais retilínea. Esse padrão dinâmico apresentado nessa área, leste da ilha, é muito característico de deriva litorânea forçada por correntes costeiras. Segundo Silva (2015), a corrente nessa região é bidirecional com sentido SE-NW durante a enchente e, NW-SE durante a vazante (Figura 26); as correntes mais intensas ocorrem durante a enchente e no período chuvoso, podendo estar relacionadas a atuação predominante dos alísios de NE.

Apesar da intensa dinâmica costeira na região de ambas as praias, poucas são as áreas de erosão e isso acontece devido à grande presença de restinga e dunas vegetadas presentes em ambas as praias (Bastos 1996), que protegem a linha de costa.

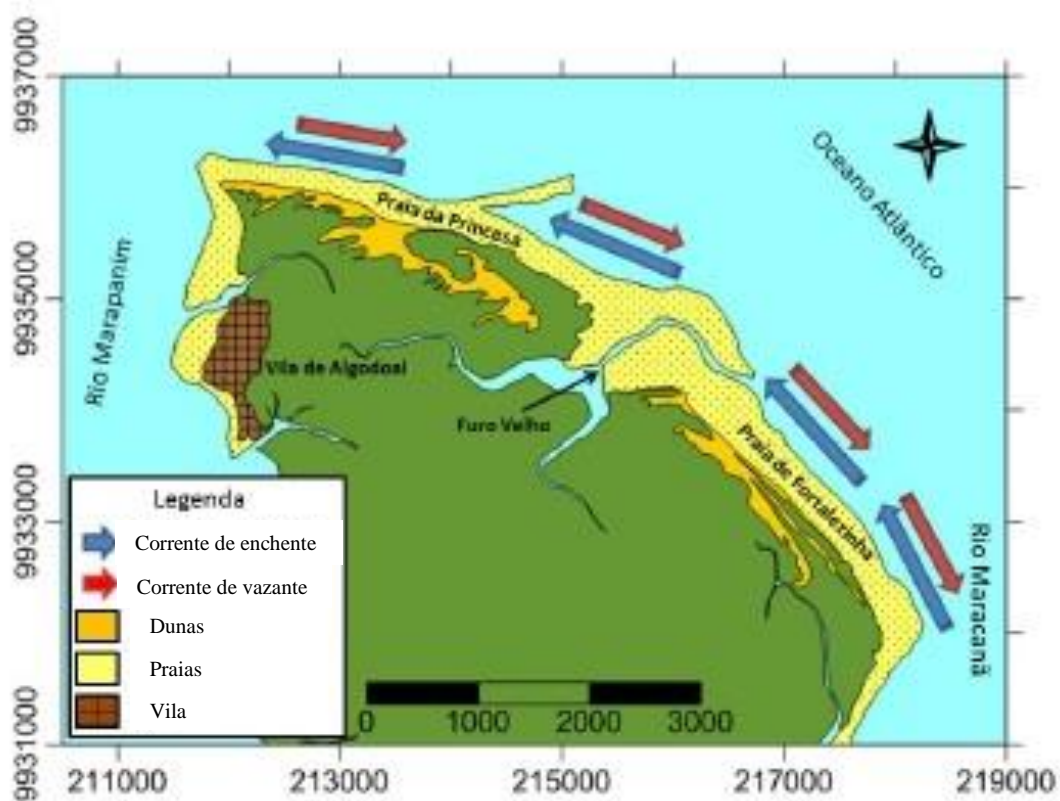


Figura 26 - Mapa de direção das correntes costeiras nas praias da Princesa e Fortalezinha. Fonte: Silva (2015).

Silva (2015) também mediu o fluxo sedimentar na região e identificou que há uma alternância da capacidade de aporte na praia da Princesa, de acordo com o período, seco ou chuvoso (Figura 27). No geral, este é maior para sudeste da praia no período seco e, maior para noroeste no período chuvoso. A praia, segundo os resultados de Silva

(2015), apresenta bastante sedimentos transportados em ambos sentidos durante o período seco, mas este volume aumenta consideravelmente na extremidade noroeste, em direção ao mar, durante o período chuvoso, podendo indicar alguma perda sedimentar ao transporte mar afora e, conseqüentemente, corrobora com a acresção gradual da linha de costa ser maior à sudoeste do que à noroeste, devido a deposição sedimentar ser mais favorável no primeiro sentido citado(Figura 22).

