



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA**

## **DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

---

**ANÁLISE MULTITEMPORAL (1991- 2021) DA LINHA DE  
COSTA (TRECHO DE CALÇOENE - CABO NORTE), COSTA  
ATLÂNTICA DO ESTADO DO AMAPÁ**

**Dissertação apresentada por:**

**RHUAN RODRIGO PEREIRA E SILVA**

**Orientador: Prof. Dr. Maâmar El-Robrini (UFPA)**

---

**Belém/Pará  
2023**

**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)

---

S586a Silva, Rhuan Rodrigo Pereira e.  
Análise multitemporal (1991- 2021) da linha de costa (trecho de Calçoene - Cabo Norte), costa atlântica do estado do Amapá / Rhuan Rodrigo Pereira e Silva. — 2023.  
xv, 95 f.: il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Maâmar El-robrini  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Belém, 2023.

1. Erosão. 2. Amapá. 3. Amazônia. 4. Linha de Costa. 5.  
DSAS. I. Título.

CDD 551.372

---



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

# ANÁLISE MULTITEMPORAL (1991 - 2021) DA LINHA DE COSTA (TRECHO DE CALÇOENE - CABO NORTE), COSTA ATLÂNTICA DO ESTADO DO AMAPÁ

Dissertação apresentada por

**RHUAN RODRIGO PEREIRA E SILVA**

Como requisito parcial à obtenção de Grau de Mestre em Oceanografia na Área de concentração: Linha 1 – Processos em Sistemas Costeiros e Oceânicos.

Data de Defesa: 21/ 08/ 2023

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Maâmar El-Robrini  
(Orientador – UFPA)

---

Prof. Dr. Valdir do Amaral Vaz Manso  
(Membro – UFPE)

---

Profa. Dra. Maria de Lourdes Souza Santos  
(Membro – UFRA)

---

Prof. Dra. Sury de Moura Monteiro  
(Membro – UFPA)

*Dedico este trabalho a minha falecida mãe Maria Eugênia Magalhães e Silva, minha vó, que me criou desde meus 4 anos de idade, me proporcionando muito amor, assistência e me ensinando os melhores valores que uma pessoa precisa ter, como humildade, respeito, solidariedade e honestidade. Após minha formação na graduação, ele fez uma fala que ecoa até hoje em minha cabeça: “Meu filho, não quero que você pare aqui, continue estudando e melhorando”. Infelizmente, semanas antes do meu ingresso no mestrado em 2021, a Covid-19 a levou e ela não conseguiu ver em vida eu seguir o seu conselho, no entanto sei que do lugar maravilhoso que ela está, ao lado do Senhor Jesus, minha mãe me deu forças e está muito feliz por eu estar concluindo mais esta etapa em minha vida. Mãe, essa vitória é pra você!*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por toda força, perseverança e fé para acreditar que essa vitória seria possível. Se não fosse a interseção divina, eu não teria vencido todos os obstáculos físicos e principalmente psicológicos que enfrentei ao longo desta caminhada do mestrado.

Agradeço a todos os meus amigos e familiares que sempre me incentivaram e acreditaram que eu seria capaz de vencer mais esta grande batalha em minha vida. Sem esse esteio emocional, as instabilidades que surgiram teriam sido muito mais impactantes.

Agradeço a minha grande companheira Lorena, que é meu alicerce diário, minha maior incentivadora e meu refúgio de todos os problemas e dificuldades que a minha vida apresentou nos últimos 3 anos. Minha vida, amo você.

Agradeço ao meu orientador Maâmar El-Robrini, por ter me aceitado em seu projeto, em seu grupo de pesquisas (GEMC) e por toda a paciência que teve para driblar as minhas dificuldades pessoais e por não ter desistido de se dedicar na minha orientação mesmo nos momentos de maior entrave que enfrentamos. Muito obrigado, professor. Espero levar ainda mais longe o trabalho que iniciei nessa dissertação.

Agradeço a CAPES, pelo auxílio financeiro através da bolsa, a qual foi de suma importância para que eu conseguisse custear boa parte das minhas despesas durante mais de 24 meses de curso. Esse recurso financeiro é substancial para que os discentes possam se dedicar mais ao trabalho sem precisarem arrumar um trabalho que certamente consumirá muito tempo e principalmente energia dos alunos.

Agradeço também ao PPGOC, por esta experiência enriquecedora que me foi proporcionada, por todos os professores que contribuíram para desenvolver meu conhecimento e por todo apoio que me foi dado nos momentos mais difíceis do curso, em especial o Prof. Marcelo Rollnic e a Profa. Rosigleyse Correa.

Meus mais sinceros agradecimentos a todos.

*“Não andem ansiosos por coisa alguma, mas em tudo, pela oração e súplicas, e com ação de graças, apresentem seus pedidos a Deus. E a paz de Deus, que excede todo o entendimento, guardará o coração e a mente de vocês em Cristo Jesus.”*

*(Filipenses 4: 6-7)*

## RESUMO

A Linha de Costa (LC) da Zona Costeira Oceânica do Amapá (ZCOEA) é, altamente dinâmica, em virtude da sua posição geográfica adjacente à foz do estuário do rio Amazonas. Nesta região se destacam forçantes meteorológicas, com clima equatorial semiúmido, índice pluviométrico ( $> 2.600$  mm/ano), ventos (3 a 9 m/s), eventos extremos (El Nino, 1997/1998 e 2015/2016; e La Nina, 1999/2000 e 2010/2011), forçantes hidrológicas (descargas hídrica e sólida do rio Amazonas,  $175,000$  m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> e  $1,200$  Mt. Ano<sup>-1</sup>, respectivamente), e oceanográficas (hipermaré - até 12 m, correntes de maré -  $2$  m. s<sup>-1</sup>, ondas – até 3 m de altura e velocidade de até  $3$  m. s<sup>-1</sup>). O trabalho objetiva analisar a variação multitemporal (1991 a 2021) da LC, entre a foz dos estuários dos rios Calçoene e Sucuriju; e na Estação Ecológica Maracá-Jipioca. A metodologia contempla: (1) levantamento bibliográfico, (2) aquisição de imagens do satélite LANDSAT (anos de 1991, 2000, 2008, 2014 e 2021); e (3) vetorização da LC e aplicação do DSAS para quantificar as áreas de acreção (m) e de erosão (m) da LC e determinar as taxas de recuo e avanço (m/ano e m<sup>2</sup>/ano), entre a foz dos estuários dos rios Calçoene e Sucuriju; e a criação de polígonos de mudança na Estação Ecológica Maracá-Jipioca. A dinâmica erosiva foi predominante na área de estudo com recuo médio da LC de  $12$  m. ano<sup>-1</sup> e  $1,4$  km<sup>2</sup> de erosão no trecho Calçoene-Sucuriju e  $2$  km<sup>2</sup> de erosão na Estação Ecológica Maracá-Jipioca com recuo médio anual de  $18$  m. Em virtude da dinâmica erosiva, a área de estudo precisa de especial atenção dos gestores públicos a fim de evitar qualquer tipo de interferência antrópica que possa intensificar esse processo.

**Palavras-chave:** linha de costa; DSAS, Erosão; Amapá; Amazônia.

## ABSTRACT

The coastline (LC) is highly dynamic due to its geographic position adjacent to the mouth of the Amazon River estuary. This region is characterized by meteorological forcings, such as a semihumid equatorial climate, high rainfall ( $> 2,600 \text{ mm. year}^{-1}$ ), winds ( $3 \text{ to } 9 \text{ m. s}^{-1}$ ), and extreme events (El Nino - 1997/1998 and 2015/2016; La Nina - 1999/2000 and 2010/2011). It is also influenced by hydrological forcings, including water and solid discharge from the Amazon River ( $175,000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  and  $1,200 \text{ Mt. year}^{-1}$ , respectively), and oceanographic forcings, such as hyper-tides (up to 12 m), tidal currents ( $2 \text{ m. s}^{-1}$ ), waves (up to 3 m in height), and currents (up to  $3 \text{ m. s}^{-1}$ ). This study aims to analyze the multitemporal variation of the LC between the mouths of the Calçoene and Sucuriçu rivers, and at the Maracá-Jipioca Ecological Station, from 1991 to 2021. The methodology includes a literature review, acquisition of LANDSAT satellite images (1991, 2000, 2008, 2014, and 2021), LC vectorization, and the application of DSAS to quantify accretion (m) and erosion areas (m) of the LC, determine retreat and advance rates ( $\text{m/year}$  and  $\text{m}^2/\text{year}$ ) between the mouths of the Calçoene and Sucuriçu rivers, and create change polygons at the Maracá-Jipioca Ecological Station. The study area experienced predominant erosive dynamics, with an average LC retreat of  $12 \text{ m. year}^{-1}$  and  $1.4 \text{ km}^2$  of erosion in the Calçoene-Sucuriçu stretch, and  $2 \text{ km}^2$  of erosion at the Maracá-Jipioca Ecological Station with an annual average retreat of approximately 18 m. Due to erosive dynamics, the study area requires special attention from public managers to prevent any type of anthropic interference that could intensify this process.

**Keywords:** coastline; DSAS; erosion; Amapá; Amazon.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização da área de investigação inserida na Zona Costeira Oceânica (Atlântica) do Amapá, no trecho entre Calçoene e o Cabo Norte (quadro vermelho).....	7
Figura 2 - Rotas de acesso à área de estudo.....	8
Figura 3 - Indicadores de LC frequentemente utilizados nos estudos.....	10
Figura 4 - Processos que causam mudanças na LC.....	12
Figura 5 - Modelo de balanço sedimentar em ambientes praias.....	12
Figura 6 - Geologia da área de estudo.....	16
Figura 7 - Unidades Geomorfológicas do Amapá.....	17
Figura 8 - Posição média da ZCIT nos meses de julho (vermelho) e janeiro (azul). Quadrado verde localiza a área de estudo.....	18
Figura 9 - Médias trimestrais dos campos de vento (ECMWF - European Centre MediumRange Weather Forecast), com grade de resolução 1,5° x 1,5°. A) verão (Janeiro – Março); B) outono (Abril – Junho); C) inverno (Junho – Setembro) e; D) primavera (Outubro – Dezembro).....	19
Figura 10 - Efeitos globais do El Niño (dezembro, janeiro e fevereiro).....	20
Figura 11 - Efeitos globais do El Niño (junho, julho e agosto).....	21
Figura 12 - Efeitos globais de La Nina (dezembro, janeiro e fevereiro).....	21
Figura 13 - Efeitos globais de La Nina (junho, julho e agosto).....	22
Figura 14 - A) Variabilidade sazonal da descarga do rio Amazonas e; B) Variabilidade diária da descarga na foz do Canal Norte do Rio Amazonas.....	22
Figura 15 - Foz do estuário do rio Amazonas.....	23

Figura 16 – Esquema das correntes na região oeste do Oceano Atlântico Equatorial. Em azul, as correntes superficiais e em verde, as correntes subsuperficiais. CNB: Corrente Norte do Brasil; CNE: Corrente do Nordeste; CCNE: Corrente do Contrafluxo da Corrente do Nordeste; SCNE: Sistema de Correntes do Nordeste; SCE: Sistema de Correntes do Equador; SCSE: Sistema de Correntes do Sul do Equador; CSE: Corrente do Sul do Equador; SCNB: Sistema de Correntes do Norte do Brasil.....	25
Figura 17 - 6 Ecorregiões no Oceano Atlântico Tropical Ocidental e área sombreada correspondente à área aproximada de influência da Pluma do Rio Amazonas (ARP) ao longo do ano.....	26
Figura 18 - Principais rios do Amapá. Em vermelho a delimitação da área de estudo.....	27
Figura 19 - Divisão municipal do estado do Amapá. O quadro vermelho destaca a área de estudo nos municípios de Amapá e Calçoene.....	28
Figura 20 - A) Gurijuba; B) Vista área da Canal do Inferno e da vegetação de mangue em suas margens; C) Papagaio-campeiro; D) Onça-pintada; E) Búfalo Asselvajado na ESEC Maracá-Jipioca.....	30
Figura 21 - Imagem de satélite LANDSAT da porção leste da costa do Amapá, sem tratamento (01/09/2021 às 13:34).....	33
Figura 22 - Imagem de satélite LANDSAT da porção leste da costa do Amapá após tratamento com composição de bandas espectrais (01/09/2021 às 13:35).....	34
Figura 23 - Imagem de satélite LANDSAT da porção leste da costa do Amapá, recortada para destaque da área de estudo (01/09/2021 às 13:38).....	34
Figura 24 - Representação do cálculo do Erro Geométrico Areolar das imagens LANDSAT.....	35
Figura 25 - Vetorização da LC na imagem LANDSAT 5 TM de 1991, na EEMJ, Amapá.....	36
Figura 26 - Vetorização da LC na imagem LANDSAT 8 OLI de 2021, na EEMJ, Amapá.....	36
Figura 27 - Sobreposição dos vetores 1991 e 2021 da LC sobre a imagem LANDSAT 8 OLI de 2021, na Estação Ecológica Maracá-Jipioca, Amapá.....	37

Figura 28 - Polígonos representando as áreas de acreção (azul) e de erosão/recuo (preto) da LC entre anos de 1991 e 2021, Estação Ecológica Maracá-Jipioca, Amapá.....	37
--	----

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CCNE - Corrente do Contrafluxo da Corrente do Nordeste

CNB - Corrente Norte do Brasil

CNE - Corrente do Nordeste

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

CSE - Corrente do Sul do Equador

DSAS: Digital Shoreline Analysis System

EEMJ - Estação Ecológica Maracá-Jipioca

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ESEC - Estação Ecológica

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LANDSAT - Land Remote Sensing Satellite

LC - Linha de Costa

NASA - National Aeronautics and Space Administration

REM - Radiação Eletromagnética

SCE - Sistema de Correntes do Equador

SCNB - Sistema de Correntes do Norte do Brasil

SCNE - Sistema de Correntes do Nordeste

SCSE - Sistema de Correntes do Sul do Equador

UC - Unidade de Conservação

USGS - United States Geological Survey

ZC - Zona Costeira

ZCA - Zona Costeira Amazônica

ZCEA - Zona Costeira do Estado do Amapá

ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

ZCOEA - Zona Costeira Oceânica do Estado do Amapá

**LISTA DE SÍMBOLOS**

+/-: Mais ou menos

hab/km<sup>2</sup>: Habitantes por quilômetro

quadrado

hab: Habitantes

kg: Quilos

km: Quilômetros

km<sup>2</sup>: Quilômetros quadrados

km<sup>3</sup>/ano: Quilômetros cúbicos por ano

m/ano: Metros por ano

m/s<sup>-1</sup>: Metros por segundo

m: Metros m<sup>2</sup>/ano:

Metros quadrados por ano m<sup>2</sup>:

Metros quadrados m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>:

Metros cúbicos por segundo mm/mês:

Milímetros por mês

Mt/ano: Megatonelada por ano

°C: Graus Celsius

psu: Practical Salinity Unit

Sv: Silverte

µm: Micrômetro

## SUMÁRIO

<b>DEDICATÓRIA .....</b>	<b>iv</b>
<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>v</b>
<b>EPÍGRAFE .....</b>	<b>vi</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES .....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....</b>	<b>xii</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS .....</b>	<b>xiii</b>
<b>ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>2</b>
<b>2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO À ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>7</b>
<b>3 CONHECIMENTO TEÓRICO .....</b>	<b>9</b>
3.1 LINHA DE COSTA.....	9
3.2 EROÇÃO E ACREÇÃO.....	12
3.3 SENSORIAMENTO REMOTO .....	13
<b>4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>16</b>
4.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS .....	16
4.2 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	17
4.3 ASPECTOS CLIMÁTICOS E METEOROLÓGICOS.....	17
<b>4.3.1 Ventos.....</b>	<b>19</b>
<b>4.3.2 Eventos Extremos .....</b>	<b>19</b>
4.4 ASPECTOS HIDROLÓGICOS.....	22
<b>4.4.1 Descarga Hídrica/Sólida.....</b>	<b>22</b>
4.5 Aspectos Oceanográficos .....	23
<b>4.5.1 Marés .....</b>	<b>23</b>

<b>4.5.2 Ondas</b> .....	24
<b>4.5.3 Corrente Norte do Brasil (CNB)</b> .....	24
<b>4.5.4 Pluma Estuarina</b> .....	25
<b>4.5.5 Bacias Hidrográficas</b> .....	26
<b>4.6 ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS</b> .....	27
<b>4.7 FLORA E FAUNA</b> .....	28
<b>4.8 ASPECTOS AMBIENTAIS</b> .....	30
<b>5 OBJETIVOS</b> .....	32
<b>5.1 OBJETIVO GERAL:</b> .....	32
<b>5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:</b> .....	32
<b>6 METODOLOGIA</b> .....	33
<b>6.1 LEITURAS BIBLIOGRÁFICAS:</b> .....	33
<b>6.2 PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS:</b> .....	33
<b>6.2.1 Aquisição de Imagens de Satélite:</b> .....	33
<b>6.2.2 Tratamento das Imagens de Satélite:</b> .....	34
<b>6.2.3 Identificação do erro dos pontos de controle e erro geométrico acumulativo.</b> .....	35
<b>6.2.4 Vetorização da LC</b> .....	36
<b>6.2.5 Análise Comparativa das Imagens de Satélite:</b> .....	37
<b>6.2.6 Quantificação de medidas lineares de avanço e recuo da LC e de áreas de acreção e erosão/recuo:</b> .....	38
<b>6.2.7 Confecção dos mapas temáticos:</b> .....	39
<b>7 CONCLUSÕES GERAIS</b> .....	41
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	42
<b>APÊNDICE A- ARTIGO 1</b> .....	48
<b>APÊNDICE B - ARTIGO 2</b> .....	71
<b>ANEXO A</b> .....	88
<b>ANEXO 2</b> .....	94

## **ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO**

A dissertação de mestrado está apresentada da seguinte forma: 1 Introdução; 2 Localização da área de estudo; 3 Conhecimento teórico; 4 Caracterização da área de estudo; 5 Objetivos; 6 Metodologia; 7 Considerações gerais e 8 Referências. Em seguida os resultados foram subdivididos em artigos para publicação: Apêndice A: Artigo 1- Variação MultiTemporal (1991 e 2021) da Linha de Costa, no trecho entre Calçoene e Cabo Norte (Amapá); Apêndice B: Artigo 2 - Tendências da Erosão na ilha de Maracá (Amapá/Amazônia Oriental) entre 1991-2021.

## 1 INTRODUÇÃO

A Zona Costeira (ZC) é definida como “o espaço geográfico de interação do ar, do mar e da terra, incluindo seus recursos renováveis ou não, abrangendo uma faixa marítima e outra terrestre” (Skinner 2022). Essa definição adota 2 critérios principais: (1) naturalista, que leva em consideração aspectos físicos e biológicos para delimitação do terreno; e (2) político administrativo, que não leva em consideração os limites naturais evidentes, pois considera como limite externo – ou faixa marítima – o mar territorial, ou seja, 12 milhas náuticas contadas a partir da costa e no limite interno – também chamado de faixa terrestre – o limite dos municípios costeiros.

Litoral ou costa são conceitos que podem ser compreendidos como a faixa de terra emersa, banhada pelo mar, que tem como limites o nível de maré baixa e o nível de maré alta sendo, portanto, uma unidade inserida na ZC. O litoral brasileiro, de acordo com Muehe (2018) tem cerca de 8.500 km – considerando os recortes litorâneos, como reentrâncias, golfões e baías. Sabe-se que 75% das metrópoles e metade da população estão localizadas na ZC e que até 2025, 75% da população viverá nessa região (Dias 2018), ou seja, segundo estimativas com base nas taxas de crescimento anuais, serão mais 6 bilhões de pessoas exercendo grandes impactos populacionais nesses espaços.

As ZCs são, portanto, espaços de transição entre o continente e o mar, com enorme dinamismo em virtude dos diversos fatores que interagem nessas áreas, os quais podem citar as atividades humanas; como lazer, transporte, habitação, atividades extrativistas, indústria, produção de energia, de alimentos, rotas comerciais, bem como forçantes climáticas/meteorológicas (eventos extremos, chuvas, ventos), hidrológicas (descarga sólida/hídrica) e oceanográficas (marés, correntes, ondas) (Prestes 2016, Torres *et al.* 2018, Carneiro 2020), o que confere às ZC's a condição de uma das áreas de maior estresse ambiental do planeta (Ranieri & El-Robrini 2015, Skinner 2017, Hübner *et al.* 2020).

A Zona Costeira Amazônica (ZCA) com 3.900 km de extensão corresponde a 35% do litoral brasileiro (Pereira *et al.* 2018). Esta ZC é influenciada por meso e macromaré semidiurna, e ocorrem dezenas de estuários, praias, ilhas, penínsulas, baías, deltas, florestas equatoriais e manguezais (Sousa-Felix *et al.* 2020).

De acordo com Torres *et al.* (2018) a Zona Costeira do Estado do Amapá (ZCEA) é predominantemente Equatorial, com 750 km de extensão onde são inseridos 11 municípios do estado (Oiapoque, Calçoene, Amapá, Pracuúba, Tartarugalzinho, Cutias, Itaubal, Macapá,

Santana, Mazagão e Vitória do Jari.), se estendendo da foz do rio Oiapoque até a foz do rio Jari. Esta ZC é considerada a menos povoada e a mais preservada ZC do país. Após sua regulamentação, esta ZC passou a ser subdividida em 2 setores separados pela foz do rio Araguari: O setor costeiro amazônico (ou estuarino) e o setor costeiro atlântico (ou oceânico).

A linha de costa (LC) é um dos mais importantes geoindicadores (evidências físicas) de dinâmica costeira (Menezes *et al.* 2018, França *et al.* 2020) e pode ser definida através de vários critérios, como sendo a linha d'água no instante do levantamento de campo, a linha da preamar de sizígia, o limite da vegetação permanente, o limite terrestre da sedimentação de leques de lavagem em lagunas e estuários, a base ou o topo de falésias, dentre outros (França *et al.* 2020). Ao longo dos anos, a LC pode sofrer inúmeras modificações em resposta aos processos dinâmicos ocasionados pelas forçantes, como retirada e deposição de sedimentos, criação de novas formas de relevo como bancos de areia, barras, calhas e restingas, bem como mudanças em virtude da ação antrópica através das edificações construídas sobre as LCs. No decorrer de processos de acumulação na ZC (balanço sedimentar positivo), ocorre acumulação de sedimento resultando na acreção da LC, entretanto, em casos de erosão (balanço sedimentar negativo) ocorre o recuo da LC (Souza 2009, Riquetti *et al.* 2023).

A LC sofre modificações em sua posição ao longo dos anos e uma das principais formas de evidenciar e analisar essas mudanças é através de técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento. Esse processo, consiste na obtenção de imagens de satélite de diferentes anos e na análise do deslocamento da LC, através de softwares de geoprocessamento como ArcGis, QGis, Spring, TerraView, entre outros.

Na ZC Amazônica, estudos multitemporais foram realizados para analisar a dinâmica da LC utilizando sensoriamento remoto e SIGs (Sistemas de Informações Geográficas) para geoprocessamento. Alguns trabalhos foram realizados utilizando técnicas clássicas, ou seja, sem a utilização de softwares de quantificação automática de dados e outros, com uso de softwares mais completos, utilizando ferramentas de quantificação automáticas, como o Digital Shoreline Analysis System (DSAS), extensão do software Arcgis.

A seguir, alguns trabalhos realizados na ZC Amazônica:

- **Técnicas Clássicas**

- Análise das mudanças morfológicas costeiras de médio período na margem leste da ilha de Marajó em imagem Landsat (França & Sousa Filho 2003);

- Processos sedimentares em áreas de macro-marés influenciados pela pororoca - estuário do rio Araguari-Amapá-Brasil (Santos *et al.* 2005);
- Aplicação de dados multisensor (SAR e ETM+) no reconhecimento de padrões de uso e ocupação do solo em costas tropicais – Costa Amazônica, Amapá, Brasil (Santos *et al.* 2009);
- Avaliação de áreas deposicionais e erosivas em cabos lamosos da zona costeira Amazônica através da análise multitemporal de imagens de sensores remotos (Batista *et al.* 2009);
- Análise da variação da LC a noroeste do estado do Pará (baía de Curuçá) através de imagens Landsat TM e ETM+ e CBERS 2B (Rodrigues & Souza Filho 2011);
- Variação da LC na região da ilha dos Guarás através de análise de série temporal de imagens de satélites (Conti & Rodrigues 2011);
- Análise multitemporal de mudanças nas ilhas costeiras do estado do Amapá aplicando dados de sensores remotos (Silva *et al.* 2011);
- Uso de sensoriamento remoto para identificação e mapeamento do paleodelta do Macarry, Amapá (Santana 2011);
- Mapping changes in the largest continuous Amazonian mangrove belt using object-based classification of multisensor satellite imagery (Nascimento Jr *et al.* 2013);
- Erosão da orla costeira Grande-Bispo, ilha de Mosqueiro, Belém através da análise de indicadores (França *et al.* 2020);
- Analysis of China's Coastline Changes during 1990–2020 (Li *et al.* 2023).

• **Técnicas Modernas (usando DSAS)**

- Evolução da LC de Salinópolis, Nordeste do Pará, Brasil (Ranieri & El-Robrini 2015);
- Índice de vulnerabilidade diante da variação do nível do mar na Amazônia: estudo de caso no município de Salinópolis-Pará (Braga e Pimentel 2019);
- Análise das variações da LC na ilha de Mosqueiro ao longo de 17 anos (Braga 2019);
- Coastline changes near the “Maranhão - Ponta da Madeira” port complex, Brazil (Conti 2019);
- Characterization of the coastal environment as a baseline for alternative tourism segments development in Salinópolis, Pará (Freitas *et al.* 2020);

- Análise multitemporal da variação da LC em praias estuarinas de macromaré na Amazônia Oriental, de Baía (Baía *et al.* 2021);
- Fluvial erosion risk analysis: an amazon study case (Bandeira *et al.* 2021);
- Geotecnologias na análise da dinâmica costeira do estuário do Rio Caeté (Rabelo *et al.* 2021);
- Evolução multitemporal da LC (1972-2040) do município de Soure, Ilha do Marajó (Amazônia - Brasil) (Menezes 2021);
- Detecção das mudanças costeiras na margem leste do estuário do rio Pará: uma análise multitemporal (1987-2019) utilizando sensoriamento remoto (Guimarães 2022).
- Barrier Island Reconfiguration Leads to Rapid Erosion and Relocation of a Rural Alaska Community (Buzard *et al.* 2023).

O monitoramento da LC é, portanto, uma importante ferramenta para a compreensão dos processos atuantes na ZC no espaço/tempo. A respeito da Zona Costeira Oceânica do Estado do Amapá (ZCOEA), de acordo com Torres *et al.* (2018), têm-se pouco trabalhos nesta região, reforçando a importância do presente estudo para ajudar a preencher as lacunas que existem a respeito do entendimento dos ambientes e processos costeiros, e dessa maneira propiciar mais informações para a gestão costeira que ainda é insipiente nos espaços amazônicos principalmente devido à falta de conhecimento da região.

Os resultados desta análise multitemporal também serão de grande importância para contribuir para os avanços do Projeto Orla, que tem como principal objetivo gerar resultados para auxiliar na compreensão e no gerenciamento costeiro das orlas oceânicas, estuarinas, fluviais e lacustres.

Ainda, justifica-se o presente estudo, tendo em vista a Década dos Oceanos (2021 a 2030). Desta maneira, o presente trabalho se enquadra no: (1) Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS 13 - Ação Contra a Mudança no Clima Global), por promover subsídios para políticas, estratégias e planejamentos sobre a gestão costeira e sua adaptação às mudanças climáticas e (2) no ODS 14 (Vida na Água), que se refere à gestão e proteção dos ecossistemas costeiros.

Diante do exposto, esta pesquisa baseia-se nos seguintes questionamentos:

- a) Quais as áreas da LC que estão em processo de erosão na ZCOEA ?
- b) Quais as áreas da LC que estão em processo de acreção na ZCOEA ?

- c) Quais as taxas de erosão e de acreção na área de estudo nas últimas 3 décadas na ZCOEA?

Esta dissertação de mestrado objetiva analisar a variação multitemporal (1991 - 2021) da LC, na ZCOEA, entre a foz dos estuários dos rios Calçoene e Sucuriçu.

## 2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO À ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se na ZC oceânica (ou atlântica) do estado do Amapá, entre as coordenadas 1° 34' e 2° 56' Norte e 49° 35' e 51° 44' Oeste, no trecho entre a foz dos estuários dos rios Calçoene e Sucuriçu (extensão de 155 km), distando 110 km da foz do estuário do rio Amazonas (Figura 1). O acesso à área de estudo se dá de 2 formas: por vias terrestre e aquática ou apenas via aquática. Por vias terrestres e aquáticas o trajeto pode se iniciar a partir da capital do estado do Amapá, Macapá, seguindo pela rodovia Perimetral Norte, acessando a BR - 156 e posteriormente a AC-116 até o município do Amapá. Esse trajeto terrestre tem 300 km e leva 4 horas, porém ainda é necessário percorrer um trajeto de 21 km de barco pelo rio Flechal até chegar à costa do município do Amapá. Por vias aquáticas, partindo da capital Macapá, percorre-se uma viagem de 246 km de barco pelo rio Amazonas, até o Cabo Norte, na foz do estuário do rio Sucuriçu. Na figura 2, é possível visualizar o trajeto das duas formas principais de acesso à área de estudo e outras duas formas alternativas:

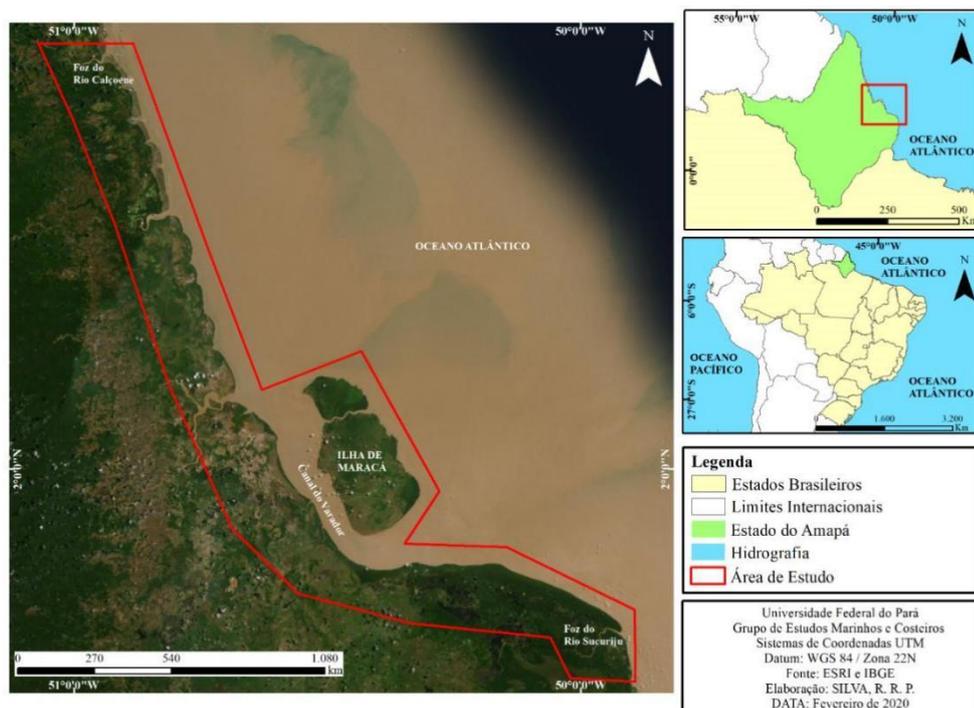


Figura 1- Localização da área de investigação inserida na Zona Costeira Oceânica (Atlântica) do Amapá, no trecho entre Calçoene e o Cabo Norte (quadro vermelho). Fonte: Autor

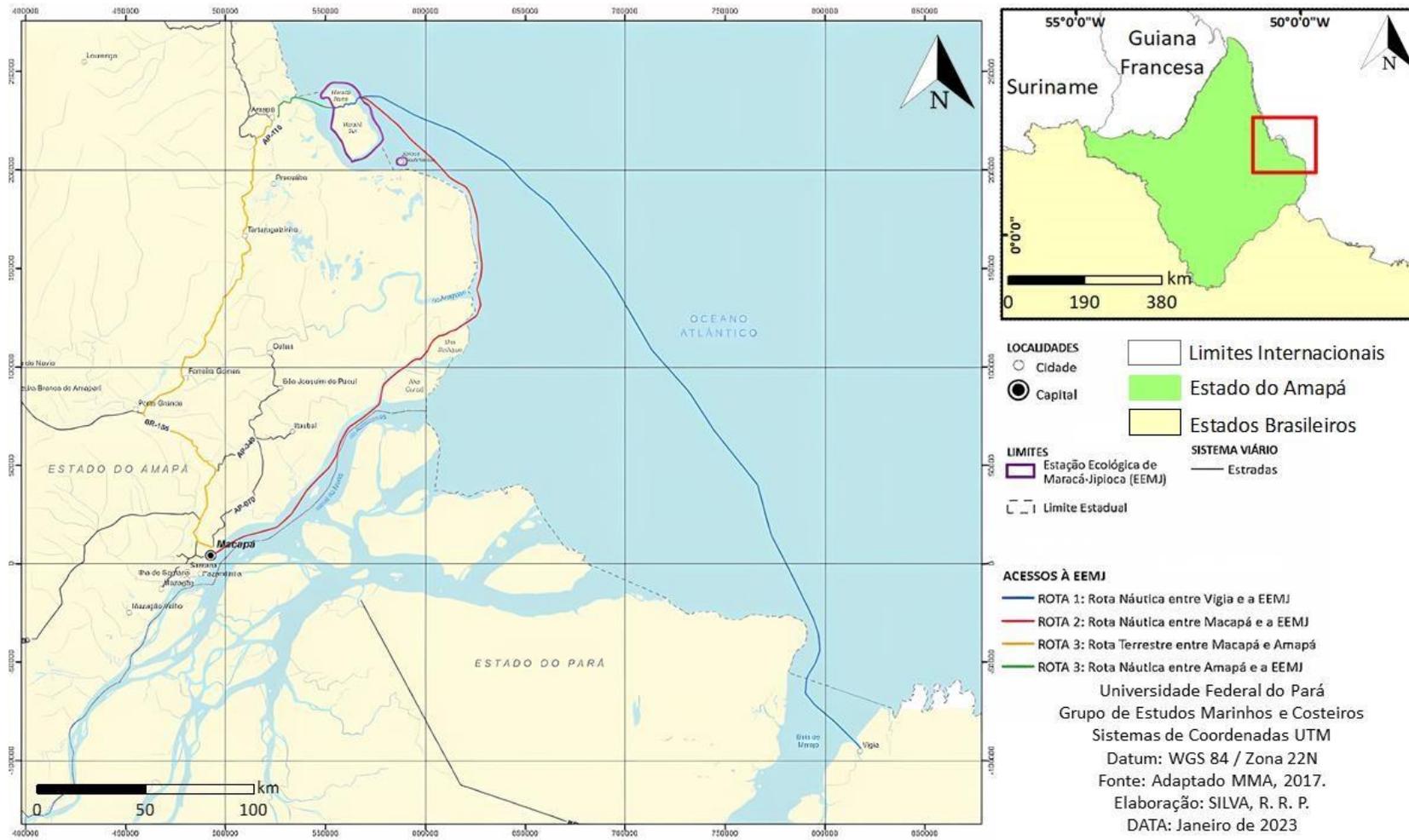


Figura 2- Rotas de acesso à área de estudo. Fonte: Adaptado (MMA 2017).

### 3 CONHECIMENTO TEÓRICO

#### 3.1 LINHA DE COSTA

A LC pode ser entendida como a intersecção entre o nível do mar e a terra firme (Muehe & Klumb-Oliveira 2014) ou linha de contato entre o oceano e o continente (Ranieri & El-Robrini 2015). Com base nessas definições, os critérios adotados para delimitar essa linha são de diversos tipos, por exemplo, a linha d'água no instante do levantamento de campo, a linha da preamar de sizígia, o alcance máximo das ondas e marés, o limite da vegetação, o limite terrestre da sedimentação de leques de lavagem em lagunas e estuários, a base ou o topo de falésias (Ranieri & El-Robrini 2015, França *et al.* 2020). O trabalho de Boak & Turner (2005) faz uma revisão completa sobre os tipos de indicadores de LC na literatura, levantando um total de 45 indicadores de LC que podem ser divididos em 3 grupos baseados: (1) na visualização das feições costeiras, (2) em dados específicos da maré e (3) na aplicação de técnicas de processamentos de imagens para extração de feições que não necessariamente são visíveis a olho nu. A figura 3 mostra os indicadores mais frequentemente utilizados:

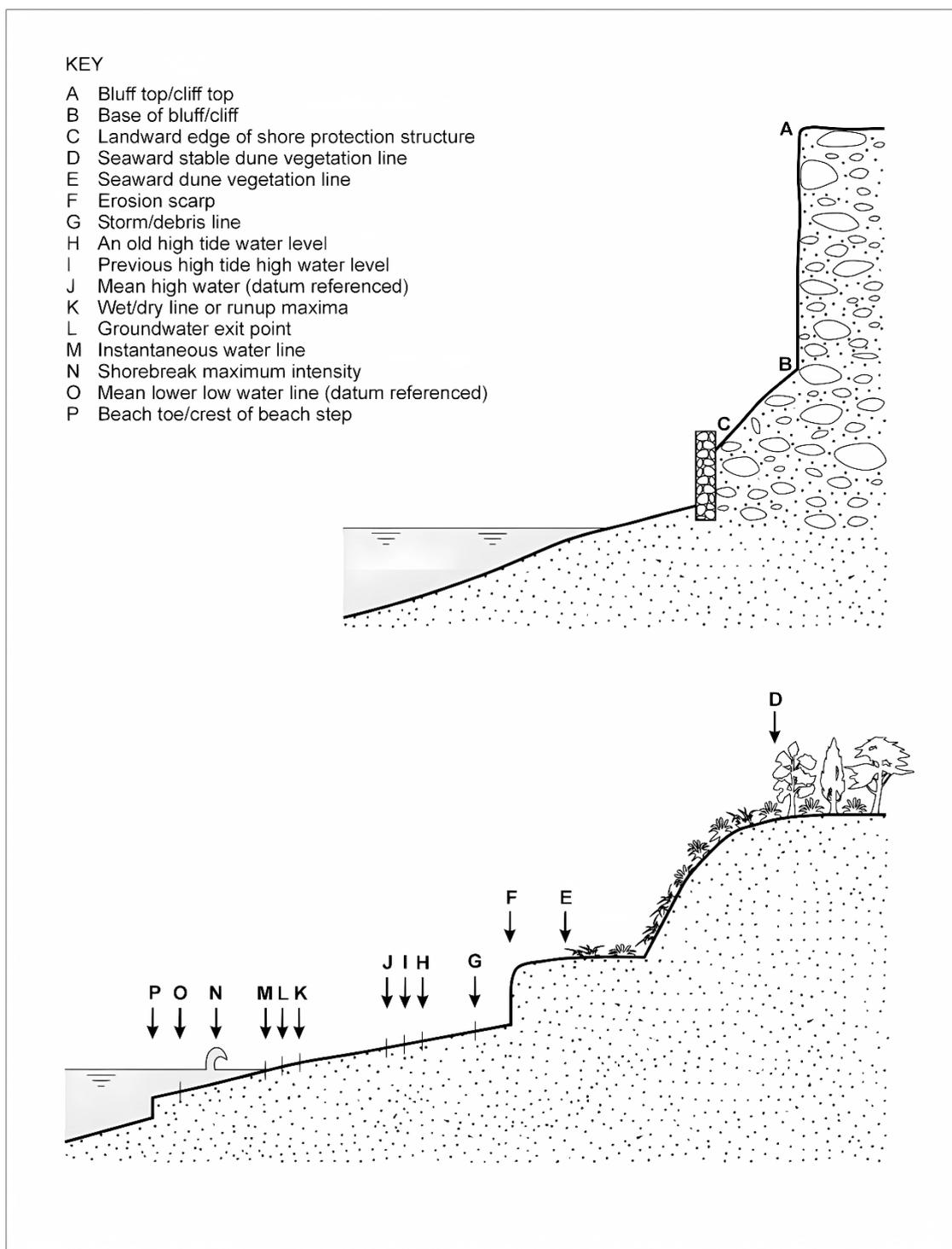


Figura 3- Indicadores de LC frequentemente utilizados nos estudos. Fonte: Toure *et al.* (2019).

Sobre os indicadores baseados em técnicas de processamento de imagens, Toure *et al.* (2019) fizeram uma revisão dos diversos tipos de indicadores de LC a partir da detecção por meio de sensores remotos possibilitando perceber que a maioria das pesquisas que utilizam esse recurso de detecção priorizam a escolha de imagens de satélites que possuam fácil

acessibilidade aos dados, grande cobertura de área, longo período de funcionamento (permitindo análises multitemporais entre várias décadas) e baixo custo de aquisição de imagens (de preferência aquisição gratuita como as imagens disponibilizadas pela United States Geological Survey – USGS). A desvantagem das imagens de satélite adquiridas gratuitamente é que dificilmente elas serão encontradas com alta resolução espacial, pois esses tipos de imagens são comercializadas (elevado custo). De acordo com os mesmos autores ainda não existe um único modelo de detecção de LC que possa ser utilizado em qualquer local, isso porque deve ser levado em consideração as especificidades de cada área de estudo, cabendo ao pesquisador identificar qual o melhor indicador de LC para área em questão e a melhor técnica a ser utilizada para detectá-la em suas análises.

A LC é um dos mais importantes geoindicadores (indicadores físicos) da dinâmica costeira, pois a sua mobilidade determina os processos costeiros predominantes em determinada área (Salgado 2021). O balanço sedimentar contribui com a identificação da dinâmica costeira atuante na LC. Segundo Souza (2009), Rodrigues *et al.* (2015) e Fabin (2018), quando ocorre maior entrada de sedimentos do que saída, o balanço sedimentar é positivo, resultando em processos de acreção/avanço da LC. Esse processo cria feições de acreção como planícies de maré, restingas, dunas e praias. Quando a saída de sedimentos é maior do que a entrada, o balanço sedimentar é negativo causando erosão e/ou recuo da LC. Esse processo resulta na criação de formas de relevo de erosão como falésias, plataformas de abrasão, terraços, além da redução espacial na largura de praias, restingas e planícies lamosas. As forças físicas (ondas, marés, correntes, ventos e descargas fluviais) são as principais responsáveis pelo balanço sedimentar das ZCs e, portanto, da mobilidade da LC, que por sua vez altera e cria formas de relevo. As figuras 4 e 5 representam processos que envolvem o recuo da LC e um modelo esquemático de balanço sedimentar:

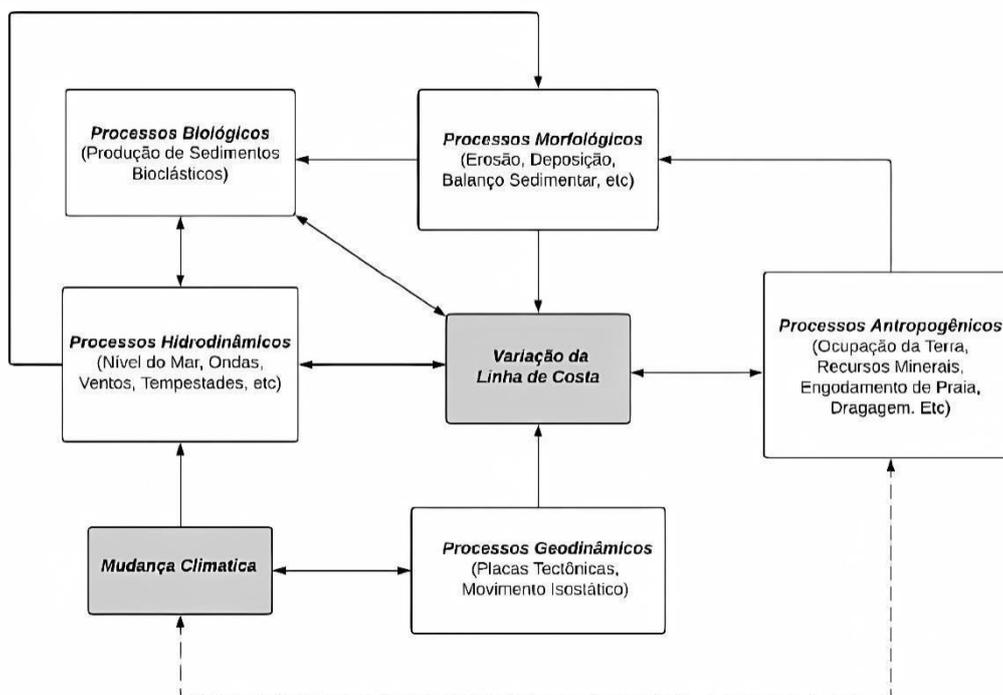


Figura 4- Processos que causam mudanças na LC. Adaptado de *Toure et al.* (2019).

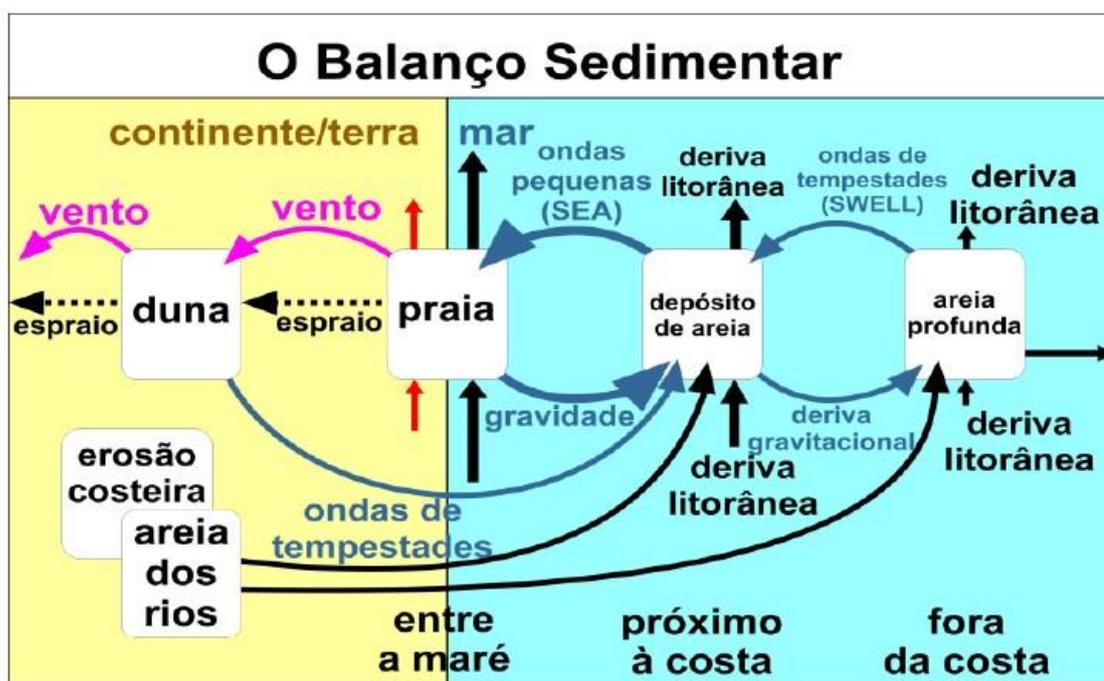


Figura 5- Modelo de balanço sedimentar em ambientes praias. Fonte: *Paula et al.* (2016).