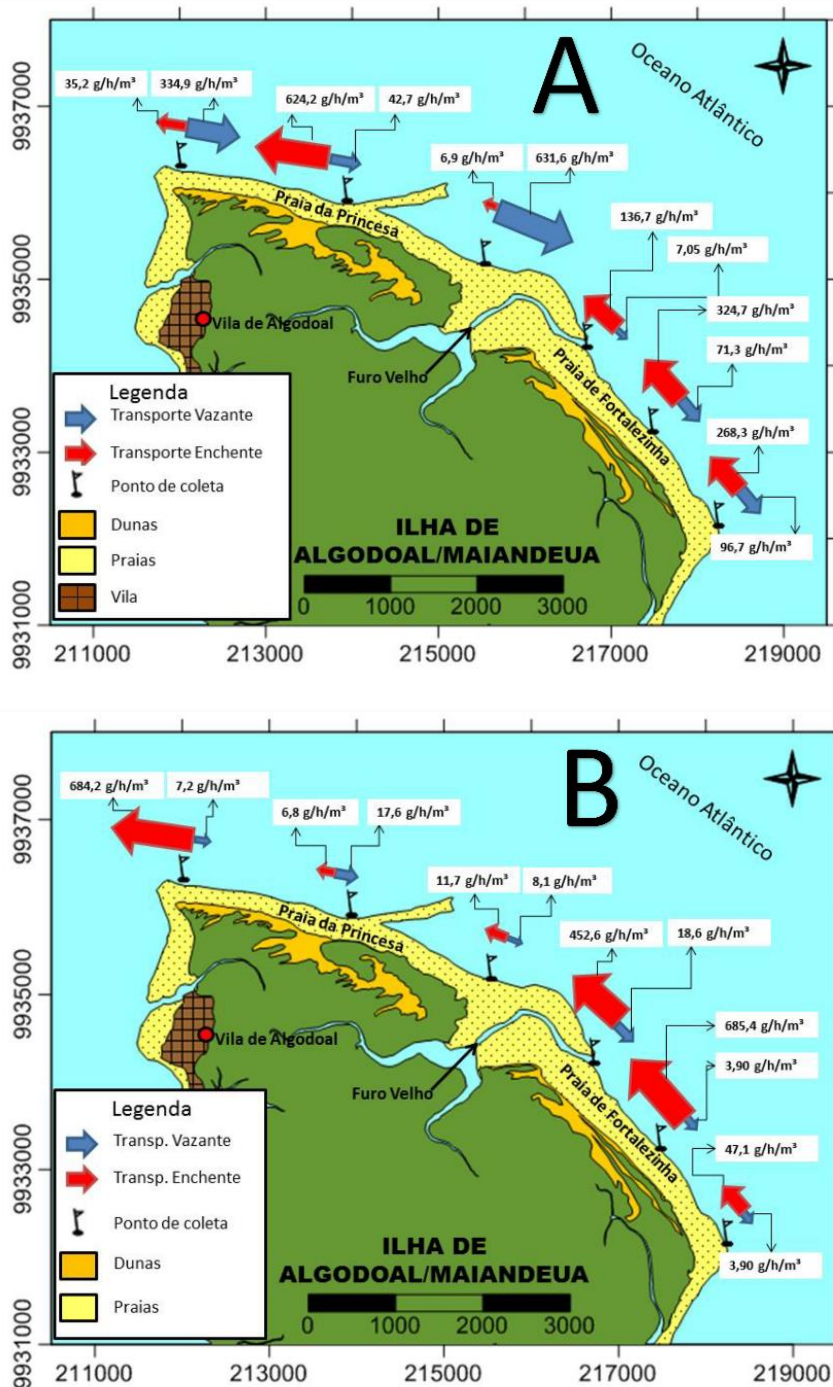


Figura 27 - Fluxo sedimentar nas praias da Princesa e Fortalezinha nos períodos seco (A) e chuvoso (B). Silva (2015).

8 CONCLUSÃO

Conclui-se que a Ilha de Algodual/Maiandeuca sofre bastante variações em sua linha de costa devido aos fenômenos oceanográficos, principalmente as correntes litorâneas e de maré; e que, essas alterações são mais significativas na porção oeste da Ilha. O fato de a ilha não ser toda urbanizada, ter apenas alguns aglomerados de construções, nas vilas, é preponderante para que a mesma sofra mais com as mudanças naturais do ambiente do que com as antrópicas.