### 3.2 EROSIÃO E ACREÇÃO

A terra possui agentes formadores do relevo, também chamados de agentes endógenos do relevo. Esses agentes são responsáveis pela criação de novas formas na superfície terrestre através de forças que se originam no interior do planeta como tectônica das placas, abalos

sísmicos e vulcanismo (Teixeira *et al.* 2013). Segundo os mesmos autores, a terra também possui agentes modeladores do relevo, ou seja, um conjunto de forças externas que alteram as formas da superfície da terra através de intemperismo físico (desagregação mecânica das rochas), químico (reações químicas na constituição dos minerais das rochas causadas principalmente pelo contato da água com os minerais) e biológico (mudanças nas rochas ocasionadas pela ação de seres vivos como crescimento de raízes de plantas e musgos). Os diversos tipos de intemperismo por sua vez geram a erosão.

A erosão é um processo natural de desgaste da superfície da terra, no qual o solo, as rochas e outros materiais são removidos e transportados por agentes naturais como vento, água ou gelo. Este é um processo que pode ter efeitos negativos na paisagem e no meio ambiente, como a perda de solo fértil, a degradação de ecossistemas e a destruição de propriedades e infraestruturas.

As principais formas de erosão são:

- Pluvial: ocasionada pela ação da água das chuvas nas rochas e no solo (Ramos *et al.* 2021, Fernández-Raga *et al.* 2021);
- Fluvial: é resultante da ação dos rios (Dias *et al.* 2022, Chen *et al.* 2021);
- Marinha: é a erosão resultante da ação das ondas, marés e correntes marinhas (Kim *et al.* 2021, Capron *et al.* 2020);
- Glacial: erosão causada pelo congelamento e derretimento das geleiras (Crosby *et al.* 2021);
- Eólica: ação de desagregação de rochas pela ação dos ventos. Erosão comum em áreas áridas (Guo *et al.* 2021, Wawryk *et al.* 2020).

### 3.3 SENSORIAMENTO REMOTO

Antes de discorrer sobre o sensoriamento remoto, é preciso conceituar o termo de geoprocessamento que segundo Camara *et al.* (2001) se referem a uma área do conhecimento que promove o tratamento de informações geográficas utilizando técnicas matemáticas e computacionais. Desta forma, o sensoriamento remoto é entendido pelos autores como uma das técnicas que constituem o geoprocessamento.

Segundo Menezes & Almeida (2012) sensoriamento remoto “é uma técnica de obtenção de imagens dos objetos da superfície terrestre sem que haja um contato físico de qualquer espécie entre o sensor e o objeto” e a melhor forma de comunicação entre um objeto e o sensor é a radiação eletromagnética (REM), haja vista que somente ela é uma fonte de energia capaz de se transportar pelo espaço. Sendo assim os sensores – equipamentos acoplados em satélites, aviões, drones, etc – registram os objetos analisados em imagens de satélites através de medições da REM refletida pelos objetos. Qualquer sensor que registre imagens de satélites que não sejam oriundas da recepção da REM não pode ser considerado sensoriamento remoto (Menezes & Almeida 2012).

O registro de imagens de satélites não depende apenas da qualidade dos sensores, mas também da qualidade e intensidade das fontes de REM, que no caso das fontes naturais a principal é o sol, em virtude da elevada temperatura da sua superfície que pode chegar até 6.000 °C; e a terra, todavia com uma intensidade de REM muito menor que a do Sol, pois sua temperatura média é de apenas 27 °C (Menezes & Almeida 2012).

A REM oriunda do Sol ou emitida pela Terra sofre interferências durante a passagem na atmosfera devido à interação com os gases e os materiais particulados suspensos no ar. As interferências atmosféricas alteram a intensidade, fluxo e direção da REM, portanto tornam este conhecimento de suma importância para o sensoriamento remoto. De acordo com Menezes & Almeida (2012) essas interferências podem ser de dois tipos: absorção e espalhamento da radiação. A absorção é uma interferência que bloqueia ou atenua a passagem da REM que é absorvida pelos gases atmosféricos, fazendo com que o sensor não consiga captar a radiação, logo não consegue registrar imagens da superfície terrestre. O espalhamento (também conhecido como difusão ou dispersão) é uma interferência que altera aleatoriamente a direção de propagação da REM, em virtude da interação com a atmosfera. Nesse caso, o sensor recebe radiação tanto do objeto alvo de imageamento quanto a radiação que foi dispersa de outros objetos, causando o chamado efeito aditivo no sensor, diminuindo a eficiência do sensoriamento remoto (Menezes & Almeida 2012).

O sensoriamento remoto é uma das técnicas mais importantes do geoprocessamento para o monitoramento da posição da LC em virtude da disponibilidade de imagens de satélites de alta e média resolução que os sensores fornecem. Entre os projetos de sensoriamento remoto, mais relevante destaca-se a série LANDSAT (Land Remote Sensing Satellite), projeto desenvolvido pela Agência Espacial Americana, gerenciada pela National Aeronautics and

Space Administration (NASA) e pela U.S. Geological Survey (USGS), para a observação dos recursos naturais terrestres. Este projeto teve início na segunda metade da década de 60, envolvendo o lançamento de um total de 8 satélites, estando 2 em operação até os dias de hoje (Embrapa 2022). O projeto representa um acervo de mais de 50 anos de imagens disponíveis gratuitamente no sítio online da USGS, promovendo a possibilidade de avaliação da dinâmica da LC em escalas temporais de muitas décadas.

Para a avaliação da dinâmica da LC, o presente trabalho contou com 5 imagens do satélite LANDSAT, que foram analisadas mediante uso do Arcgis e uma extensão (plugin) denominada Digital Shoreline Analysis System (DSAS), que fez toda a quantificação das mudanças da LC da área de estudo, ao longo do intervalo de tempo escolhido. Esse processo de análise da LC será mais bem detalhado na metodologia do trabalho.

## 4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 4.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS

De acordo com Santos (2016) a área de estudo está inserida em uma região de (1) Depósitos Fluvio-Marinhos (Holoceno), formados por sedimentos inconsolidados arenosos e argilosos, ricos em matéria orgânica, sendo transportados por correntes de maré e descargas fluviais dos rios dessa região; e (2) Depósitos Flúvio-Lacustres, formados por sedimentos predominantemente argilosos e areno-argilosos. Esses depósitos são sustentados majoritariamente pela Formação Pós-Barreiras (Quaternário), no entanto é possível encontrar cobertura sedimentar da Formação Barreiras resultante da sedimentação fluvial (Terciário). Os Depósitos Flúvio-Marinhos ocorrem na zona costeira oceânica do Amapá e também na ilha de Maracá. Os Depósitos Flúvio-Lacustrinos, localizam-se adjacente aos anteriores, na região da Reserva Biológica do Lago Piratuba. Na figura 6, são apresentadas as unidades geológicas da área de estudo.

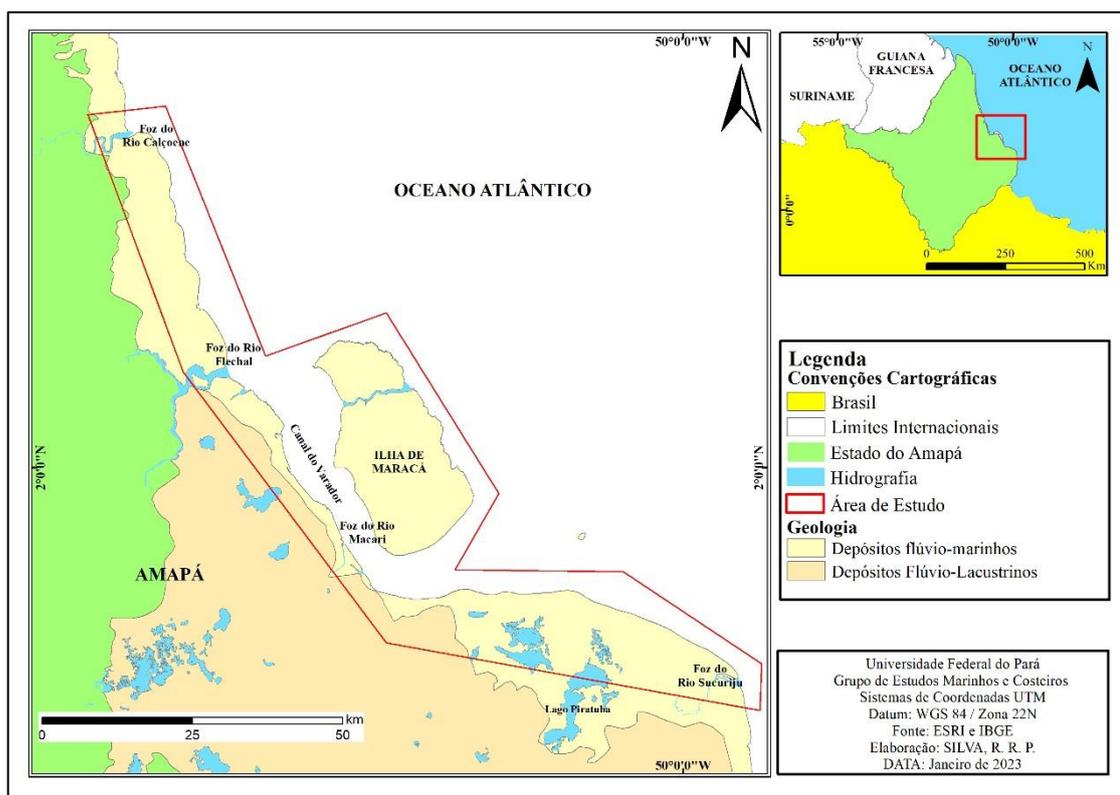


Figura 6- Geologia da área de estudo. Fonte: Autor.

## 4.2 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

A área de estudo está inserida na Planície Flúvio-Marinha Macapá/Oiapoque (Planície Costeira), denominação definida por Boaventura & Narita (1974). A formação da Planície Costeira, segundo Torres *et al.* (2018), está ligada a processos fluviais do sistema de drenagem do Estuário do Rio Amazonas (processos de colmatagem, paleocanais entulhados, lagos residuais, meandros abandonados, terraços e ilhas), mais especificamente ao sul do Estuário do rio Flechal, processos de influência marinha e formação de restingas por correntes de deriva das Guianas. Esta região se caracteriza por uma costa baixa com largura de 10 a 120 km, mais ou menos retilínea e poucas reentrâncias resultantes de processos de acreção em virtude do aporte dos sedimentos finos oriundos do Estuário do rio Amazonas (Torres *et al.* 2018). A figura 7 abaixo apresenta as principais formas de relevo da área de estudo e adjacências:

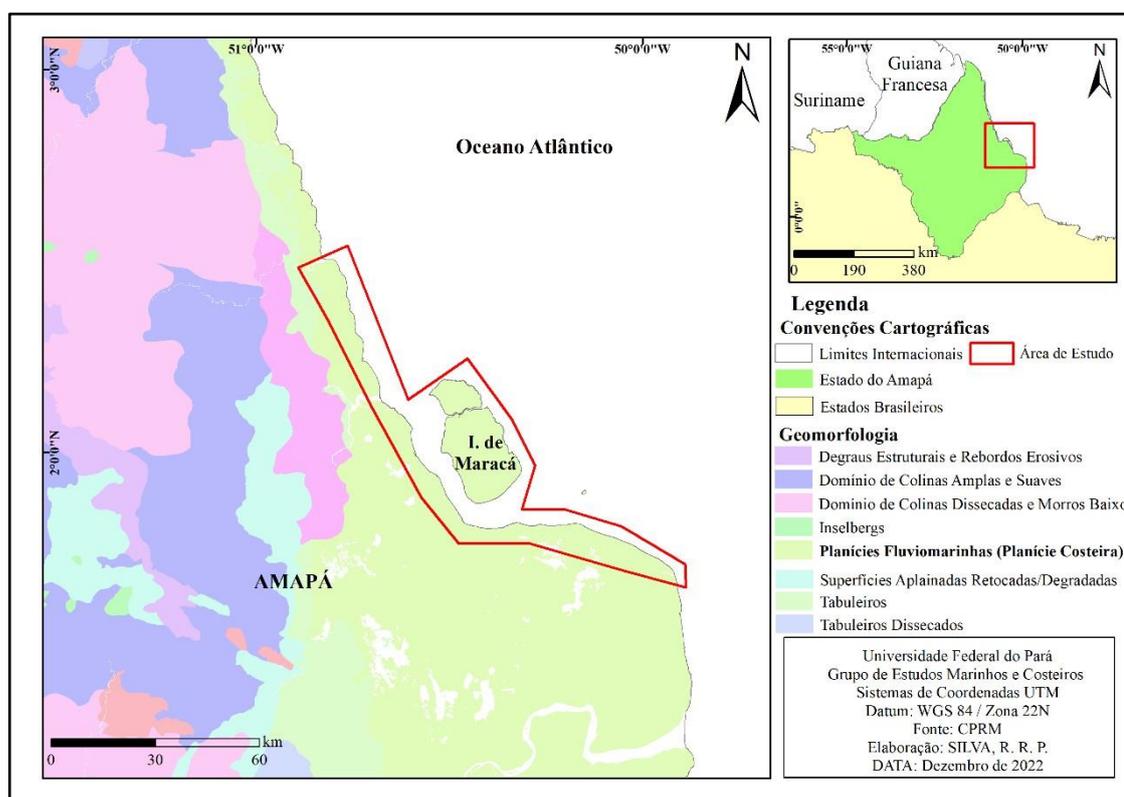


Figura 7- Unidades Geomorfológicas do Amapá. Fonte: Autor.

## 4.3 ASPECTOS CLIMÁTICOS E METEOROLÓGICOS

O clima na região, segundo Novais e Machado (2023), do tipo Eq'oam, Equatorial úmido litorâneo amazônico, e de acordo com Torres *et al.* (2018) apresenta duas estações sazonais: (1) seca (setembro - novembro, precipitação de 50 mm/mês) e (2) chuvosa (fevereiro

- maio, precipitação > 250 mm/mês). A precipitação na ZCOEA sofre influência de vários sistemas atmosféricos como Linhas de Instabilidade; Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Ondas de Leste, Sistemas de Brisas e fenômenos ocasionais como El Niño e La Niña (Torres *et al.* 2018). A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) ocorre nas proximidades da Linha do Equador e caracteriza-se por ser um sistema sinótico, com ocorrência de diversas interações atmosféricas e oceânicas que – associado com sistemas convectivos locais - provoca alternâncias de estações climáticas, na direção dos ventos e na temperatura das regiões norte e nordeste do Brasil (Amanajás & Braga 2012, Carvalho & Oyama 2013, Matos & Cohen 2016).

Apesar de a ZCIT estar localizada ao norte da Linha do Equador, apresenta variações sazonais e latitudinais sobre o oceano Atlântico, com deslocamento médio até 14°N e a 2°S (Carvalho & Oyama 2013). Na área de estudo a ZCIT influencia no aumento da precipitação e na alta nebulosidade entre os meses de dezembro a fevereiro (Rollnic *et al.* 2020, Rosa & Silva 2016). Observe a variação da ZCIT entre o hemisfério norte e sul (figura 8):

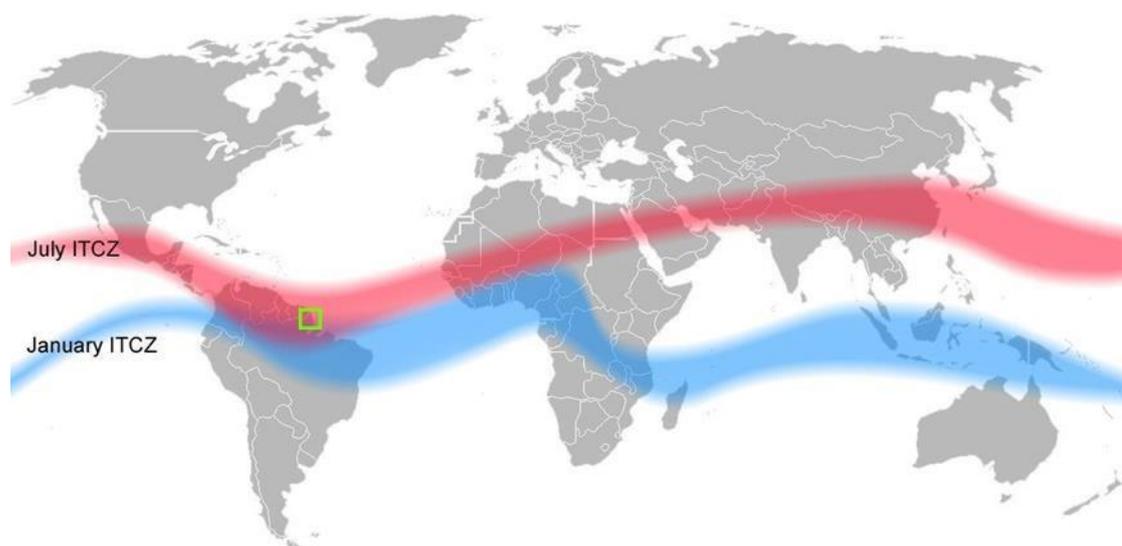


Figura 8- Posição média da ZCIT nos meses de julho (vermelho) e janeiro (azul).<sup>1</sup>

A precipitação pluviométrica média da região é de 2.650 mm/ano (INMET 2022). As temperaturas médias variam entre 26 °C e 27 °C, não apresentando grandes diferenças de temperatura (INMET 2022). Entre setembro e novembro ocorrem temperaturas mais elevadas (máximo de 31,5 °C +/- 0,7 °C) e entre janeiro e março temperaturas menores (mínimo de 22 °C +/- 0,3 °C) (Costa *et al.* 2013).

<sup>1</sup> Quadro verde mostra a área de estudo. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br> Acesso: 10/10/2022.

### 4.3.1 Ventos

Os ventos na região mostram grande variabilidade e de acordo com Torres *et al.* (2018) os ventos predominantes advêm de NE (velocidade média de  $9 \text{ m. s}^{-1}$ ) e de SE (velocidade de  $3 \text{ m. s}^{-1}$ ). Os ventos alísios têm forte influência na região atuando de forma quase perpendicular à costa (alísios de nordeste) entre os meses de janeiro a junho, com velocidade máxima de  $18 \text{ m. s}^{-1}$  em fevereiro. Entre os meses de julho a dezembro, os ventos mudam de posição (sudeste) com velocidades médias  $3 \text{ m. s}^{-1}$  (Asp *et al.* 2018, INMET, 2023). Conforme ilustrado na figura 9, é possível perceber a variação da posição de incidência e a velocidade dos ventos em trecho da porção norte da costa brasileira:

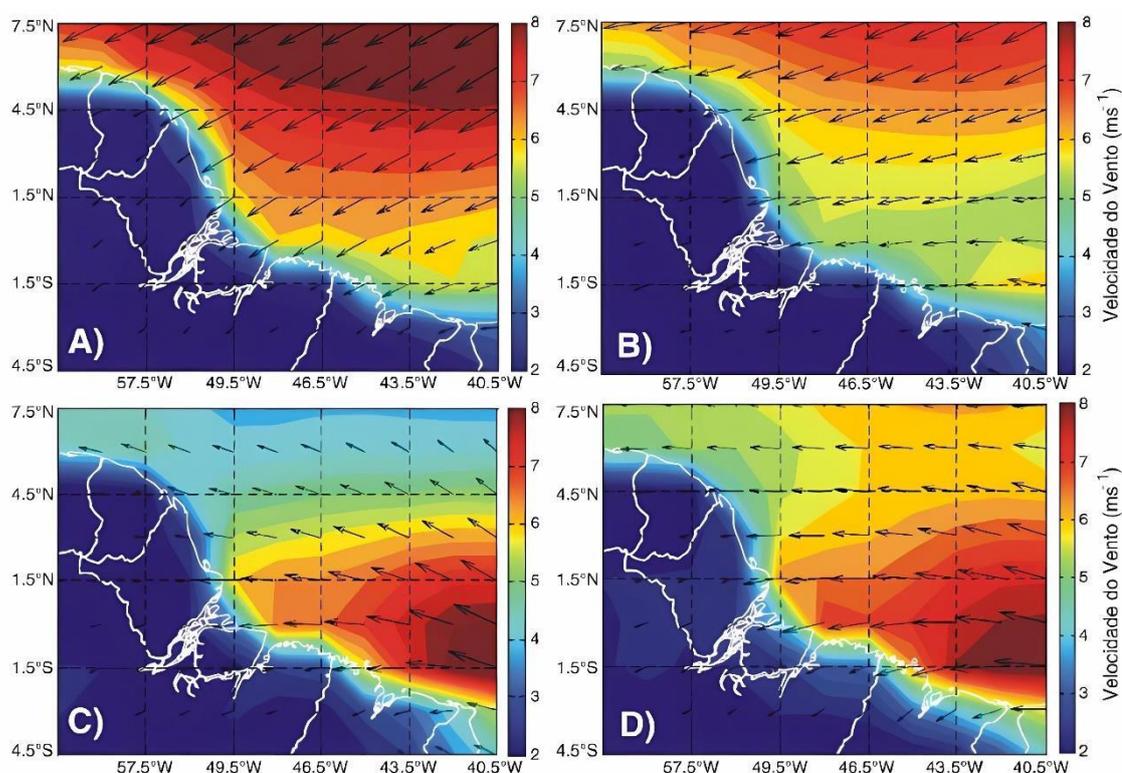


Figura 9- Médias trimestrais dos campos de vento (ECMWF - European Centre Medium-Range Weather Forecast), com grade de resolução  $1,5^\circ \times 1,5^\circ$ . A) verão (Janeiro – Março); B) outono (Abril – Junho); C) inverno (Junho – Setembro) e; D) primavera (Outubro – Dezembro). Fonte: (Onça 2016).

### 4.3.2 Eventos Extremos

Em virtude da área de estudo se encontrar em uma zona equatorial úmida, os eventos extremos interferem no aumento e na diminuição dos regimes de chuva e, portanto, no nível dos rios e na descarga hídrica e sólida. Em anos de La Nina os índices pluviométricos aumentam, provocando maior volume de água nos rios, assim como a água da chuva também

vai carrear maior quantidade de sedimentos para dentro dos rios, intensificando processos erosivos nas margens e de transporte de sedimentos. Segundo CPTEC/INPE (2022) a previsão é de manutenção de águas mais frias que as médias normais nas águas do oceano Pacífico Equatorial, caracterizando continuidade do fenômeno La Nina. O quadro 1 mostra o período e a intensidade de ocorrência de El Nino e La Nina entre os anos de 1991 e 2021 e as figuras 10, 11, 12 e 13 ilustram de maneira geral os efeitos globais de El Nino e La Nina no planeta, contribuindo para maior ou menor pluviosidade de acordo com o fenômeno:

El Nino			La Nina		
Fraco	Moderado	Forte	Fraco	Moderado	Forte
2004-2005	1991-1992	1997-1998	1995-1996	1998-1999	1999-2000
2006-2007	1994-1995	2015-2016	2000-2001	2007-2008	2010-2011
2018-2019	2002-2003		2005-2006	2016-2017	
	2009-2010		2008-2009	2020-2021	
			2011-2012		

Quadro 1- Período e intensidade de ocorrência de El Nino e La Nina entre 1991 e 2021: Fonte: Null (2022)<sup>1</sup>.

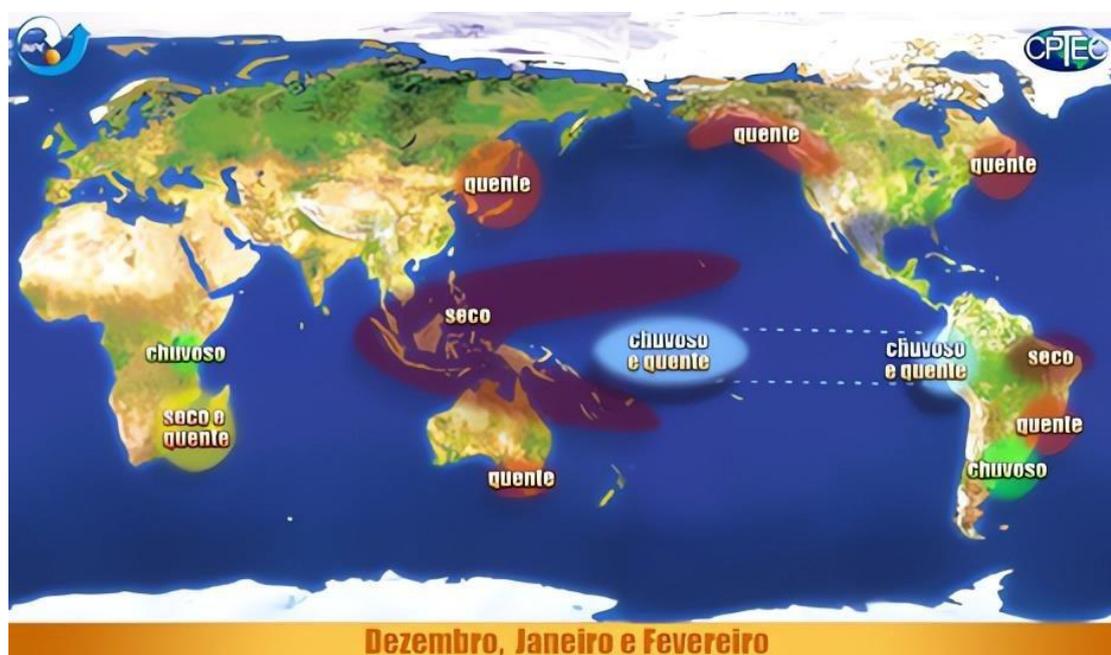


Figura 10- Efeitos globais do El Niño (dezembro, janeiro e fevereiro). Fonte: (CPTEC 2022).

<sup>1</sup> Disponível em: < <https://ggweather.com/enso/oni.htm>>. Acesso em: 12 de junho de 2022.

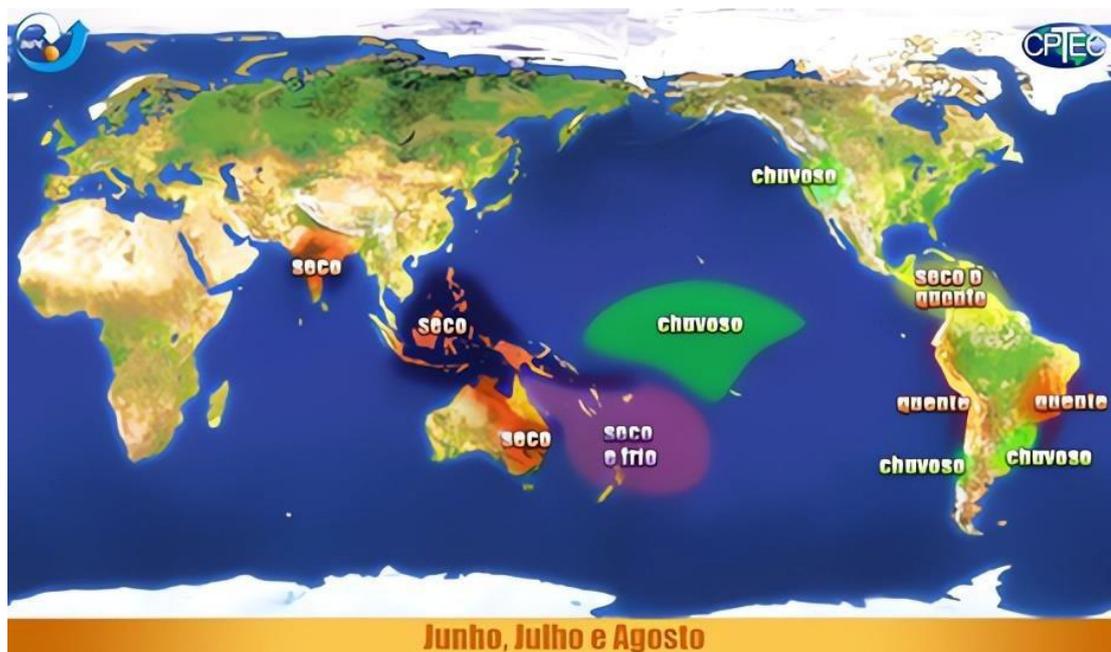


Figura 11- Efeitos globais do El Niño (junho, julho e agosto). Fonte: (CPTEC 2022).

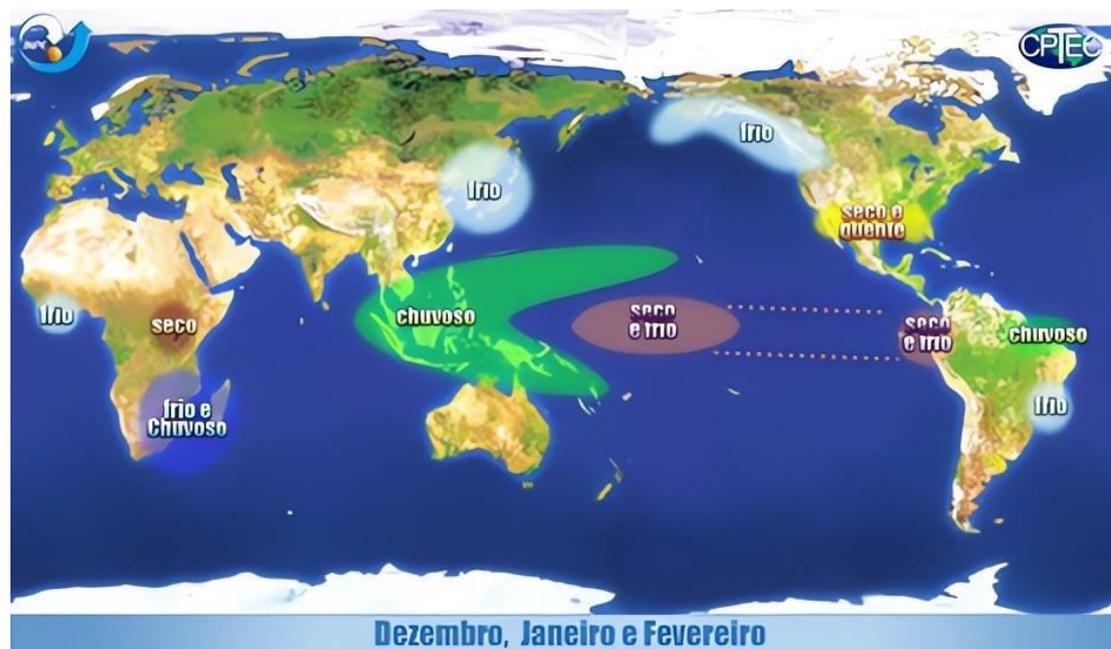


Figura 12- Efeitos globais de La Niña (dezembro, janeiro e fevereiro). Fonte: (CPTEC 2022).

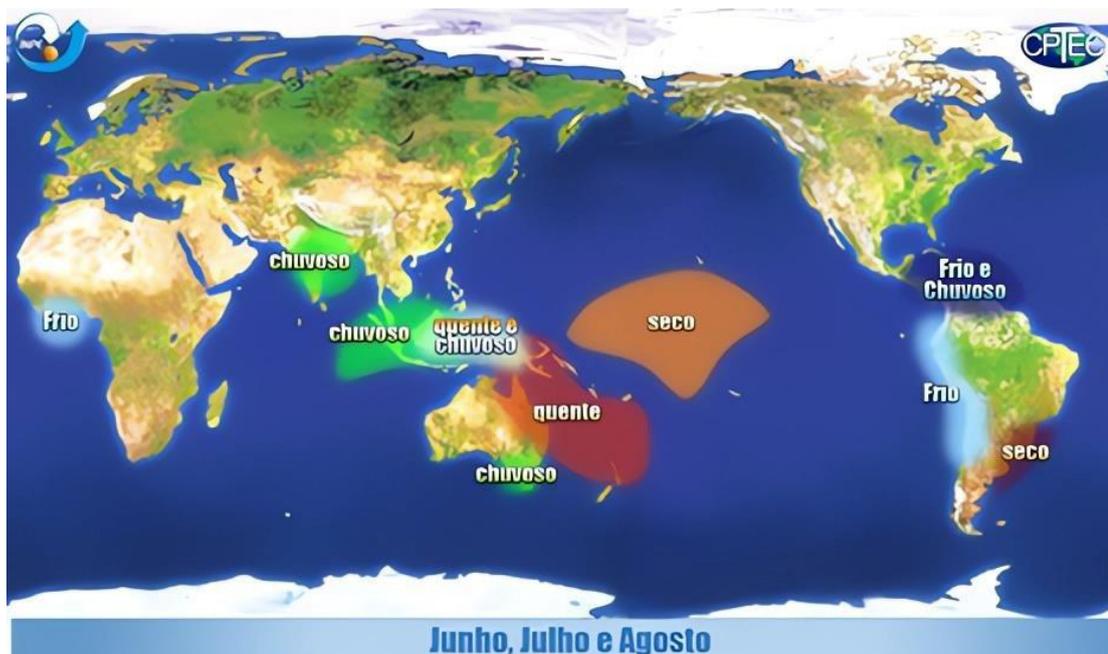


Figura 13- Efeitos globais de La Niña (junho, julho e agosto). Fonte: CPTEC (2022).

#### 4.4 ASPECTOS HIDROLÓGICOS

##### 4.4.1 Descarga Hídrica/Sólida

A descarga hídrica e sólida do Estuário do rio Amazonas é responsável pela dinâmica que se configura na sua foz e na plataforma continental interna adjacente (Nittrouer *et al.* 2021). A entrada de água doce no oceano Atlântico influencia e muitas vezes controla a circulação local, causando diversas alterações físicas e químicas na área (Nittrouer *et al.* 2021). A descarga hídrica média é de  $175,000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  ( $\sim 6930 \text{ km}^3/\text{ano}$ ) (Ruault *et al.* 2019, Pereira *et al.* 2022). Essa descarga hídrica varia entre  $240.000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (maio) e  $110.000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (novembro) (Brasil 2005, Less *et al.* 2021, Tosetto *et al.* 2022). Esse volume representa 16% a 18% do fluxo de água doce global para o oceano (Latrubesse *et al.* 2017) (Figura 14).

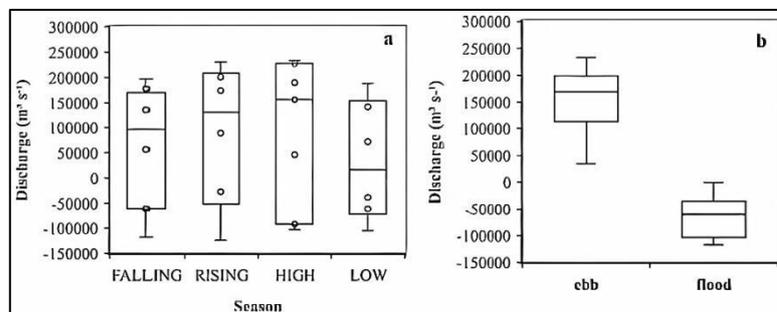


Figura 14- A) Variabilidade sazonal da descarga do rio Amazonas e; B) Variabilidade diária da descarga na foz do Canal Norte do Rio Amazonas. Fonte: Less *et al.* (2021).

A entrada de sedimentos nos oceanos afeta a circulação hídrica, a geoquímica e a produtividade do ambiente costeiro e pode alterar os aspectos da geomorfologia da LC (Nittrouer 2021). A descarga sólida do rio Amazonas resulta no alto teor de material em suspensão na área, podendo chegar a 1,200 Mt/ano (Milliman & Farnsworth 2011) (Mt - megatonelada = 1 milhão de toneladas). A maior parte deste material (+ 90%) é < 63µm de diâmetro (silte e argila), entretanto, os materiais dissolvidos chegam à 300 Mt/ano (Nittrouer 2021). A maior parte dos sedimentos são depositados na plataforma continental, porém cerca de 30% é levado no sentido noroeste, contribuindo para a formação de grandes bancos de lama migratória que se estendem por 1600 km em direção à Guiana Francesa, Suriname e Guiana (Anthony *et al.* 2010, 2014). A figura 15 mostra um registro feito pela NASA da foz do rio Amazonas, com destaque para grande quantidade de sedimentos em suspensão.



Figura 15- Foz do estuário do rio Amazonas. Fonte: Earth Observatory (NASA 2020).

## 4.5 ASPECTOS OCEANOGRÁFICOS

### 4.5.1 Marés

A maré é a principal forçante na região (Torres *et al.* 2018). Esta região é caracterizada por macro-maré (acima de 4 m) semidiurna, todavia, no setor costeiro oceânico do Amapá, a altura da maré é de 6 m, além de hipermaré no Canal do Inferno (ilha de Maracá), com altura média de maré de +/- 9 m (sizígia), chegando até 12 m (Torres *et al.* 2018).

As correntes de maré semidiurna na área de estudo apresentam variação em relação aos períodos de sizígia e de quadratura. Durante a sizígia estas atingem a velocidade máxima de até  $2 \text{ m.s}^{-1}$  na plataforma continental interna adjacente à área de estudo e  $0,5 \text{ m.s}^{-1}$  na quadratura (Torres *et al.* 2018, Ruault *et al.* 2019). Essas correntes, impulsionadas pelos ventos alísios de leste e pelas ondas, tem grande importância na dispersão de sedimentos, principalmente os oriundos da foz do estuário do rio Amazonas.

#### **4.5.2 Ondas**

Na ZCOEA, as ondas também são forçantes que influenciam no transporte de sedimentos e promovem a deriva litorânea com sentido preferencialmente de leste para noroeste, como atestam o desenvolvimento dos cabos lamosos que crescem em direção a Guiana Francesa (Torres *et al.* 2018). Essas ondas são geradas pelos ventos alísios de nordeste, tendo amplitude média entre 1 e 2 m, porém, em fevereiro, essa altura pode alcançar 3 m (Cachione *et al.* 1995, CHM 2023).

#### **4.5.3 Corrente Norte do Brasil (CNB)**

A Corrente Norte do Brasil (CNB) é uma corrente de contorno oeste originada a partir da bifurcação do ramo sul da Corrente Sul Equatorial. A CNB interage com a descarga sólida/hídrica do Estuário do rio Amazonas e proporciona uma dispersão em direção a noroeste (Torres *et al.* 2018). A CNB apresenta uma taxa de transporte de 35 Sv ( $1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) com variação sazonal de  $\pm 3 \text{ Sv}$  em direção ao Equador e, ao longo do talude continental do Amazonas, flui com velocidades de  $1,0 \text{ m.s}^{-1}$ , com transporte médio de 26 Sv, sendo que nos meses de Julho – Agosto ocorre o transporte máximo de 36 Sv e o mínimo (13 Sv) em Abril – Maio (Figura 16) (Richardson *et al.* 1994, Bourlès *et al.* 1999, Johns *et al.* 2014).

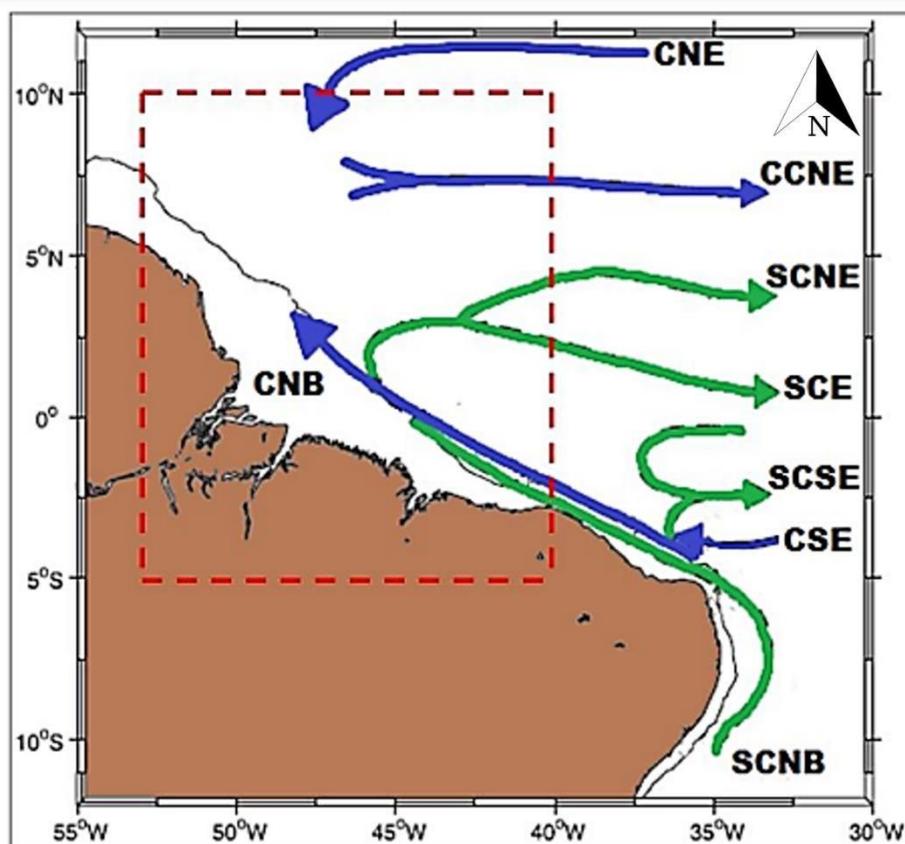


Figura 16- Esquema das correntes na região oeste do Oceano Atlântico Equatorial. Em azul, as correntes superficiais e em verde, as correntes subsuperficiais. CNB: Corrente Norte do Brasil; CNE: Corrente do Nordeste; CCNE: Corrente do Contrafluxo da Corrente do Nordeste; SCNE: Sistema de Correntes do Nordeste; SCE: Sistema de Correntes do Equador; SCSE: Sistema de Correntes do Sul do Equador; CSE: Corrente do Sul do Equador; SCNB: Sistema de Correntes do Norte do Brasil. Fonte: Moraes (2011).

#### 4.5.4 Pluma Estuarina

A pluma estuarina é uma extensão de água doce e sedimentar que se forma na foz de alguns rios. A descarga hídrica e sólida do rio Amazonas forma uma considerável pluma de sedimentos que se estende por vários kms e segue em diferentes direções na Plataforma Continental do Amazonas (PCA). Essa pluma possui de 3 a 10 m de espessura e 80 a 200 km de largura. O encontro da pluma de água doce com a água salgada do oceano Atlântico forma uma frente salina com extensão de até 150 km da foz do Estuário do rio Amazonas (Rollnic *et al.* 2020) e que se estende até 300 km a noroeste (Santos *et al.* 2016). A pluma do rio Amazonas é responsável pela diminuição da salinidade ( $< 35$  psu) e grande aporte de sedimentos e nutrientes na PCA. Segundo Varona *et al.* (2018), a pluma do Rio Amazonas causa variações temporais, espaciais e físicas na CNB e na Contracorrente Norte Equatorial (CCNE), haja vista que confina águas de baixa salinidade perto da costa principalmente de dezembro a fevereiro, espalhando-se para leste ao longo da CCNE de setembro a novembro. Outra influência da pluma

do rio Amazonas é a temperatura mais elevada na porção esquerda da foz do rio Amazonas de setembro a novembro, seguindo a área de retroflexão da CNB, em virtude das temperaturas mais quentes do rio (Varona *et al.* 2018). Além dessas modificações termohalinas, a pluma do rio Amazonas causa uma antecipação da retroflexão da CNB em cerca de 2 meses bem como aumento o transporte e propagação de águas de baixa salinidade para o Oceano Atlântico Tropical Central através da CCNE. A figura 17 mostra a direção das correntes oceânicas e suas influências na Pluma do Rio Amazonas.

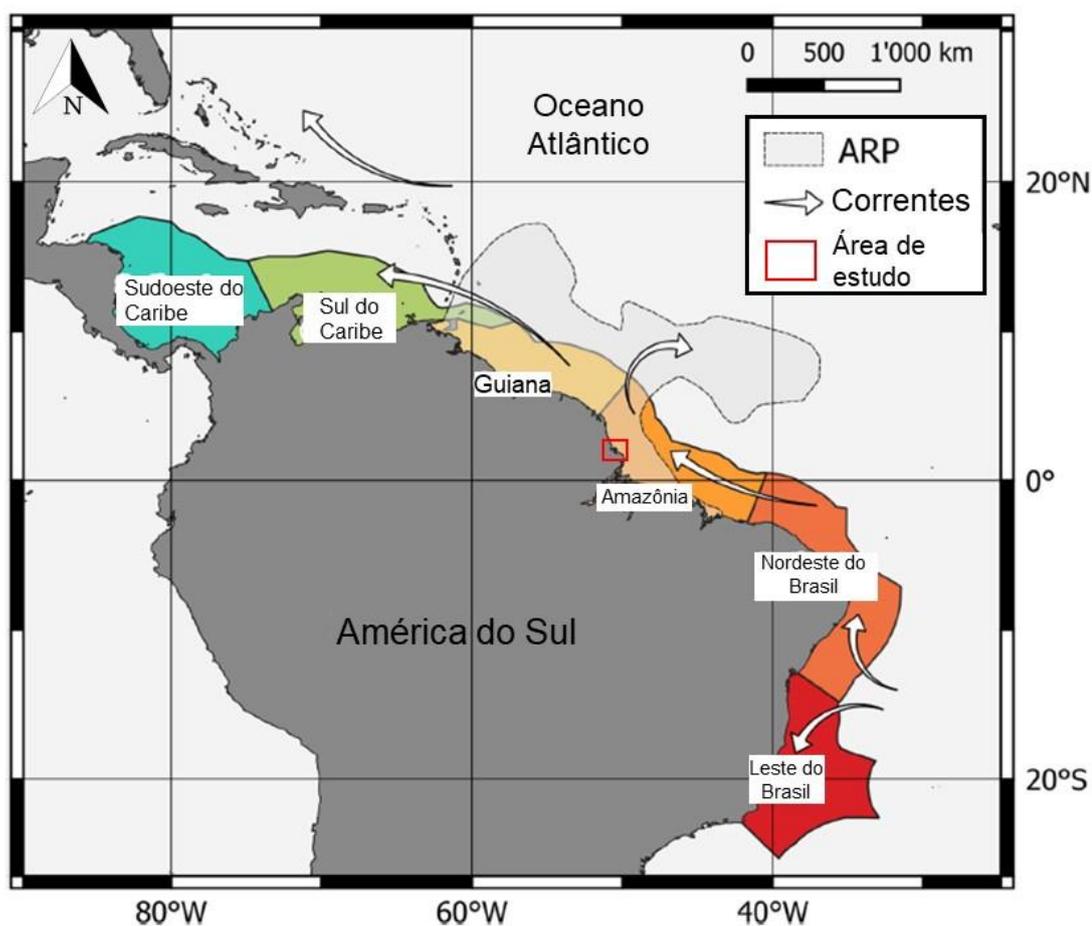


Figura 17- 6 Ecorregiões no Oceano Atlântico Tropical Ocidental e área sombreada correspondente à área aproximada de influência da pluma do Rio Amazonas (ARP) ao longo do ano. Fonte: Adaptado de Tosseto *et al.* (2022).