A Vila de Algodual apresentou um padrão acrescional contínuo em toda sua extensão, sendo a única área a possuir apenas um tipo de variação (avanço costeiro), logo, pode-se considerar a Vila de Algodual como a mais estável das vilas/praias.

As praias de Fortalezinha e Princesa estão em processo de contínuo aumento de sua linha de costa, porém suas taxas de variação anual diminuíram com o tempo, tendo valores mais discretos para o período 2002 – 2016.

As Vilas de Camboinha e Fortalezinha apresentaram variações parecidas, em valores, sem modificar tanto sua linha de costa e isso pode ser justificado por estarem em áreas mais protegidas da ilha; especialmente a Vila de Fortalezinha, após o surgimento de um banco de areia paralelo à linha de costa.

Com os dados obtidos nesse trabalho, pode-se observar que o DSAS é uma ferramenta de fácil acesso e utilização e que pode dar respostas rápidas para variações costeiras. Pode-se detalhar as variações na linha de costa da ilha em cada setor que a compõe, dando respostas bastante significativas da evolução costeira que tem ocorrido na ilha, permitindo a identificação de pontos específicos de erosão/recuo costeiro e acreção/avanço costeiro, sendo informações importantes nas tomadas de decisão de uso da costa, gestão costeira, bem como trabalhos futuros, onde se deseja aplicar métodos em locais específicos ou em condições ambientais específicas da área.

É neste contexto que se destaca ainda a necessidade de coleta de outros dados físicos que complementem as informações dadas no presente estudo, logo, o DSAS é uma ótima ferramenta para a análise morfológica de ambientes costeiros, mas a correlação dos dados com aspectos climáticos, meteorológicos, geológicos e oceanográficos são de grande valia para o melhor entendimento das mudanças costeiras.

Desta forma, recomenda-se como trabalhos futuros a utilização de outros tipos de metodologias para auxiliar no entendimento da morfodinâmica costeira e, estabelecer até mesmo previsões futuras à área estudada.

REFERÊNCIAS

- Albuquerque M.F., Souza E.B., Oliveira M.C.F. & Souza Junior J.A. 2010. Precipitação nas Mesorregiões do Estado do Pará: climatologia, variabilidade e tendências nas últimas décadas (1978-2008). *Revista Brasileira de Climatologia*. **6**: 151-168.
- Albuquerque M., Espinoza J., Teixeira P., Oliveira A. de, Corrêa I., Calliari L. 2013. Erosion or Coastal Variability: An Evaluation of the DSAS and the Change Polygon Method for the Determination of Erosive Processes on Sandy Beaches. *Journal of Coastal Research*. **65**(sp2):1710-1714.
- Baia L. B. 2018. *Análise multitemporal da variação da linha de costa em praias do município de marapanim, nordeste do Pará*. Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação, Faculdade de Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém. 57p.
- Bastos M.N.C. 1996. *Caracterização das formações vegetais da restinga da Princesa, ilha de Algodão, Pará*. TS Doutorado, Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém. 251p.
- Berger A.R. 1996. The geoinicator concept and its application: na introduction. In: Antony R.B., William J.I, Iams J. (ed.). *Geoindicators: assessing rapid environmental changes en earth systems*. Rotterdam, A.A. Balkema, p. 1-14.
- Boak E.H. & Turner I.L. 2005. Shoreline Definition and Detection: A Review. *Journal of Coastal Research*. **21**(4): 688-703.
- Borba T. A. C. 2011. *Morfodinâmica e hidrodinâmica de praias do litoral nordeste paraense, Brasil*. Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém. 40p.
- Braga F.P.S, Souza-Filho P.W.M., Alves M.A.M.S., Pereira L.C.C. 2007. Morfologia e sedimentologia da praia de macromaré de Ajuruteua, Amazônia, Norte do Brasil. *Boletim Paranaense de Geociências*, **60-61**: 11-30.
- Callaghan D., Ranasinghe R., Short A. 2009. Quantifying the storm erosion hazard for coastal planning. *Coastal Engineering*. **56**: 90 – 93.
- Cavalcante Segundo G.H. 2007. *Processos oceanográficos na região costeira e estuarina do rio Caeté, Pará, Brasil*. TS Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense. Rio de Janeiro, 139p
- Chu Z.X., Sun X.G., Zhai S.K., Xu K H. 2006. Changing pattern of accretion/erosion of the modern Yellow River (Huanghe) subaerial delta, China: Based on remote sensing images. *Marine Geology*, **227**(1/2):13-30.
- Colwell R.N. 1997. History and Place of Photographic Interpretation. In: Phillipson W.R. (Ed.). *Manual of photographic interpretation 2^a. ed.*, Ed. Bethesda, ASPRS. p. 33-48.
- Conti L.A. & Rodrigues M. 2011. Variação da linha de costa na região da ilha dos Guarás – PA através de análise de série temporal de imagens de satélites. *Revista Brasileira de Geografia Física*, **5**: 922-937.