#### 4.5.5 Bacias Hidrográficas

Conforme a Resolução nº 32/2003 do Conselho Nacional dos Recursos Hídricos, a área de estudo está inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Araguari, que possui uma área de 36.781,39 km<sup>2</sup> e abrange 13 municípios do estado (Codevasp 2023). Os rios principais dessa bacia são: Araguari, Amapari, Caciporé, Cunani, Flexal, Calçoene e Oiapoque. Dentre esses rios, os que possuem foz na área de estudo são Calçoene, Flexal, Macari e rio Sucuriçu (Figura 18).

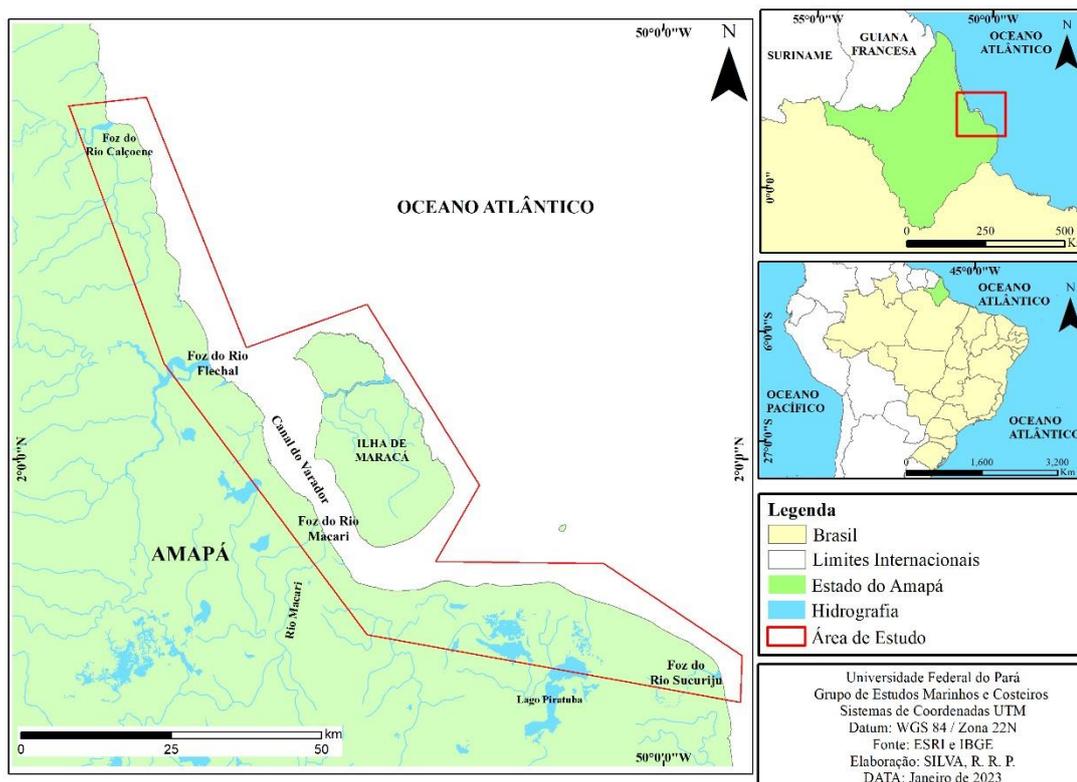


Figura 18- Principais rios do Amapá. Em vermelho a delimitação da área de estudo. Fonte: SEMA/AP (2014).

#### 4.6 ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS

A área de estudo está inserida em 2 municípios do estado do Amapá: Amapá (município de mesmo nome do estado) e Calçoene. Segundo o IBGE (2021) o município do Amapá possui uma área de 9.203,50 km<sup>2</sup>, com população estimada em 9.265 hab. e uma densidade demográfica de < 1 hab/km<sup>2</sup>. Do total da população desse município apenas 8,4% tinham uma ocupação formal até 2019. As principais atividades econômicas desenvolvidas no Amapá giram em torno da pecuária, com ênfase para a criação de búfalos e a pesca (Amapá 2021). O município de Calçoene com área de 14.333 km<sup>2</sup> é habitado por uma população estimada de 11.493 pessoas e densidade demográfica < 1 hab/km<sup>2</sup>. A porcentagem da população com ocupação formal é de 6,1%, o que representa cerca de 680 pessoas. O percentual da população que vive com até 1/2 salário mínimo é de 46% (IBGE 2021). As principais atividades econômicas do município são a agropecuária (criação de bovinos, bubalinos e suínos), pesca, garimpagem e alguns comércios como mercearias e hotéis (Amapá 2021) (Figura 19).

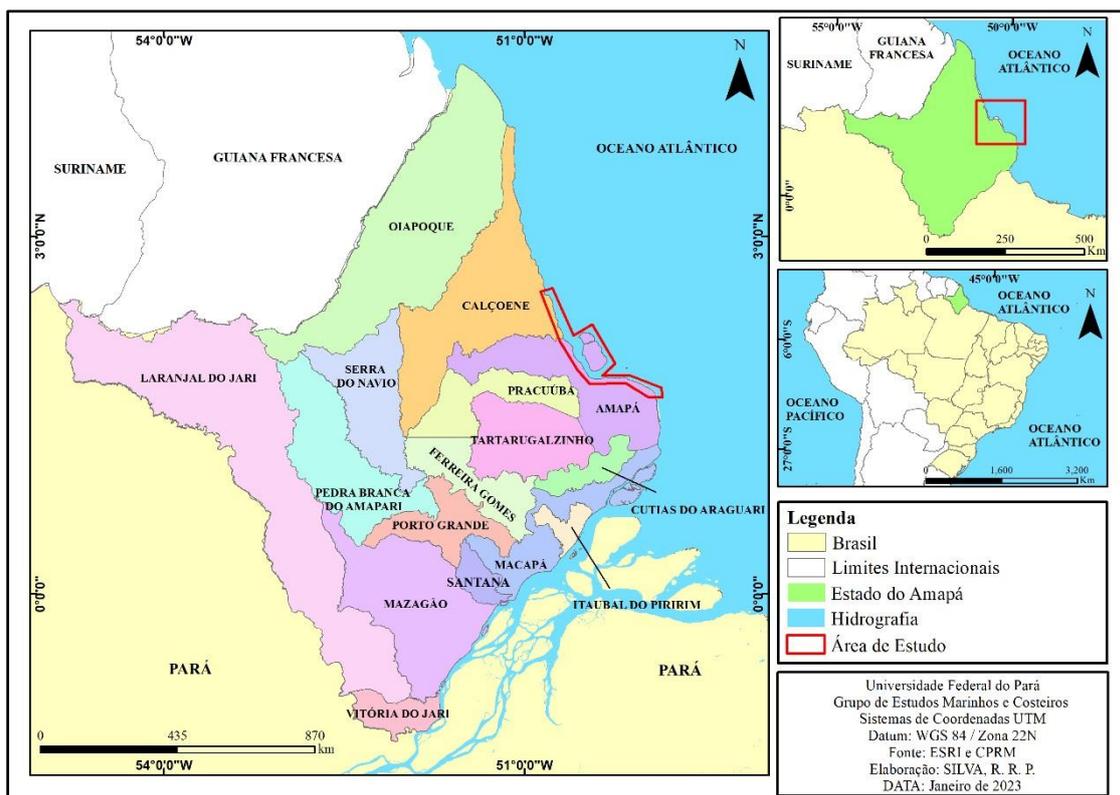


Figura 19- Divisão municipal do estado do Amapá. O quadro vermelho destaca a área de estudo nos municípios de Amapá e Calçoene. Fonte: Autor.

#### 4.7 FLORA E FAUNA

Segundo a classificação da vegetação brasileira do IBGE (2012), o município do Amapá, apresenta as 3 principais formações vegetacionais do estado do Amapá: Formações Florestais, Formações Savânicas ou Cerrado e as Formações Pioneiras. Entre as Formações Pioneiras são encontradas formações pioneiras de influência fluviomarina (manguezais) e de influência fluvial e/ou lacustre (campos de várzea). De acordo com MMA (2017), os manguezais da ZCOEA são os maiores do litoral brasileiro em virtude da grande quantidade de sedimento em suspensão, temperaturas elevadas, grandes amplitudes de maré até 12 m e as principais espécies são o mangue-vermelho *Rhizophora mangle*, a siriúba *Avicennia germinans* e o tinteiro *Laguncularia racemosa*. O mangue do tipo *Avicennia germinans* predomina na costa, enquanto o mangue do tipo *Rhizophora mangle* predominam nas áreas com influência fluvial e estuarinas.

Vale a pena destacar duas regiões elevadas conhecidas como "tesos" dentro da Estação Ecológica Maracá-Jipioca. A primeira está situada ao longo das margens do Canal do Inferno, nas áreas mais elevadas da estação, enquanto a segunda se encontra no centro de Maracá Sul, caracterizada por uma vegetação arbórea-arbustiva (MMA 2017).

Acredita-se que essas áreas, devido à sua localização central originalmente, tenham sido preservadas dos efeitos das marés, o que permitiu a manutenção de uma vegetação florestal semelhante à encontrada no continente, conhecida como floresta de terra firme. Esta floresta é rica em diversidade, abrigando muitas espécies típicas de áreas alagadas, conhecidas como várzea (MMA 2017).

Quanto a fauna da área de estudo, por fazer parte da região amazônica, é bastante diversa. As florestas, os manguezais e os rios são habitats de uma rica biodiversidade que se apresenta em um grande número de anfíbios como sapos, rãs e pererecas; peixes como pirarucu, tucunaré, pescada amarela, pirapema, bagre, etc.; répteis como jacaré-açu, jacaretinga, jacaré-coroa, perema, muçunã, tracajá, jabuti-machado, surucucu, sucuri, etc.; pequenos e médios mamíferos como sagui, macaco-prego, macaco-aranha, paca e – devido grande extensão de terras contínuas e baixa densidade demográfica que permite maior conservação da ZCOEA – mamíferos de grande porte como antas, capivaras, onças-pardas e onças-pintadas, sendo estas últimas bastante comuns na ESEC, além de uma grande quantidade de aves endêmicas da região amazônica e espécies neárticas, ou seja, que migram para a região durante seus períodos não reprodutivos como o falcão-peregrino, águia-pescadora e a andorinha-de-bando (Valente *et al.* 2011, MMA 2017). A figura 20 mostra um mosaico com imagens da flora e fauna da região:



Figura 20- A) Gurijuba; B) Vista área da Canal do Inferno e da vegetação de mangue em suas margens; C) Papagaio-campeiro; D) Onça-pintada; E) Búfalo Asselvajado na ESEC Maracá-Jipioca: Fonte: Acervo de Andre Dib e Girlan Dias.

## 4.8 ASPECTOS AMBIENTAIS

### **Estação Ecológica Maracá-Jipióca**

A Estação Ecológica Maracá-Jipióca (EEMJ), foi criada em 2 de junho de 1981, pelo decreto nº 86.061 (Anexo 1) localizada na ZCOEA (município do Amapá), possui uma área de 720 km<sup>2</sup> com 3 ilhas: Maracá Norte, Maracá Sul e Jipióca. A EEMJ é separada do continente pelo canal do Varador, com largura de 6 km. Entre Maracá Norte e Maracá Sul também existe um canal que separa as ilhas (Igarapé do Inferno), onde ocorre a hipermaré (até 12 m). Já as correntes de maré podem atingir a velocidade de até 200 cm.s<sup>-1</sup> (Torres *et al.* 2018). Nesta Estação Ecológica (ESEC) predominam manguezal e vegetação associada a campos inundáveis, que por muitos anos foram utilizados para a prática da bubalinocultura extensiva. As principais espécies vegetais são a aninga (*Montrichardia arborescens*), tiriricão (*Scleria* sp.), buriti (*Mauritia flexuosa*), piri (*Cyperus giganteus*), em áreas baixas e inundáveis; os mururés (*Eichornia* spp., *Pistia* sp. e *Cabomba* sp.), nas áreas alagadas; e as canaranas (*Echinochloa* sp.), capim-rabo-de-burro (*Andropogon* sp. e *Himenache* sp.), capim-serra-perna (*Laercia* sp.) e capim-arroz (*Oryza perennis*), nos solos mais firmes (Leite *et al.* 1974).

A bubalinocultura teve seu início no estado do Amapá nos anos 1950. Esta atividade econômica foi favorecida pelas características naturais dos búfalos (*Bubalus bubalis*) em relação a sua rusticidade, resistência a doenças, manejo simplificado e adaptação a ambientes inundáveis. A implantação do Programa de Desenvolvimento da Bubalinocultura, também contribuiu para incentivar o desenvolvimento desta atividade no estado (EMBRAPA 2007). Neste cenário, fazendeiros levaram diversos búfalos para a ilha de Maracá, haja vista que as condições locais eram bastante favoráveis (vasta extensão de pastos e campos inundáveis), no entanto, quando ocorreu a implantação da EEMJ, os fazendeiros tiveram que deixar o local, deixando alguns búfalos, que se asselvajaram e multiplicaram-se, principalmente na ilha de Maracá Sul, totalizando atualmente mais de 600 animais (Monteiro 2009).

Os búfalos são da raça Carabão, que está em extinção no Brasil. No entanto, esta população de búfalos tem causado sérios problemas ambientais na região em virtude desses animais terem o costume de fazer buracos no solo para criarem poças de lama, nas quais eles entram para aliviar o calor e se livrarem de parasitas. Essa prática de escavação de buracos cria canais que aceleram o processo de drenagem de lagos e assoreamento de rios além de propiciar

a invasão de espécies vegetais que prejudicam a pastagem nativa (Monteiro 2009). Além desse problema de criação de buracos, o pisoteio constante desses animais pesados (pesando até 800 kg) também agride o ambiente, pois causam alterações nas camadas superiores do solo, como compactação e até mesmo modificações na composição das espécies vegetais.

Outro impacto ambiental causado pelos búfalos é relativo à migração dos animais na ilha de Maracá Sul (Monteiro 2009). Durante o inverno eles se concentram mais no centro da ilha, todavia durante o verão, quando a disponibilidade de pastagem diminui, eles seguem em direção ao mar em busca de maiores ofertas de alimento. Esta migração causa poluição da água por conta do aumento das fezes e urina desses animais nos corpos hídricos, além de aumentar a turbidez e diminuir o oxigênio da água. Essas alterações no ambiente podem diminuir a quantidade e qualidade do pescado, prejudicar a biodiversidade, bem como gerar doenças de veiculação hídrica.

## **5 OBJETIVOS**

### **5.1 OBJETIVO GERAL:**

Analisar a variação multitemporal (1991 - 2021) da LC na ZCOEA no trecho entre a Foz dos estuários dos rios Calçoene e ao Cabo Norte – Amapá.

### **5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- (a) Identificar as áreas em erosão e acreção;
- (b) Quantificar as áreas em erosão e acreção em superfície (m<sup>2</sup>) e linear (m);
- (c) Avaliar as taxas de erosão e acreção da LC (m<sup>2</sup>/ano e m/ano);
- (d) Analisar a hidrodinâmica e seus efeitos na evolução da LC.

## 6 METODOLOGIA

A metodologia para a elaboração deste trabalho à nível de mestrado reuniu etapas que abrange leituras teóricas e procedimentos laboratoriais.

### 6.1 LEITURAS BIBLIOGRÁFICAS:

As leituras teóricas sobre a ZC, dinâmica costeira, forçantes, LC, dos processos hidrodinâmicos na ZCOEA e dos impactos na LC desta região foram realizadas, utilizando plataformas de pesquisa como Scielo, entre outras.

### 6.2 PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS:

Os procedimentos laboratoriais ocorreram através da aplicação de técnicas de geoprocessamento para analisar a variação da LC. Esta etapa do trabalho compreendeu os seguintes procedimentos: a aquisição das imagens do satélite LANDSAT, o tratamento das imagens, identificação do erro acumulativo das imagens, vetorização da LC, análise comparativa das imagens e confecção de mapas temáticos.

#### 6.2.1 Aquisição de Imagens de Satélite:

Foram adquiridas 5 imagens orbitais do satélite LANDSAT (disponíveis gratuitamente no sítio *online* GloVis USGS – *United States Geological Survey – Earth Explorer<sup>1</sup>*) com intervalo de 26 anos entre a mais antiga e a mais nova. O critério para escolha das imagens foi a menor quantidade de nuvens possível para propiciar melhor visualização da LC, filtrando apenas resultados com no máximo 20% de nuvens. Dessa forma foram escolhidas imagens dos anos de 1991, 2001, 2008, 2014 e de 2021. Observe os demais dados das imagens no quadro 2 abaixo:

Ano da Imagem	Satélite	Sensor	Órbita Ponto	Data de Aquisição	Resolução Espacial	Bandas	Horário de Captura
1991	Landsat 5	TM	225059	18/11/1991	30 m	5, 4, 3	12:58
2000	Landsat 5	TM	225059	09/10/2000	30 m	5, 4, 3	13:13
2008	Landsat 5	TM	225059	28/08/2008	30 m	5, 4, 3	13:20
2014	Landsat 8	OLI	225059	03/12/2014	30 m	6, 5, 4	13:34
2021	Landsat 8	OLI	225059	01/09/2021	30 m	6, 5, 4	13:34

Quadro 2- Dados das imagens utilizadas nesta pesquisa. Fonte: Autor.

<sup>1</sup> Endereço eletrônico: <https://glovis.usgs.gov>

## 6.2.2 Tratamento das Imagens de Satélite:

Após aquisição das imagens orbitais, as mesmas passaram por um tratamento no *Software Arcmap* 10.8 para realização da composição das bandas espectrais das imagens para assim proporcionar uma melhor visualização das imagens com cores mais próximas da realidade. As ferramentas utilizadas para o tratamento foram: “*Composite Bands*”, para compor as bandas espectrais criando uma nova imagem; e o “*Image Analysis*”, para criar um recorte da imagem destacando apenas a área de estudo (Figuras 21, 22 e 23).

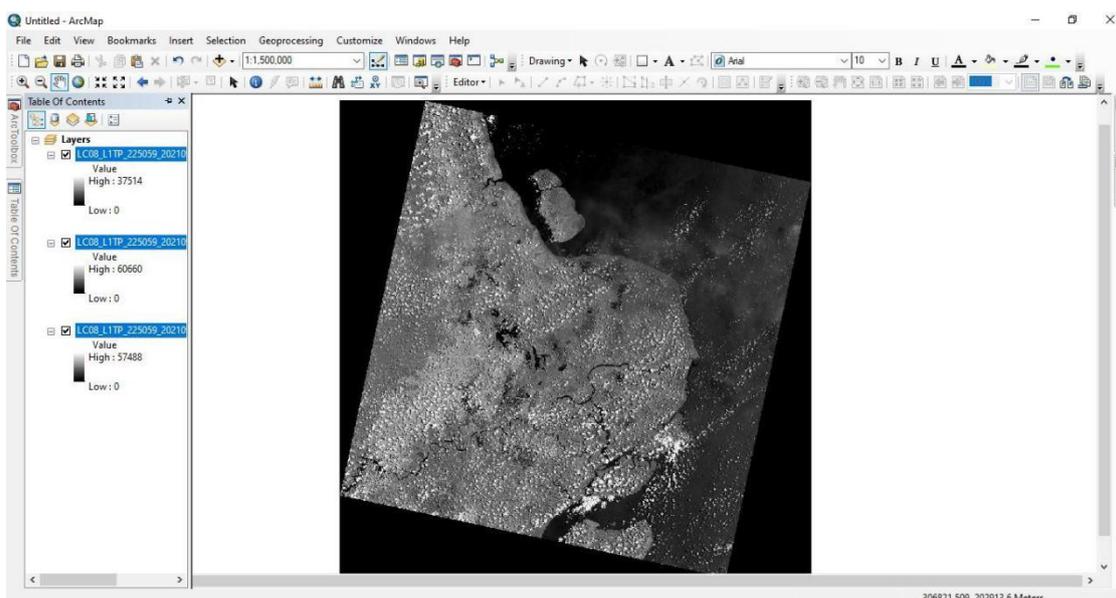


Figura 21- Imagem de satélite LANDSAT da parte leste da costa do Amapá, sem tratamento (01/09/2021 às 13:34). Fonte: Acervo do autor.

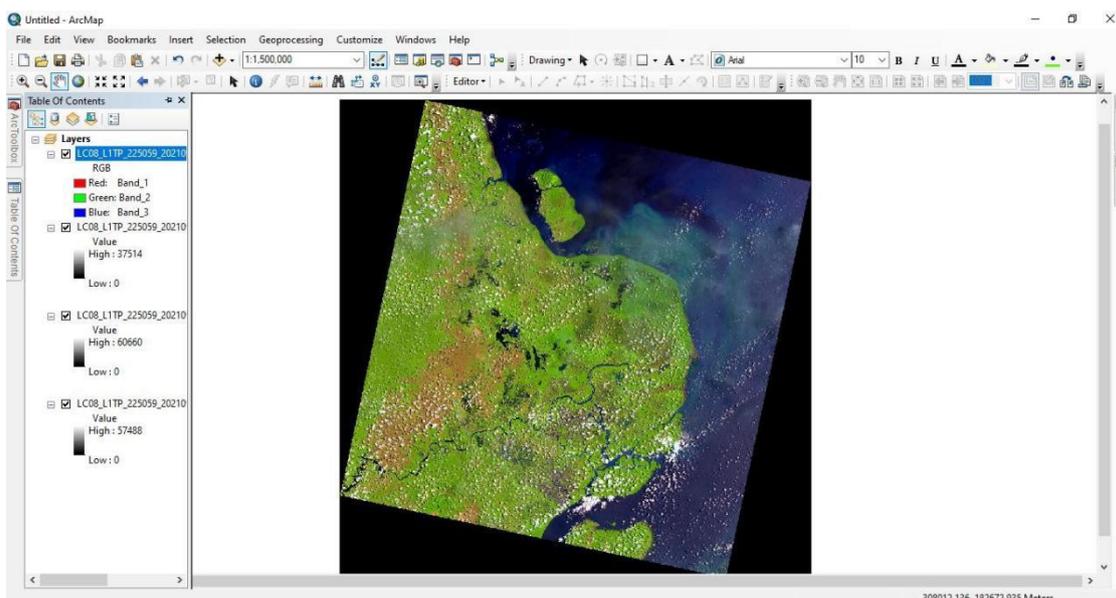


Figura 22- Imagem de satélite LANDSAT da parte leste da costa do Amapá após tratamento com composição de bandas espectrais (01/09/2021 às 13:35). Fonte: Acervo do autor.

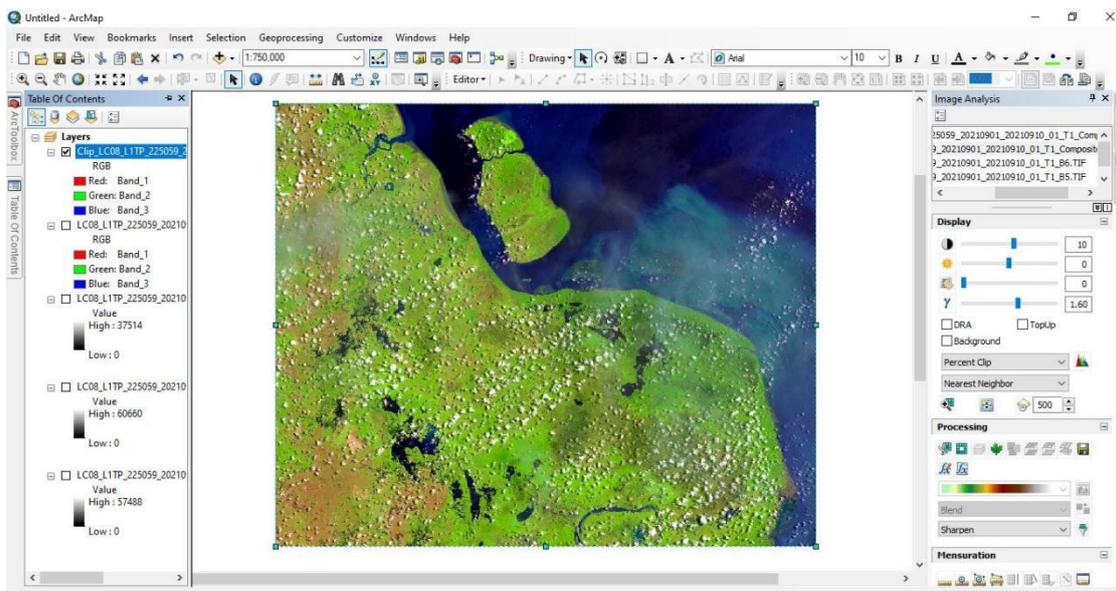


Figura 23- Imagem de satélite LANDSAT da parte leste da costa do Amapá, recortada para destaque da área de estudo (01/09/2021 às 13:38). Fonte: Acervo do autor.

### 6.2.3 Identificação do erro dos pontos de controle e erro geométrico acumulativo.

As imagens do satélite LANDSAT da USGS já descrevem em seus metadados o erro geométrico linear, no entanto é necessário calcular o erro acumulativo linear e areolar entre as 5 imagens. Esse procedimento foi realizado através da média dos erros geométricos lineares destas imagens. De posse desse valor (14 m), foi possível calcular erro acumulativo areolar destas imagens LANDSAT (422 m<sup>2</sup>), para tanto, é necessário fazer a regra de 3 (Figura 24) em cada imagem e depois calcular a média das 5 imagens:

<p>1 Pixel ----- 30 m</p> <p>X Pixel ----- Erro Geométrico Linear</p> <p>X Pixel = Erro Geométrico por área</p>
<p>1 Pixel ----- 900 m<sup>2</sup></p> <p>Erro Geométrico ----- X m<sup>2</sup> por área</p> <p>X = Valor do Erro Geométrico Areolar</p>

Figura 24- Representação do cálculo do Erro Geométrico Areolar das imagens LANDSAT. Fonte: Autor

Essa etapa é muito importante na metodologia do trabalho, pois é a definição dos erros acumulativos das imagens que dão a confiabilidade aos resultados gerados, haja vista que foram estabelecidas margens para mais ou para menos em relação aos resultados.

#### 6.2.4 Vetorização da LC

O procedimento de vetorização da LC da área de estudo foi feito em cada imagem através da criação de um *shape* do tipo linha – utilizando a ferramenta *Windows Catalog* - que foi vetorizado sobre o contato do mangue com a linha d'água ou com as feições costeiras existentes na área de estudo. A escolha da linha de vegetação de mangue como principal tipo de LC do presente estudo foi motivada por ser uma feição facilmente reconhecível nas imagens do satélite LANDSAT que são de média resolução, assim como a linha de vegetação de mangue tende de sofrer menor interferência das marés, portanto é uma feição mais estável no tempo e no espaço para o observador. As figuras 25 e 26 mostram o processo de vetorização nas imagens do satélite LANDSAT, utilizando exemplo do estudo realizado por França *et al.* (2018) na parte oeste da ilha de Mosqueiro:

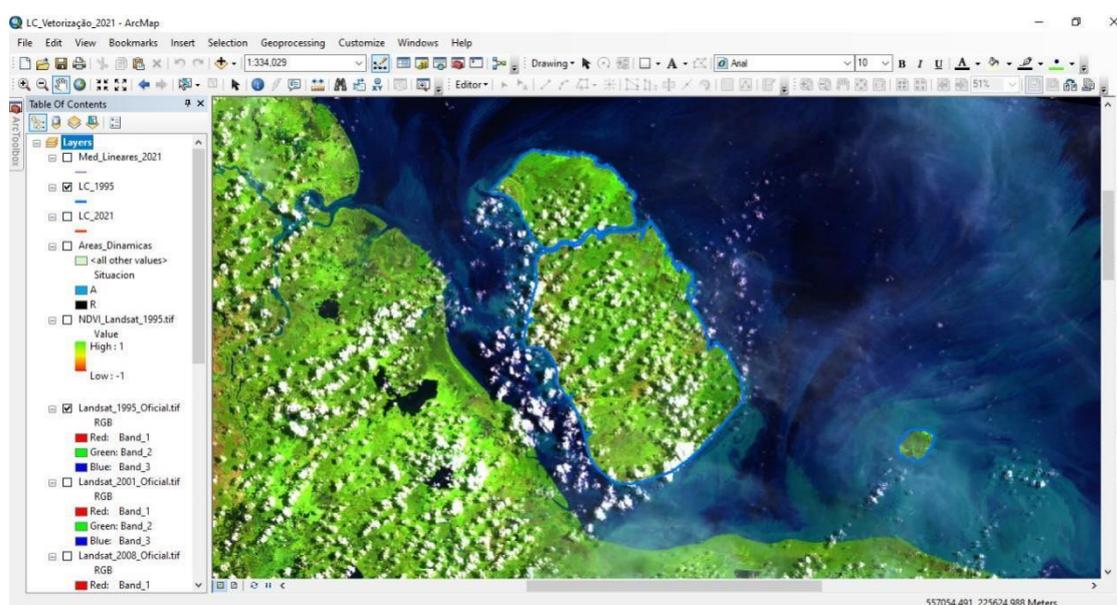


Figura 25- Vetorização da LC na imagem LANDSAT 5 TM de 1991, na EEMJ, Amapá. Fonte: Acervo do autor.

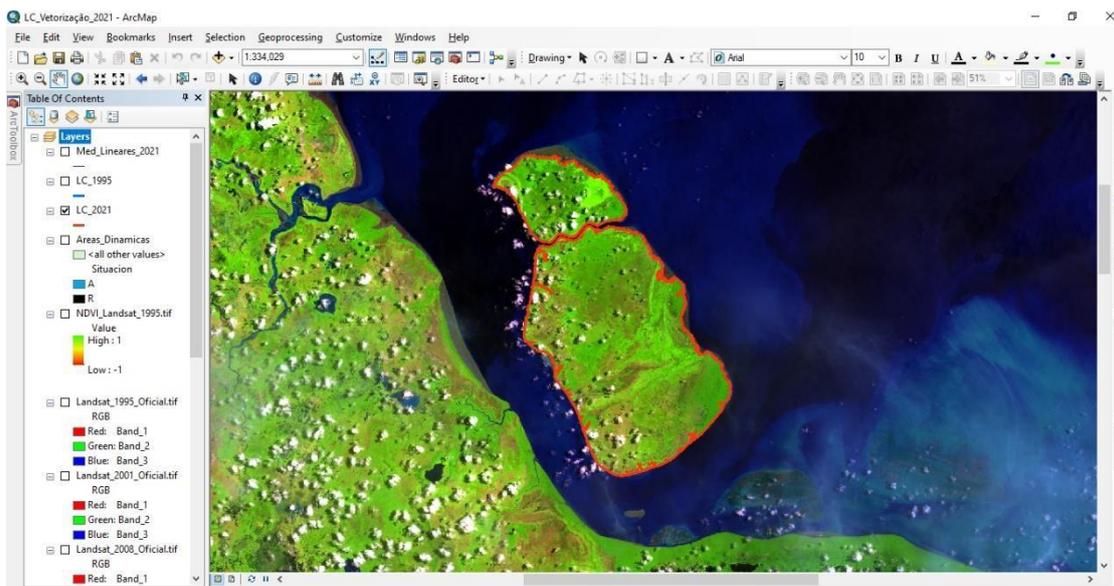


Figura 26- Vetorização da LC na imagem LANDSAT 8 OLI de 2021, na EEMJ, Amapá. Fonte: Acervo do autor.

### 6.2.5 Análise Comparativa das Imagens de Satélite:

Neste procedimento foi feita a sobreposição dos vetores de LC das 5 imagens em apenas uma das imagens para que seja possível comparar a posição da LC e quantificar a variação ao longo dos 26 anos. A figura 27 mostra a sobreposição de vetores na imagem mais recente:

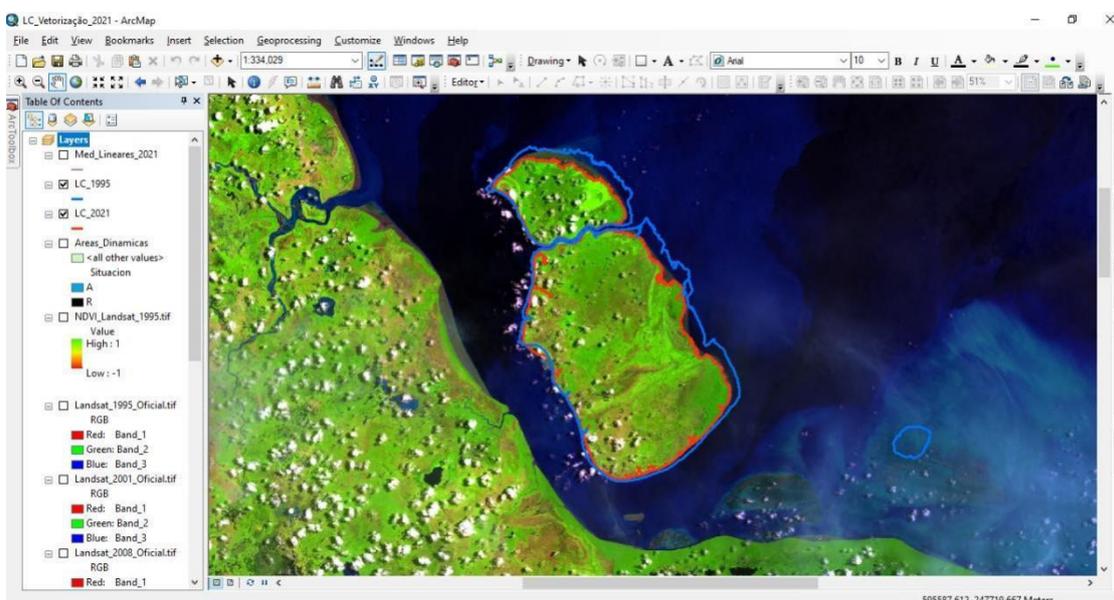


Figura 27: Sobreposição dos vetores 1991 e 2021 da LC sobre a imagem LANDSAT 8 OLI de 2021, na Estação Ecológica Maracá-Jipioca, Amapá. Fonte: Acervo do autor.

Nesse procedimento foi possível destacar as áreas em acreção e/ou erosão/recuo da LC através da medição da variação da distância entre os vetores de cada imagem. Para melhor

analisar e visualizar essas medidas, são criadas linhas transversais às LC e polígonos entre elas para expressar essa variação, desconsiderando valores de linhas e polígonos iguais ou menores que aos erros geométricos lineares e areolares acumulativos. A figura 28 demonstra as áreas dinâmicas da LC da área estudada sem a imagem de satélite para maior destaque:

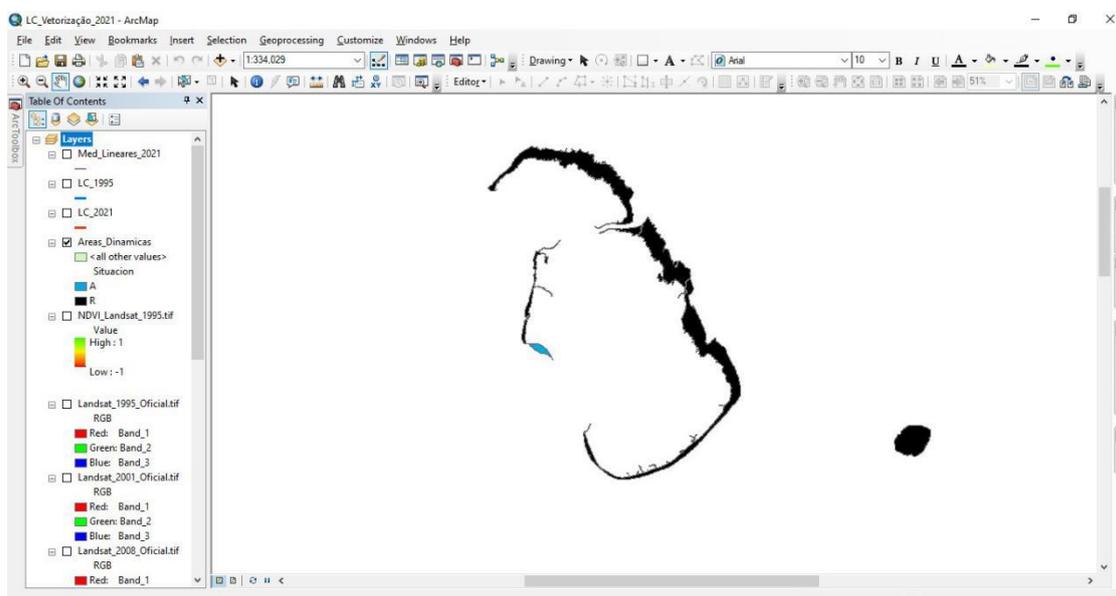


Figura 28- Polígonos representando as áreas de acreção (azul) e de erosão/recuo (preto) da LC entre anos de 1991 e 2021, Estação Ecológica Maracá-Jipioca, Amapá. Fonte: Acervo do autor.

### 6.2.6 Quantificação de medidas lineares de avanço e recuo da LC e de áreas de acreção e erosão/recuo:

Primeiramente, para quantificar as áreas em acreção e em erosão foram criados *shapes* do tipo polígonos no *software Arcmap* 10.8 para delimitar a área dinâmica entre a LC mais antiga (1991) e a mais recente (2021). Posteriormente, foram acessadas as propriedades da tabela de atributos desses *shapes* e executada a função “*Statistics*” que proporciona todos os valores estatísticos dos polígonos.

Para realizar uma quantificação mais completa, foi utilizado o *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)*, uma extensão do *software Arcmap* adquirida que calcula estatísticas de taxa de mudança para uma série temporal de dados vetoriais da linha costeira (Himmelstoss *et al.* 2018, Toure *et al.* 2019). A versão utilizada do DSAS é a mais recente disponível (v5.0). Utilizando as LCs de todos os anos de análise da área de estudo o DSAS cria uma série de parâmetros quantitativos de variação da LC, com base na geração de transectos ortogonais que atravessam todas as LCs, partindo de uma linha de referência denominada de “*baseline*” que pode ser colocada no continente antes das LCs (*onshore*) ou no oceano após as LCs (*offshore*).

A escolha da posição da *baseline* em muitos casos depende de qual forma o *software* processa mais adequadamente a criação dos transectos. A distância de um transecto para o outro também é definida pelo usuário buscando sempre o maior número de dados para a quantificação e a melhor visualização dos transectos, de acordo com o tamanho da área de estudo, ou seja, buscou-se o maior número de transectos possíveis de tal forma que a visualização dos mesmos ficasse adequada nos mapas de apresentação dos parâmetros. Observe no quadro 3 os parâmetros de análise gerados pelo DSAS:

<b>PARÂMETROS DO DSAS</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
SCE ( <i>Shoreline Change Envelope</i> )	Descreve a distância (m) entre os extremos das linhas de costa (recoo e avanço). Representa o movimento total da costa, não leva em consideração as datas. (SCE+ leva em consideração a imprecisão da linha).
NSM ( <i>Net Shoreline Movement</i> )	Mostra a distância (m) entre as LC's mais recentes e mais antigas (NSM+ leva em consideração a imprecisão da linha).
EPR ( <i>End Point Rate</i> )	Determina a taxa de variação da LC por simples razão de distância (m) por tempo das datas das linhas pela distância referida. É o NSM dividido pelo tempo de análise.
LRR ( <i>Linear Regression Rate-of Change</i> )	Mostra uma regressão linear da taxa de variação entre as LCs mais distante uma da outra, sem considerar a ano de cada uma.
JKR ou método <i>Jackknife</i>	Calcula uma regressão linear entre todas as possíveis variações da LC.
WRL ( <i>Weighted Linear Regression</i> )	Calcula uma regressão entre as LC com peso associado às imprecisões de posição.

Quadro 3- Parâmetros quantitativos disponíveis no DSAS, destacando em cinza os parâmetros que foram utilizados neste trabalho. Fonte: Conti & Rodrigues, 2011.

#### 6.2.7 Confeção dos mapas temáticos:

A última etapa dos procedimentos de laboratório foi a confecção de mapas temáticos para expor a variação multitemporal (1991 e 2021) da LC. Esse procedimento, assim como todos os procedimentos dos tópicos 6.2.2 ao 6.2.7, foi realizado no *software ArcMap* 10.8 através da seleção e organização dos dados gerados para e exposição em produtos cartográficos de fácil entendimento para o leitor. Foram 10 mapas desenvolvidos: mapa de localização geral da área de estudo, de localização da ESEC, político do estado do Amapá, de geologia da área de estudo,

de hidrografia da área de estudo, de poligonalização geral da área de estudo, de poligonalização da ESEC, de apresentação dos parâmetros do DSAS para o setor Cabo-Norte, do setor Amapá-Calçoene e de variação da LC na ESEC.

## 7 CONCLUSÕES GERAIS

A análise da LC ao longo do tempo é essencial para a compreensão da dinâmica costeira. Através do SR, geoprocessamento, especialmente quando empregado junto ao DSAS, obtêm-se dados valiosos da variação da LC, contribuindo para tomadas de decisão no gerenciamento costeiro, visando a conservação das ZC's e, particularmente, de Unidades de Conservação.

Nas últimas três décadas (1991-2021), a análise da ZCOEA revela um quadro predominante de erosão, principalmente no setor Cabo Norte (Leste), onde praticamente 100% da área foi afetada e no setor Externo da EEMJ. Este cenário é impulsionado por diversas forças físicas, com destaque para as marés (macro e hipermaré), correntes de maré, correntes longitudinais e ventos (alísios de nordeste), que mobilizam os sedimentos na área.

No ZCOEA a erosão atingiu 98,4% da extensão do setor Cabo Norte, com taxas de recuo de -439,52 m (NSM), -14,75 m/ano (EPR) e -14,70 m/ano (LRR). No Setor Amapá-Calçoene, a erosão afetou 80% da extensão, com taxas de -279,28 m (NSM), -9,37 m/ano (EPR) e -9,11 m/ano (LRR). Na EEMJ, a erosão afetou uma área de 83.87 km<sup>2</sup>, correspondendo a 97% da dinâmica da região. O recuo médio da LC foi de 526 m e taxa de 18 m/ano. O setor Externo da EEMJ representa cerca de 90% de toda a erosão da ilha, abrangendo área de 74.97 km<sup>2</sup>, sem nenhuma área de acreção. O recuo da LC nesse setor foi de aproximadamente 1131.5 m e taxa de 37.72 m/ano. Apenas no setor Interno foi identificada acreção inferior a 1,3 km<sup>2</sup>. Todavia, o recuo da LC nesse setor foi de 173.4 m com média em torno de 5.8 m/ano, erodindo uma área de 5.7 km<sup>2</sup>.

A ZCOEA, em especial a EEMJ são áreas de inestimável importância para a biodiversidade, abrigando uma variedade de espécies ameaçadas, endêmicas e cruciais para o equilíbrio dos ecossistemas. Diante do expressivo processo de erosão, com algumas áreas projetando perda substancial – como a EEMJ que pode sumir nos próximos 150 anos –, a necessidade de monitoramento contínuo se torna evidente. As previsões para a ZCOEA indicam desafios preocupantes, ressaltando a importância de ações de gerenciamento costeiro voltadas para garantir a proteção desse rico e diverso refúgio e laboratório natural.

## REFERÊNCIAS

- Amanajás J.C. & Braga C. C. 2012. Padrões espaço-temporal pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando análise multivariada. *Revista Brasileira de Meteorologia*, **27**:423-434.
- Amapá. 2021. *Portal do Estado do Amapá. Conheça o Amapá*. Disponível em: <https://www.portal.ap.gov.br/conheca/amapa>. Acesso em: out. de 2021.
- Baía L.B., Ranieri L.A., Rosário R. P. 2021. Análise multitemporal da variação da linha de Costa em praias estuarinas do Nordeste do Pará. *Geociências*, **40**(1):231–244. DOI: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v40i1.13470>.
- Bandeira I. C. N., Conceição R. A. C., Andrade M. M. N., Teixeira S. G., Fonseca D. D. F., Lima J. B. M., Azambuja A. M. S., Gregorio A. M. S., Miyagawa L. J. P. P., S. T. T., Aguiar P. A. P. 2021. Fluvial erosion risk analysis: an Amazon study case. *Revista Geonorte*, **12**(39):01-25. DOI: <https://doi.org/10.21170/geonorte.2021.V.12.N.39.01.25>.
- Batista E.M., Souza Filho P.W.M. e, Silveira O.F.M. 2009. Avaliação de áreas deposicionais e erosivas em cabos lamosos da zona costeira amazônica através da análise multitemporal de imagens de sensores remotos. *Revista Brasileira de Geofísica*, São Paulo, **27**(1):8396. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-261X2009000500007>.
- Boak E.H. & Turner I.L. 2005. Shoreline definition and detection: a review. *Journal of Coastal Research*, **214**:688-703. DOI: <http://dx.doi.org/10.2112/03-0071.1>.
- Boaventura F.M.C. & Narita C. 1974. Geomorfologia da Folha NA/NB. 22 – Macapá. In: Brasil. Departamento nacional da produção mineral. *Folha NA/NB.22 – Macapá: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra*. Projeto RADAM/BRASIL. Rio de Janeiro: Projeto RADAM, p. IV-I-IV/84 (Levantamento de Recursos Naturais, 6).
- Braga C.A. 2019. *Análise das variações da linha de costa na ilha de Mosqueiro-Pa ao longo de 17 anos*. MS Dissertation, Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia, Programa de Pós-Graduação em Gestão de Risco e Desastres Naturais na Amazônia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 89p.
- Braga R.C. 2019. *Vulnerabilidade Socioambiental diante da ação do mar na Zona Costeira de Salinópolis-Pará-Amazônia*. PhD Theses, Ciências Ambientais, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 169p.
- Braga R.C. & Pimentel M.A.S. 2019. Índice de vulnerabilidade diante da variação do nível do mar na Amazônia: estudo de caso no município de Salinópolis-Pará. *Revista Brasileira de Geografia Física*, **12**(02):534-561. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.2.p534561>.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. 2002. *Projeto orla: projeto de gestão da orla marítima*. Brasília, DF, MP/SPU, 78p.
- Buzard R.M., Curran J.C., Wells C.A., Barbee M.M., Swanson T., Hubbard T.D. 2023. Barrier island reconfiguration leads to rapid erosion and relocation of a rural alaska community. *Journal of Coastal Research*, **39**(4): DOI: <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-22-00093.1>.
- Camara G., Davis C., Monteiro A.M.V. 2001. *Introdução à ciência da geoinformação*. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>. Acesso em: jan. de 2023.
- Capron I., Baptista, A.M., Moura, D., Costa, A.C. 2020. Erosion of tidal creeks on a macrotidal coast: understanding local and landscape drivers. *Geomorphology, Amsterdam*, **370**:107422.