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). 2018. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Banco de dados meteorológico (Estação Synop). Disponível em: <https://www.cptec.inpe.br/pa/maracana>. Acesso em: 10 de maio de 2018.

Cracknell A.P. 1999. Remote sensing techniques in estuaries and coastal zone - an update. *International Journal of Remote Sensing*. **20** (3): 485–496.

Espinoza H. F., Abraham A. M. 2009. Aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento para o estudo dos recursos hídricos em regiões costeiras. In: 12º Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia, GO. *Anais...* p. 2487-2494.

Fundação Amazônica de Amparo a Estudos e Pesquisa (FAPESPA). 2016. *Estatísticas Municipais Paraenses: Marapanim*. Diretoria de Estatística e de Tecnologia e Gestão da Informação. Belém. Disponível em <http://www.parasustentavel.pa.gov.br/wpcontent/uploads/2017/04/Marapanim.pdf>. Acessado em: 12 de maio de 2018.

Farias E.G.G de & Maia L.P. 2007. Aplicação de técnicas de geoprocessamento para a análise de mudanças morfológicas na desembocadura e estuário inferior do rio Jaguaribe – CE. XII Congresso Latino Americano de Ciências do Mar - COLACMAR, Florianópolis, SC. Anais.

Farias E.G.G de & Maia L.P. 2010. Uso de técnicas de geoprocessamento para a análise da evolução da linha de costa em ambientes litorâneos do estado do Ceará, Brasil. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*. **10** (4): 521-544.

Genz A.S., Fletcher C.H., Dunn R.A., Frazer L.N., Rooney J.J. 2007. The predictive accuracy of shoreline change rate methods and alongshore beach variation on Maui, Hawaii. *Journal of Coastal Research*. **23** (1): 87 – 105.

Geyer W.R., Beardsley R.C., Lentz S.J., Candela J., Limeburner R., Johns W.E., Castro B.M., Soares I.D. 1996. Physical oceanography of the Amazon shelf. *Continental Shelf Research*. **16**: 575-616.

Instituto de Desenvolvimento Florestal e da Biodiversidade do Estado do Pará (IDEFLORBIO). 2018. Área de Proteção Ambiental de Algodual-Maiandeuá. Disponível em: <http://ideflorbio.pa.gov.br/unidades-de-conservacao/regiao-administrativa-nordeste/area-de-protecao-ambiental-de-algodoal-maiandeuá/>. Acesso em: 06 de abril de 2018.

Instituto PEABIRU. 2018. Salgado Paraense. Disponível em: <https://peabiru.org.br/programas/salgado-paraense>. Acesso em 18 de Agosto de 2018.

Jensen J.R. 2009. *Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*. 2 ed., São José dos Campos, Parentese Editora, 598p.

Köppen W. 1948. *Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra*. México, Fundo de Cultura Econômica. 479p.

Lillesand M.T. & Kiefer F.W. 1994. *Remote sensing and image interpretation*. 3a ed. John Wiley & Sons, Inc. 750p.

Martins A.C.S. & Luz M.S.F.C. 2004. Cenário climatológico atuante no Litoral Norte da Amazônia Brasileira. Monografia de Especialização, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará. Belém. 63p.