- Carneiro A.G. 2020. *Distorção não linear e assimetria de maré em um sistema costeiro amazônico de hipermaré*. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Programa de Pós-Graduação em Geofísica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 98p.
- Carvalho M.Â.V. & Oyama M.D. 2013. Variabilidade da largura e intensidade da Zona de Convergência Intertropical Atlântica: aspectos observacionais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, **28**(3):305-316. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S010277862013000300007&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010277862013000300007&lng=pt&tlng=pt). Acesso em: dez. 2022.
- Centro de Hidrografia da Marinha (CHM). 2023. Acesso aos dados e produtos. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/chm/bndo/aceso>. Acesso em: fev. de 2023.
- Chen X., Wang G., Tao J., Wang W., Zhang M. 2021. Interaction between meandering and bank erosion in a river bend. *Geomorphology*, Amsterdam, **392**:107874.
- Conti L.A. 2019. Coastline changes near the “Maranhão - Ponta da Madeira” port complex, Brazil. *Journal of Integrated Coastal Zone Management / Revista de Gestão Costeira Integrada*, **19**(2):71-84. DOI: 10.5894/rgci-n175.
- 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*, Recife, **5**:922-937. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v4i5.232745>.
- Crosby B.R., Edwards M.E., Anderson R.S. 2021. The influence of hydrological processes on channel head erosion rates in glaciated valleys. *Earth Surface Processes and Landforms*, Chichester, **46**(4):811-824.
- Dias G.T.M. 2018. Introdução. In: Muehe, Dieter (Org.). *Panorama de erosão costeira no Brasil*. Brasília, DF: MMA, 15-18. ISBN: 978-85-7738-394-8 (online).
- Dias V. de S., Faria K.M.S., Luz M.P., Formiga K.T.M. 2022. Investigation and quantification of erosions in the margins of water bodies: a systematic review. *Water*, **14**(11):1693–1693. <https://doi.org/10.3390/w14111693>
- Null J.C.C. 2018. El Niño and La Niña years and intensities. Golden Gate Weather Services. Disponível em: <https://ggweather.com/enso/oni.htm>. Acesso em: jun. de 2022.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). 2022. LANDSAT - Land remote sensing satellite. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/landsat>. Acesso em: set. de 2022.
- Fabin C.E.G.S.O. 2018. *Balanço sedimentar da baía de Suape/PE entre os anos de 1994 e 2007: consequências ambientais*. Dissertação (Mestrado em Geociências) Pós-Graduação em Geociência, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 146p.
- Fernández-Raga M., Taboada-Castro M.T., Matías J.M., Souto M., Gómez-Gesteira M., Vallejos, Á. 2021. Impact of rainfall intensity and land use on soil erosion in a small agricultural catchment in NW Spain. *Journal of Soils and Sediments, Heidelberg*, **21**(4):1814-1824.
- Ferreira L.M. 2017. Verificação de limites. *Processo N°. 02070018009/2016-44. Nota Técnica N°. 43/2016*. Solicita análise e encaminhamento de retificação nos limites da Estação Ecológica de Maracá-Jipioca. Coordenação de elaboração e revisão do plano de manejo (COMAN)/Coordenação geral de criação e manejo de unidades de conservação (CGCAP)/Diretoria de criação e manejo de unidades de conservação (DIMAN)/Instituto Chico Mendes para a Conservação da Biodiversidade (ICMBio). Brasília, DF. 3p.

- França C.F., Silva R.R.P., Ferreira Júnior J.L.A., Araújo F.A. 2020. Erosão da orla costeira Grande-Bispo, ilha de Mosqueiro, Belém-PA, através da análise de indicadores. *Geografia Ensino & Pesquisa*, Santa Maria, **24**:20. DOI: <https://doi.org/10.5902/2236499433940>.
- França C.F., Sousa Filho P.W.M. 2003. Análise das Mudanças Morfológicas Costeiras de Médio Período na Margem Leste da Ilha De Marajó (Pa) em Imagem Landsat. *Revista Brasileira de Geociências*, Paraná, **33**(2):27-136.
- Freitas A., Achete F., Vinzón F.B. 2020. Characterization of the coastal environment as a baseline for alternative tourism segments development in Salinópolis, Pará. *World*, Basel, **1**:227-238. DOI: <https://doi.org/10.3390/world1030017>.
- Guimarães D.K.M. 2022. *Detecção das mudanças costeiras na margem leste do estuário do rio Pará: uma análise multitemporal (1987-2019) utilizando sensoriamento remoto*. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) - Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 99p.
- Guo J., Deng Z., Liu B., Wang X., Zhao X., Song L. 2021. Simulation of an aeolian erosion hazard prediction model for the Taklimakan desert. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, Washington, D.C., **126**(1):e2020JF005717.
- Himmelstoss E.A., Kranz W., & Thieler E.R. 2018. Digital shoreline analysis system (DSAS) version 5.0 user guide. U.S. *Geological Survey Open-File Report*, **1179**. DOI: <https://doi.org/10.3133/ofr20181179>.
- Hübner J.C., Veiga K.R. Longaray A.S., Tretin G., Caldasso L.P., Umpierre M.B., Walter T. 2020. Conflitos ambientais relacionados à pesca artesanal na zona costeira brasileira. *Arquivo de Ciências do Mar*, Fortaleza, **53**(Especial):43-51. DOI: <https://doi.org/10.32360/acmar.v53iEspecial.42686>.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Municípios do Amapá*. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ap/amapa/panorama>. Acesso em: out. de 2021.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Municípios do Amapá*. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ap/calcoene/panorama>. Acesso em: out. de 2021.
- Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). *Banco de dados meteorológicos do INMET*. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/#>. Acesso em: mar. de 2023.
- Johns E.M., Muhling B.A., Perez R.C., Müller-Karger F. E., Melo N., Smith R.H., Lamkin J.T., Gerard T.L. Malca E. 2014. Amazon river water in the northeastern Caribbean Sea and its effect on larval reef fish assemblages during april 2009. *Fisheries Oceanography*. **23**:472–494.
- Rodrigues T.K., Pereira D.A.S., Feitosa E.S. dos S., Jesus L.V.de, Silva M. G. Andrade A.C. da S., Domingues J.A.L., Lavenère-Wanderley A.A.de O. 2015. Comportamento da linha de costa e ocupação humana na Atalaia Velha e no Mosqueiro, Aracaju, SE. *Scientia Plena*, **11**(3). Disponível em: <https://www.scientiaplena.org.br/sp/article/view/2048>. Acesso em: 10 jul. 2023.
- Latrubesse E.M., Arima E.Y., Dunne T., Park E., Baker V.R., d’Orta M.F., Wittmann F., Zuanon J., Baker P. A., Ribas C.C., Norgaard R.B., Filizola N., Ansar A., Flyvbjerg B., Stevaux J.C. 2017. Damming the rivers of the Amazon basin. *Nature Publishing Group*, **546**(7658):363-369. DOI: 10.1038/nature22333.
- Matos A.P. de & Cohen J.C.P. 2016. Circulação de brisa fluvial e a banda de precipitação na margem leste da baía de Marajó. *Ciência e Natura*, **38**(21). Disponível em: <http://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/19814>. Acesso em: dez. 2022.

- Meneses P.R. & Almeida T. 2012. *Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto*. UnB-CNPq. Brasília. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/mod/resource/view.php?id=3072510&forceview=1>. Acesso em: jan. de 2023.
- Menezes A.F., Pereira P.S., Gonçalves R. M., Araújo T. C. M., Sousa P. H. G. O. 2018. Análise da vulnerabilidade à erosão costeira através de geoindicadores nas praias de Piedade e Paiva (Pe), Brasil. São Paulo, UNESP, *Geociências*, **37**(2):455-465.
- Menezes R.A.A. 2021. *Evolução multitemporal da linha de costa (1972-2040) do município de Soure, Ilha do Marajó (Amazônia - Brasil)*. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) - Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 146p.
- Ministério do Meio Ambiente (MMA). 2017. Plano de manejo Estação Ecológica de Maracá-Jipioca. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). Brasília, DF, 314p.
- Monteiro F.J.C. 2009. *Impactos ambientais causados pelos búfalos asselvajados nos campos inundáveis da Estação Ecológica De Maracá-Jipioca (Costa Atlântica Do Amapá)*. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical) Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical, Universidade Federal do Amapá, Macapá, 93p.
- Muehe D. & Klumb-Oliveira L. 2014. Deslocamento da linha de costa versus mobilidade praial. *Quaternary and Environmental Geosciences*, **5**(2). DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abequa.v5i2.35884>.
- Muehe D. 2018. Panorama de erosão costeira no Brasil. Brasília, DF: MMA. ISBN: 978-85-7738-394-8 (online).
- Nascimento JR W.R., Souza Filho P.W.M., Proisy C., Lucas R.M., Rosenqvist A. 2013. Mapping changes in the largest continuous Amazonian mangrove belt using object-based classification of multisensor satellite imagery. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **117**:83-93. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2012.10.005>.
- Nittrouer C.A., Rodríguez A.B., Allison M.A., Bianchi T.S., Fasso A., Fitzgerald D.M., Fowler A.M., Gayes P.T., Hellerich L., Martin J.B., Orr M.P., Paez-Reyes M., Rioseco L., Rosenheim B. E., Sanders C. J., Tamayo C. G. 2021. Amazon sediment transport and accumulation along the continuum of mixed fluvial and marine processes. *Annual Review of Marine Science*, **13**(1):501–536. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010816-060457>.
- Paula D.P., Bendô A.R.R., Lima I.F.P., Alves J.W.O. 2016. Mudanças de curto prazo no balanço sedimentar da praia do Icarai (Caucaia, Ceará) durante uma ressaca do mar. *Scientia Plena*, **12**(4). DOI: 10.14808/sci.plena.2016.045301.
- Pereira L.C.C., Sousa-Felix R.C., Costa R.M., Jimenez J.A. 2018. Challenges of the recreational use of Amazon beaches. *Ocean and Coastal Management*, **165**:52-62. DOI:10.1016/j.ocecoaman.2018.08.012.
- Prestes Y.O. 2016. *Interações físicas entre o estuário do rio Pará e a Plataforma Continental no Norte do Brasil*. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) - Curso de Pós-Graduação em Oceanografia, Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 122p.

- Rabelo F.D.B., Silva E.V., Gorayeb A. Geotecnologias na análise da dinâmica costeira do estuário do rio Caeté – Pará. *Paper do NAEA*, **30**(1):530. DOI: <http://dx.doi.org/10.18542/papersnaea.v30i1.11592>.
- Ramos L.R., Molina A.B., Rozane D.E., Silva M.L.N., Franco D.F., Ferreira C.L. 2021. Soil erosion evaluation using rusle and epm in a tropical watershed under a changing climate. *Sustainability*, Basel, **13**(09):5022.
- 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. DOI: <https://doi.org/10.22456/1807-9806.78121>.
- Riquetti N.B., Beskow S., Guo L., Rogério C. 2023. Soil erosion assessment in the Amazon basin in the last 60 years of deforestation. *Environmental Research*, **236**:116846–116846. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116846>
- Rodrigues S.W.P., Souza P.W.M. Filho. 2011. Análise da variação da linha de costa a noroeste do estado do Pará (baía de Curuçá) através de imagens Landsat TM e ETM+ e CBERS 2B. In: 15º Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba. Anais[...]São José dos Campos: INPE, p. 5061-5069. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/displaydoccontent.cgi/dpi.inpe.br/marte/2011/07.25.14.31?closecloseb=yes&languagebutton=pt-BR&displaytype=FileList>. Acesso em: jan. de 2022.
- Rollnic M., Borba T.A.C., Mascarenhas A.C.C., Pereira D.R., Pereira L.S., Soares M.L.G., Böck C.S., Santos R.T.F., Assad L.P.F., Landau L., Carvalho G.V. 2020. "Áreas de Estudo", Capítulo 2. In: *Projeto Costa Norte, – Desenvolvimento de metodologias para o entendimento de processos costeiros e estuarinos e da vulnerabilidade de florestas de mangue na Margem Equatorial Brasileira*. **1**. Rio de Janeiro (BR), p. 21-45.
- Ruault V., Jouanno J., Durand F., Chanut J., Benshila, R. 2020. Role of the tide on the structure of the Amazon plume: A numerical modeling approach. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, **125**:e2019JC015495. <https://doi.org/10.1029/2019JC015495>
- Salgado J. B. L. 2021. *Caracterização de balanços sedimentares face a alimentações artificiais: casos de estudo de Aveiro e Figueira da Foz*. Dissertação (Mestrado em Energias Sustentáveis) - Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto 141p.
- Santana, L.O. 2011. *Uso de sensoriamento remoto para identificação e mapeamento do paleodelta do Macarry, Amapá*. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém. 90p.
- Santos V.F., Alberto G., Figueiredo J., Silveira O.F.M., Polidori L., Oliveira D. M., Dias M. B., Martins M.H. de A., Santana L.O. 2005. Processos sedimentares em áreas de macro-marés influenciados pela Pororoca - estuário do rio Araguari-Amapá-Brasil. In: 10º Congresso ABEQUAX Congresso ABEQUA. Disponível em: [https://www.abequa.org.br/trabalhos/0203\\_santos\\_et\\_al\\_pororoca\\_araguari.pdf](https://www.abequa.org.br/trabalhos/0203_santos_et_al_pororoca_araguari.pdf). Acesso em: fev. de 2022.
- Santos V.F., Polidori L., Silveira O.F.M., Figueiredo Jr, A.G. 2009. Aplicação de dados multisensor (Sar E Etm+) no reconhecimento de padrões de uso e ocupação do solo em costas tropicais – Costa Amazônica, Amapá, Brasil. *Revista Brasileira de Geofísica*, São Paulo, **27**:39-55. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-261X2009000500004>.

- Silva M.V., Santos V.F., Silveira O.F.M. 2011. Análise multitemporal de mudanças nas ilhas costeiras do estado do Amapá aplicando dados de sensores remotos. *In: 15º Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Curitiba, PR, Brasil, INPE. *Anais[...]*. p.8614.
- Skinner L. F. 2017. Gerenciamento ambiental marinho. *Diversidade e Gestão*, **1**:145-162. DOI: <https://doi.org/10.29327/538126>.
- Skinner L.F. 2022. Zona marinha e costeira: desafios e potencialidades. *In: Cadei M. S., Aguiar J. G., Oliveira A. L. T. (org.). Sociedade atual e os desafios socioambientais*. Rio de Janeiro, INEA; CEADS/UERJ, p. 152-160. ISBN: 978-85-63884-30-5.
- Sousa-Felix R.C, Pessoa R.M.C., Costa M.R., Jiménez J.A., Pereira L.C.C. 2020. Recreational beach management: a case study from the Amazon Coast. *Journal of Coastal Research*, **95**(sp1):775. DOI: <https://doi.org/10.2112/SI95-151.1>
- Souza C.R.G. 2009. A erosão nas praias do estado de São Paulo: causas, consequências, indicadores de monitoramento e risco. *In: Bononi V.L.R. & Santos Junior N.A. (Org.). Memórias do conselho científico da secretaria do meio ambiente: a síntese de um ano de conhecimento acumulado*. São Paulo: Instituto de Botânica, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, p. 48-69.
- Kim T.-K., Lim C., Lee J.-L. 2021. Vulnerability analysis of episodic beach erosion by applying storm wave scenarios to a shoreline response model. *Frontiers in Marine Science*, **8**.
- Toure S., Diop O., Kpalma K., Maiga A.S. 2019. Shoreline detection using optical remote sensing: a review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, [S. 1.], **8**(2):75. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi8020075>
- Valente R.M., Silva J.M.C., Straube F.C., Nascimento J.L.X. 2011. *Conservação de aves migratórias neárticas no Brasil*. Belém: Conservação Internacional. 400p.
- Wawryk A.D.G., Oespinoza A., Nakagawa M., Alves L.F., Kok J.F., Imai, N. 2020. Topographic steering of aeolian transport over a natural dune. *Geophysical Research Letters*, Washington, D.C., **47**(5):e2020GL087242.

## APÊNDICE A- ARTIGO 1

Artigo Submetido à Revista Brasileira de Geomorfologia em 25 de julho de 2023

### **Mobilidade Recente da Linha de Costa Oceânica do Amapá (trecho Calçoene - Cabo Norte)**

#### **Resumo**

A Costa Oceânica do Amapá é uma área muito dinâmica que sofre interferência de forçantes meteorológica, com clima equatorial semiúmido, índice pluviométrico ( $> 2.600$  mm/ano), ventos (3 a 9 m/s), eventos extremos (El Nino, 1997/1998 e 2015/2016; e La Nina, 1999/2000 e 2010/2011), hidrológicas (descargas hídrica e sólida do rio Amazonas,  $175,000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  e  $1,200$  Mt/ano, respectivamente), e oceanográficas (hipermaré - até 12 m, correntes de maré - 2 m/s, ondas - até 3 m de altura e velocidade de até 3 m/s). Diante disso, a linha de costa (LC) torna-se altamente dinâmica (erosão e/ou acreção). O sensoriamento remoto (SR) e técnicas de geoprocessamento como o DSAS são importantes instrumentos para analisar estas mudanças em escalas multitemporais. Este artigo objetiva analisar a variação multitemporal da LC da Costa Oceânica do Amapá (trecho - foz dos estuários dos rios Calçoene e Sucuriçu), no período de 1991 e 2021. A metodologia do trabalho seguiu o seguinte roteiro: (1) aquisição de 5 imagens do satélite Landsat (1991, 2000, 2008, 2014 e 2021), as quais passaram por vetorização da LC e aplicação do DSAS para quantificar a mobilidade da LC. A área foi subdividida em 2 setores: (1) No Setor Cabo Norte, a erosão atingiu 98,4% da extensão, com taxas de recuo de -439,52 metros (NSM), -14,75 metros/ano (EPR) e -14,70 metros/ano (LRR). (2) No Setor Amapá-Calçoene, a erosão afetou 80% da extensão, com taxas de -279,28 metros (NSM), -9,37 metros/ano (EPR) e -9,11 metros/ano (LRR). No período analisado, o recuo da LC foi predominante.

**Palavras chaves:** Zona Costeira; Amapá; DSAS; Erosão.

#### **Abstract**

This article analyzes the multitemporal variation of the Oceanic Coast of Amapá (trecho - mouth of the estuaries of Calçoene and Sucuriçu rivers) between 1991 and 2021. The study area is a highly dynamic region, influenced by meteorological (semi-humid equatorial climate, rainfall index ( $> 2,600$  mm/year), winds (3 to 9 m/s), extreme events (El Nino, 1997/1998 e 2015/2016; e La Nina, 1999/2000 e 2010/2011), hydrological (water and solid discharge from the Amazon River,  $175,000 \text{ m}^3/\text{s}$  and  $1,200$  Mt/year, respectively), and oceanographic

(hypertides of up to 12 m, tidal currents (2 m/s), waves of 3 m and speeds of up to 3 m/s) forcings. Remote sensing and geoprocessing techniques, such as DSAS, were used to analyze these changes on a multitemporal scale. The methodology involved acquiring 5 Landsat satellite images (1991, 2000, 2008, 2014, and 2021), which underwent shoreline vectorization and DSAS application to quantify shoreline mobility. The study area was divided into two sectors: (1) Cabo Norte sector, with erosion in 98.33% of the sector's extension and rates of -439.5 m (NSM), -14.75 m/year (EPR), and -14.70 m/year (LRR); and (2) Amapá-Calçoene sector, with erosion in 79.5% of the sector's extension and rates of -274.64 (NSM), -9.22 m/year (EPR), and -9.04 m/year (LRR). It is concluded that in the analyzed period, the LC retreat was predominant.

**Key words:** Coastal Zone; Amapá; DSAS; Erosion

## **Introdução**

A Zona Costeira (ZC) é definida como o espaço geográfico de interação do ar, do mar e da terra, incluindo seus recursos renováveis ou não, abrangendo uma faixa marítima e outra terrestre (Skinner 2022). Litoral ou costa são conceitos que podem ser compreendidos como a faixa de terra emersa, banhada pelo mar, que tem como limites o nível da maré baixa e alta. Segundo Dias (2018), 75% das metrópoles e metade da população estão localizadas na ZC e que até 2025, 75% da população viverá nessa região, exercendo grandes impactos populacionais nesses espaços. As ZCs são altamente dinâmicas, em virtude dos diversos fatores que interagem nessas áreas, como atividades antrópicas (lazer, transporte, habitação, indústria, produção de energia, de alimentos, rotas comerciais), forçantes meteorológicas (clima, ventos, eventos extremos), hidrológicas (descarga hídrica/sólida), e oceanográficas (ondas, marés, correntes) (Ranieri & El-Robrini 2015; Skinner 2017; Hübner *et al.* 2020; Prestes 2016; Torres *et al.* 2018; Carneiro 2020). Tais forçantes influenciam nas modificações geomorfológicas, sedimentológicas e na cobertura vegetal nas ZC's.

A linha de costa (LC) é um dos mais importantes geoindicadores (evidências físicas) de dinâmica costeira (Menezes *et al.* 2018; França *et al.* 2020, Teixeira *et al.* 2021) e pode ser definida através de vários critérios, como a linha d'água no instante do levantamento de campo, a linha da preamar de sizígia, o limite da vegetação permanente, o limite terrestre da sedimentação de leques de lavagem em lagunas e estuários, a base ou o topo de falésias, dentre outros (França *et al.* 2020; Vasconcelos *et al.* 2020). Ao longo do tempo, a LC pode sofrer inúmeras modificações em resposta aos processos dinâmicos ocasionados pelas forçantes

naturais e/ou antrópicas. Em processos de acumulação na ZC, ou balanço sedimentar positivo ocorre acumulação de sedimentos, resultando na acreção da LC. Em casos de erosão, ou balanço sedimentar negativo ocorre o recuo da LC. A LC é uma das principais formas de evidenciar e analisar essas mudanças através de técnicas de SR e geoprocessamento (Toure *et al.* 2019; Wang *et al.* 2020; Apostolopoulos e Nikolakopoulos 2021). Esse procedimento, consiste na obtenção de imagens de satélite de diferentes anos e na análise do deslocamento da LC, através de softwares de geoprocessamento como QGIS, Spring, TerraView e ArcGIS. Neste último software é possível utilizar a extensão Digital Shoreline Analysis System (DSAS) que tem função de calcular estatísticas de taxa de mudanças para uma série temporal de dados vetoriais da LC (Himmelstoss *et al.* 2018; Toure *et al.* 2019; Mishra *et al.* 2020).

A Zona Costeira Oceânica do Amapá (ZCOEA) é influenciada pelo clima do tipo Equatorial úmido litorâneo amazônico (Eq'oam) de acordo com Novais e Machado (2023). A temperatura do ar média está entre 26 °C e 27 °C e o índice pluviométrico é superior a 2.600 mm/ano (INMET 2023). Ainda, a descarga hídrica e sólida do rio Amazonas é avaliada, respectivamente de 175,000 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> e de até 1.200.00 t/ano (Ruault *et al.* 2019; Pereira *et al.* 2022; Milliman e Farnsworth 2011).

Na Costa Amazônia, alguns trabalhos sobre a evolução multitemporal da LC foram realizados, utilizando: A - **Sensoriamento remoto e técnicas manuais de análise da LC** - Análise multitemporal de mudanças nas ilhas costeiras do estado do Amapá aplicando dados de sensores remotos (Silva *et al.* 2011); Uso de sensoriamento remoto para identificação e mapeamento do paleodelta do Macarry, Amapá (Santana 2011); Mapping changes in the largest continuous amazonian mangrove belt using object-based classification of multisensor satellite imagery (Nascimento Jr. *et al.* 2013); Uso de QA Bands do Landsat 5 na detecção de mudanças da LC na Baía do Guajará, Belém-PA (Silva Junior & Silva 2017); Identificação de risco à erosão fluvial na cidade de Cametá (PA), Brasil (Silva & Andrade 2019); Erosão da orla costeira Grande-Bispo, ilha de Mosqueiro, Belém através da análise de indicadores (França *et al.* 2020); Gestão de riscos de desastres no Arquipélago do Bailique, Foz do rio Amazonas, Amapá, Brasil (Silva Junior *et al.* 2022); B - **Sensoriamento remoto e DSAS para análise da LC** - Evolução da LC de Salinópolis, Nordeste do Pará, Brasil (Ranieri & El-Robrini 2015); Índice de vulnerabilidade diante da variação do nível do mar na Amazônia: estudo de caso no município de Salinópolis-Pará (Braga e Pimentel 2019); Análise das variações da LC na ilha de Mosqueiro ao longo de 17 anos (Braga 2019); Coastline changes near the “Maranhão - Ponta da Madeira”

Port Complex, Brazil (Conti 2019); Characterization of the coastal environment as a baseline for alternative tourism segments development in Salinópolis, Pará (Freitas *et al.* 2020); Análise multitemporal da variação da LC em praias estuarinas de macromaré na Amazônia Oriental (Baía *et al.* 2021); Fluvial erosion risk analysis: an amazon study case (Bandeira *et al.* 2021); Geotecnologias na análise da dinâmica costeira do estuário do rio Caeté (Rabelo *et al.* 2021); Evolução multitemporal da LC (1972-2040) do município de Soure, ilha do Marajó (Amazônia - Brasil) (Menezes 2021); Detecção das mudanças costeiras na margem leste do estuário do rio Pará: uma análise multitemporal (1987-2019) utilizando sensoriamento remoto (Guimarães 2022).