- Mascarenhas A. L. S. 2006. Análise Geoambiental da Ilha de Algodual-Maiandeuá-PA. Dissertação de Mestrado. Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 133p.
- Meneses P. R. Almeida T. 2012. *Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto*. Universidade de Brasília, Brasília,DF. 266 p.
- Moore L.J. 2000. Shoreline mapping techniques. *Journal of Coastal Research*. **16**(1): 111–124.
- Moraes E.C. 2002. *Fundamentos de sensoriamento remoto*. São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 23p.
- Nordstrom K.F. 1980. Cyclic and seasonal beach response: a comparison of oceanside and bayside beaches. *Physical Geography*. **1** (2):177-196.
- Quaresma H. D. de A. B. 2003. *O desencanto da princesa: pescadores tradicionais e turismo na área de proteção ambiental de Algodual/Maiandeuá*. Belém, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos da UFPA, 254p.
- Ranieri L.A & El-Robrini M. 2015. Evolução da linha de costa de Salinópolis, Nordeste do Pará, Brasil. *Pesquisas em Geociências*.**42** (3): 207-226,
- Rocha E. J. P. 2001. *Balanço de umidade e influência de condições de contorno superficial sobre a precipitação da Amazônia*. TS Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, São Paulo, 210p.
- Roman A.L.C. 2001. *Plantas medicinais da restinga da Princesa, ilha de Algodual, município de Maracanã, Estado do Pará, Brasil*. DS Mestrado, Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém, 104p.
- Ruivo M.L., Amaral I.G., Guedes A.L.S., Ribeiro E.L.C 2002. Os solos de uma topossequência na Ilha de Algodual/Maiandeuá, nordeste do Pará, Brasil: composição química e produção de matéria orgânica. *Acta Amazônica*. **32** (2): 257 – 266.
- Ruivo M.L., Amaral I.G., Faro M.P.S., Ribeiro E.L.C., Guedes A.L.S., Santos M.M.S. 2005. Caracterização química da manta orgânica e da matéria orgânica leve em diferentes tipos de solo em uma topossequência na ilha de Algodual/Maiandeuá, Pa. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências Naturais*, **1** (1): 227-234.
- Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente (SECTAM). 1999. *Manejo e valorização econômica dos recursos naturais da APA de Algodual/Maiandeuá, Pará*. Belém, 163 p.
- Short A.D. & Trembanis A.C. 2004 - Decadal scale patterns in beach oscillation and rotation Narrabeen Beach, Australia-time series, PCA and wavelet analysis. *Journal of Coastal Research*. **20** (2): 523–532.
- Silva A.N.B. 2010. *Índices de extremos climáticos e tendências da precipitação anual e sazonal na Amazônia Oriental*. DS Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará. Belém, 134p.
- Silva P. V. M. 2015. *Estudo da morfodinâmica sazonal e quantificação de transporte sedimentar costeiro nas praias de Fortalezinha e Princesa, Algodual/Maiandeuá (nordeste do estado do Pará)*. DS Mestrado, Programa de Pós-graduação de Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, Belém (PA). 106p.

Smith M. J. & Cromley, R. G. 2012. Measuring historical coastal change using GIS and the change polygon approach. *Transactions in GIS*, 16: 3-15. doi:10.1111/j.1467-9671.2011.01292.x.

Souza R.B. 2010. *Sensoriamento remoto: conceitos fundamentais e plataformas*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, 76p. Apostila.

Thieler E. R., Martin D., Ergul A. 2003. *The digital shoreline analysis system, version 2.0: shoreline change measurement software extension for ArcView*: USGS U.S. Geological Survey Open-File Report 03-076.

Thieler E.R., Himmelstoss E.A., Zichichi J. L., Miller T. L. 2005. *The digital shoreline analysis system (DSAS) version 3.0*. An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey Open File Report 2005-1304.

Thieler E.R., Himmelstoss E.A., Zichichi J. L., Ergul A. 2009. *The digital shoreline analysis system (DSAS) version 4.0 - An ArcGIS extension for calculating shoreline change*: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278.

Thieler E.R., Himmelstoss E.A., Zichichi J.L., Ergul A. 2017. *The digital shoreline analysis system (DSAS) version 4.0—An ArcGIS extension for calculating shoreline change (ver. 4.4, July 2017)*: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278.

Trebossen H., Deffontaines B., Classeau, N., Kouame J., Rudant J.P. 2005. Monitoring coastal evolution and associated littoral hazards of French Guiana shoreline with radarimages. *Comptes Rendus Geosciences*, **337** (13):1140–1153.

United States Geological Survey (USGS). Landsat missions. Disponível em: <https://landsat.usgs.gov/landsat-missions-timeline>. Acesso em: 23 de maio de 2018.

Vianna C. & Morgado M. A. 2001. Os Encantos e Mistérios da Ilha de Algodual. *Pará. Onde*, **6**(2): 6-13.

Vidal M.R. & Mascarenhas A.L.S. 2012. Dos componentes ambientais a realidade das formas de uso e ocupação no litoral paraense: pensando o caso da ilha de Algodual-Maiandeuá, Pa. *Revista Geonorte*, Edição Especial, **3**(4): 911-920.