Este artigo objetiva analisar a mudança multitemporal (1991-2021) da LC da ZCOEA (trecho Calçoene - Cabo Norte), mediante uso do DSAS.

### **Localização da Área de Estudo**

A área de estudo localiza-se na ZC oceânica (ZCOEA) do Amapá (1° 34' e 2° 56' Norte e 49° 35' e 51° 44' Oeste), no trecho entre a foz dos estuários dos rios Calçoene e Sucuriju, com extensão de 155 km, distando cerca de 110 km da foz do estuário do rio Amazonas. O acesso à área de estudo se dá de 2 formas por: (1) vias terrestre e aquática - o trajeto inicia-se a partir de Macapá, seguindo pela rodovia Perimetral Norte, acessando a BR - 156 e posteriormente a AP 116 até o município do Amapá, com trajeto de 300 km, é necessário ainda percorrer 21 km de barco pelo rio Flechal até chegar à área de estudo; ou aquática - partindo de Macapá, percorrer um trecho de 246 km de barco pelo rio Amazonas, até o Cabo Norte (foz do estuário do rio Sucuriju).

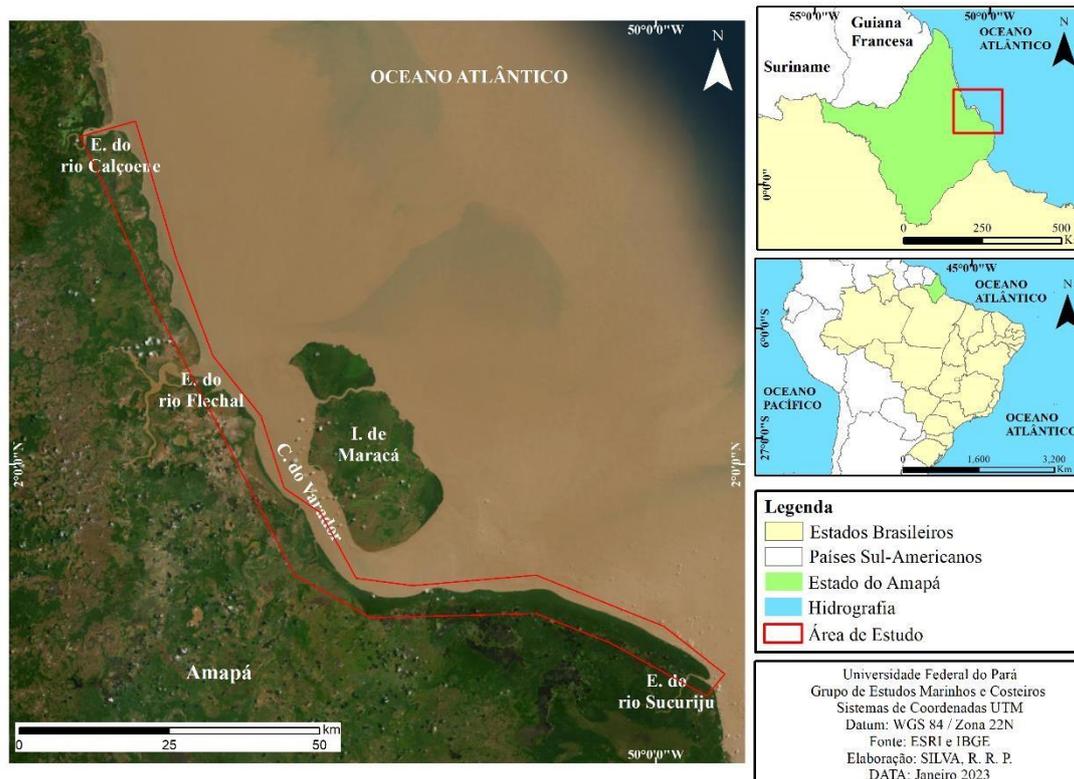


Figura 1: Localização da área de investigação na ZCOEA, no trecho: Calçoene e Cabo Norte (quadro vermelho). Abreviações: (E.) Estuário; (I.) Ilha. Fonte: Autor.

### Caracterização da Área

O clima na ZCOEA é, segundo Novais e Machado (2023), do tipo Eq<sup>o</sup>am, Equatorial úmido litorâneo amazônico e, com base em Torres *et al.* (2018) tem-se duas estações sazonais: seca (setembro a novembro, precipitação de 50 mm/mês) e chuvosa (fevereiro a maio, precipitação > 250 mm/mês). De acordo com INMET (2023), a precipitação média é > 2.600 mm/ano. Esta área sofre influência de sistemas atmosféricos como Linhas de Instabilidade, Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Ondas de Leste e Brisas, El Niño e La Niña (Torres *et al.* 2018). No período das imagens analisadas ocorreu El Niño (moderado) em 1991, La Niña (forte) em 2000, La Niña (moderado) em 2014 e La Niña (moderado) em 2021.

Segundo INMET (2023) e Novais e Machado (2023), a temperatura do ar média varia entre 25 e 27 °C, não apresentando grandes diferenças. Entre setembro e novembro ocorrem temperaturas do ar mais elevadas e entre janeiro e março, as temperaturas são menores (Costa *et al.* 2013). Segundo Torres *et al.* (2018), os ventos sopram com velocidade variável e predominantemente de NE (média de 9 m/s) e de SE (3 m/s). Os ventos alísios atuam de forma quase perpendicular à costa (alísios de nordeste) entre os meses de janeiro a junho, com

velocidade máxima de 18 m/s em fevereiro. Entre os meses de julho a dezembro, os ventos mudam de posição (sudeste) velocidade menor média, abaixo de 18 m/s (Asp *et al.* 2018).

De acordo com Martins *et al.* (2014) a área de estudo está assentada sobre Depósitos Fluviomarinhos, formados por sedimentos inconsolidados arenosos e argilosos, ricos em matéria orgânica. Estes sedimentos foram trazidos pelas marés e descargas fluviais (Santos 2004).

A área de estudo está inserida na Planície Flúvio-Marinha Macapá/Oiapoque, sendo ligada a processos do sistema de drenagem do Estuário do rio Amazonas (colmatagem, paleocanais entulhados, lagos residuais, meandros abandonados, terraços e ilhas), e especificamente ao sul do Estuário do rio Flechal, processos marinhos e formação de restingas (Torres *et al.* 2018). Esta região é caracterizada por uma costa baixa com largura de 10 a 120 km,  $\pm$  retilínea, com poucas reentrâncias e algumas áreas de acreção de sedimentos finos oriundos do estuário do rio Amazonas (Torres *et al.* 2018).

A entrada de água doce no oceano Atlântico controla a circulação local na foz do estuário do rio Amazonas e na plataforma continental interna, produzindo alterações físicas e químicas nas águas oceânicas (Nittrouer *et al.* 2021). A descarga hídrica média do estuário do rio Amazonas é de  $175,000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  ( $\sim 6930 \text{ km}^3/\text{ano}$ ) (Ruault *et al.* 2019; Pereira *et al.* 2022) e varia entre  $250.000 \text{ m}^3/\text{s}$  (período chuvoso/maio) e  $110.000 \text{ m}^3/\text{s}$  (seco/novembro) (Brasil 2005; Less *et al.* 2021), representando 16% a 18% do fluxo de água doce global para o oceano (Latrubesse *et al.* 2017).

A entrada de material em suspensão nos oceanos afeta a geoquímica e a produtividade biológica, entretanto, a circulação hidrodinâmica e a acumulação de sedimentos podem alterar a geomorfologia da LC (Nittrouer 2021). A descarga sólida do rio Amazonas resulta no alto teor de  $(1,200 \text{ Mt}/\text{ano})$  (Milliman e Farnsworth 2011) na área de estudo, sendo maior em fevereiro e março e menor em outubro e novembro (Torres *et al.* 2018). A maior parte do ( $+ 90\%$ ) é constituída de silte e argila ( $<63\mu\text{m}$  de diâmetro) e o material dissolvido é avaliado em  $300 \text{ Mt}/\text{ano}$  (Nittrouer 2021).

A partir da descarga hídrica e sólida do rio Amazonas se forma uma pluma que varia de 3 a 10 m de espessura e 80 a 200 km de largura, e se expande em diferentes direções na Plataforma Continental do Amazonas. O encontro da água doce da pluma com a água salgada

do oceano Atlântico forma uma frente salina com extensão de até 150 km da foz do Estuário do rio Amazonas (Rollnic *et al.* 2020).

A maré é a principal forçante (Torres *et al.* 2018) influenciando na dinâmica da LC. A macromaré atinge altura de 6 m na costa do município do Amapá, entretanto no Canal do Inferno (ilha de Maracá), a altura média de maré (sizígia) é de 9 m, chegando até 12 m caracterizando a hipermaré (Torres *et al.* 2018).

As ondas influenciam no transporte de sedimentos e promovem a deriva litorânea na área de estudo com sentido preferencialmente de leste para noroeste, como atestam o desenvolvimento dos cabos lamosos que crescem em direção a Guiana Francesa (Torres *et al.* 2018). Segundo Nittrouer *et al.* (1986) as ondas são geradas pelos ventos alísios de nordeste, tendo amplitude média entre 1 e 2 m, porém, em fevereiro, podem alcançar 3 m e velocidade de 3 m/s (Cachione *et al.* 1995).

## Metodologia

A metodologia seguiu os seguintes procedimentos, através da aplicação de técnicas de geoprocessamento para analisar a variação da LC. Foram adquiridas 5 imagens orbitais do satélite LANDSAT (disponíveis gratuitamente no sítio online da USGS – United States Geological Survey – Earth Explorer: <https://earthexplorer.usgs.gov/>) com intervalo de 30 anos (1991, 2000, 2008, 2014 e de 2021).

Tabela 1 - Dados das imagens de satélite Landsat, utilizadas neste artigo.

Ano da Imagem	Satélite	Sensor	Órbita-Ponto	Data de Aquisição	Resolução Espacial	Bandas	Horário de Captura
1991	Landsat 5	TM	225059	18/11/1991	30 m	5, 4, 3	12:58
2000	Landsat 5	TM	225059	09/10/2000	30 m	5, 4, 3	13:13
2008	Landsat 5	TM	225059	28/08/2008	30 m	5, 4, 3	13:20
2014	Landsat 8	OLI	225059	03/12/2014	30 m	6, 5, 4	13:34
2021	Landsat 8	OLI	225059	01/09/2021	30 m	6, 5, 4	13:34

Fonte: Autor.

As imagens orbitais foram tratadas, mediante uso do Arcmap 10.8 para realização da composição das bandas espectrais das imagens para proporcionar uma melhor visualização das imagens com cores mais próximas da realidade. As ferramentas utilizadas para o tratamento foram “Composite Bands” - composição das bandas espectrais criando uma nova imagem; e “Image Analysis” - criação de um recorte da imagem destacando apenas a área de estudo.

As imagens do satélite LANDSAT da USGS já discriminam em seus metadados o erro geométrico linear, no entanto é necessário calcular o erro acumulativo linear e areolar entre as 5 imagens. Esse procedimento foi realizado através da média dos erros geométricos lineares destas imagens. De posse desse valor (14 m), foi possível calcular erro acumulativo areolar destas imagens LANDSAT (422 m<sup>2</sup>), para tanto, é necessário fazer a seguinte regra de 3 em cada imagem e depois calcular a média das 5 imagens:

1 Pixel -----	30 m
X Pixel -----	Erro Geométrico Linear
X Pixel =	Erro Geométrico por área
1 Pixel ----- 900 m <sup>2</sup>	
Erro Geométrico por área -----	X m <sup>2</sup>
X = Valor do Erro Geométrico Areolar	

Figura 2: Representação do cálculo do Erro Geométrico Areolar das imagens Landsat. Fonte: Autor

Essa etapa é muito importante, pois é a definição dos erros acumulativos das imagens que dão a confiabilidade aos resultados gerados, haja vista que foram estabelecidas margens para mais ou para menos em relação aos dados gerados.

A vetorização da LC da área de estudo foi feita em cada imagem através da criação de um shape do tipo linha – utilizando a ferramenta Windows Catalog - que foi vetorizado sobre o contato do manguezal com a linha d'água por ser uma feição facilmente reconhecível nas imagens do satélite LANDSAT que são de média resolução, assim como a linha de vegetação de mangue tende sofrer menor interferência das marés.

Foi feita a sobreposição dos vetores de LC das 5 imagens em apenas uma das imagens para que seja possível comparar a posição da LC e quantificar a variação ao longo dos 30 anos. Foi possível destacar as áreas de acreção e/ou recuo da LC através da medição da variação da distância entre os vetores de cada imagem. Para melhor analisar e visualizar essas medidas, foram criadas linhas transversais às LC e polígonos entre elas para expressar essa variação, desconsiderando valores de linhas e polígonos iguais ou menores que aos erros geométricos lineares e areolares acumulativos.

Para quantificar as áreas em acreção e em erosão (m<sup>2</sup>) foram criados shapes do tipo polígonos no software Arcmap 10.8 para delimitar a área dinâmica entre a LC mais antiga (1991) e a mais recente (2021). Posteriormente, foram acessadas as propriedades da tabela de atributos desses shapes e executada a função “Statistics” que proporciona todos os valores estatísticos dos polígonos.

Foi utilizado o Digital Shoreline Analysis System (DSAS, v5.0), uma extensão do software Arcmap adquirida gratuitamente que calcula estatísticas de taxa de mudança para uma série temporal de dados vetoriais da linha costeira (Himmelstoss *et al.* 2018; Toure *et al.* 2019). Para realizar a análise das LCs, foram utilizados 2 parâmetros do DSAS: 1) Movimento líquido da linha costeira (NSM), que corresponde à distância entre as linhas costeiras mais antigas e mais novas para cada transecto. Onde o valor positivo indica o movimento em direção ao mar e o valor negativo o movimento da linha costeira em direção à terra (Himmelstoss *et al.* 2018; Kabir *et al.* 2020); 2) Taxa do ponto final (End-Point Rate-EPR), parâmetro calculado a partir da divisão da LC a partir do tempo decorrido entre a linha mais antiga e a mais recente no componente de análise (Himmelstoss *et al.* 2018).

## **Resultados**

### **Variação Multitemporal (1991 e 2021) da LC (trecho Calçoene - Cabo Norte)**

No período de 1991 a 2021 (30 anos), utilizando a análise dos polígonos de mudanças entre as LCs, foi atestada a predominância da erosão com 41.957.384 m<sup>2</sup> (1.398.580 m<sup>2</sup>/ano), em detrimento da acreção com 4.081.031 m<sup>2</sup> (136.000 m<sup>2</sup>/ano). As áreas em erosão (97 %) ocorreram próximo à foz do rio Flechal e Cabo Norte.

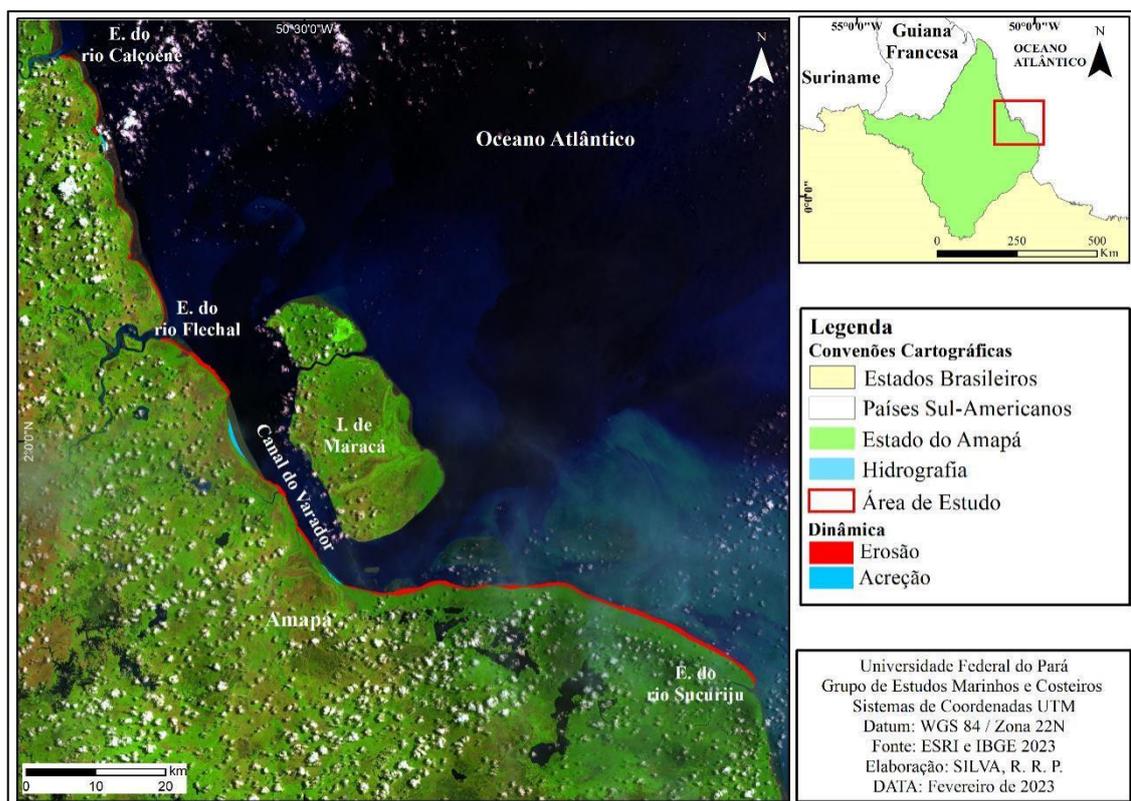


Figura 3: Mapa de polígonos de mudanças da ZCOEA (trecho foz dos rios Calçoene e Sucuriju), no período 1991 a 2021. Destaque para áreas em acreção (azul) e em erosão (vermelho). Abreviações: (E.) Estuário; (I.) Ilha. Fonte: Autor.

Mediante uso do DSAS, foram gerados 3171 transectos, dos quais 432 são de acreção (13,6 %) e 2739 transectos são de erosão (86,3 %). Dos 156 km de extensão da área de estudo, a erosão atingiu um setor de 100.5 km. A análise dos transectos registrou acreção média da LC de 121 m, com máximo de 869 m (transecto 3045). Todavia, a erosão teve média de 359.4 m e recuo máximo da LC de 1637 m (transecto 2194). A área de estudo foi subdividida em 2 setores: (1) setor Leste (Cabo Norte) e (2) setor Centro-Norte (Amapá-Calçoene).

O setor Leste apresenta extensão de 62.75 km e um total de 1020 transectos gerados. Desse total, apenas 16 transectos são em acreção, representando 1,5 % da área com avanço médio de 32.1 m e máximo de 62.8 (transecto 3). Entretanto, 1004 transectos são de erosão, correspondendo a 98,4 % do setor, com recuo médio de 439.5 m e taxa máxima de 1045.41 m (transecto 581).

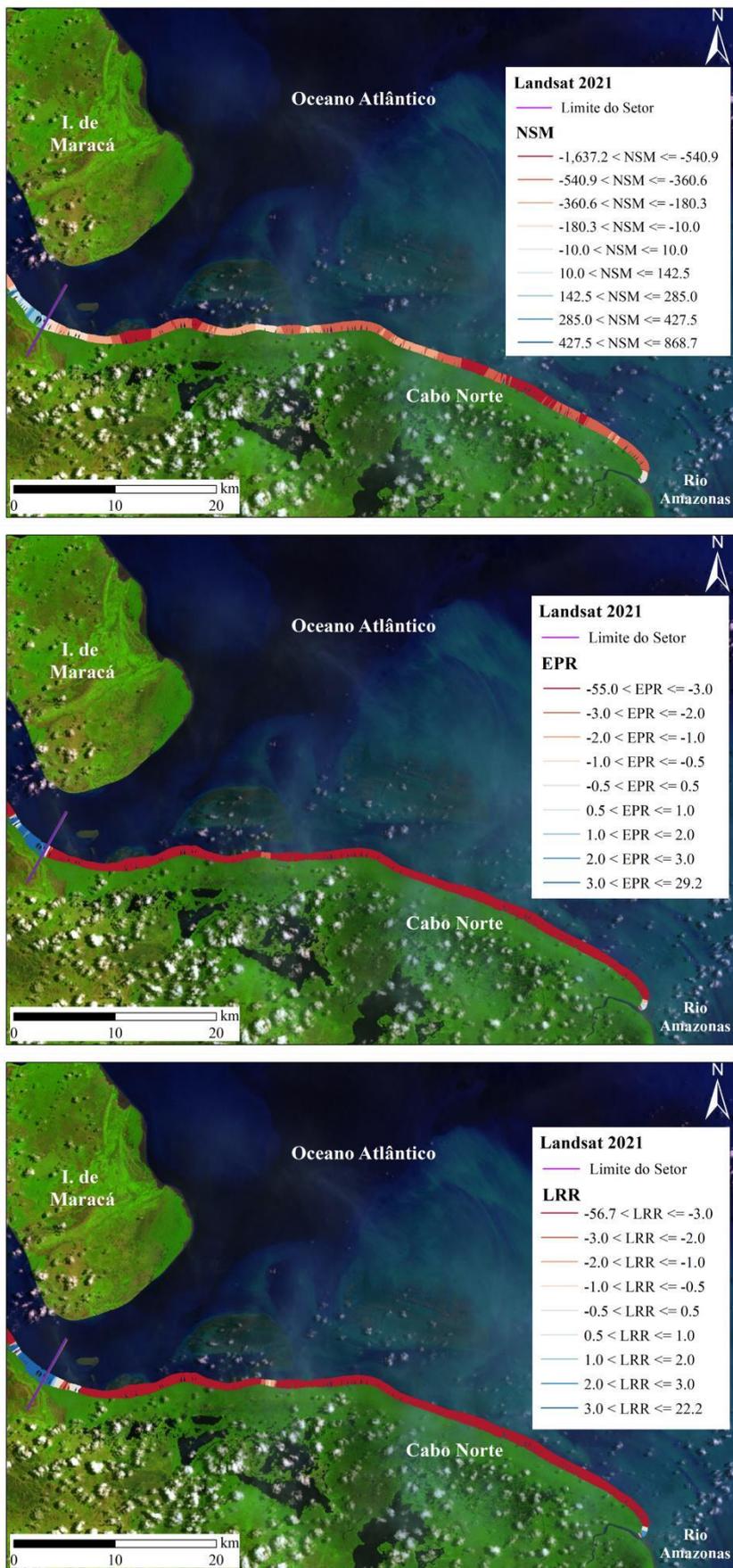


Figura 4: Transectos com as taxas NSM, EPR e LRR da LC, no setor Cabo Norte. Fonte: Autor.

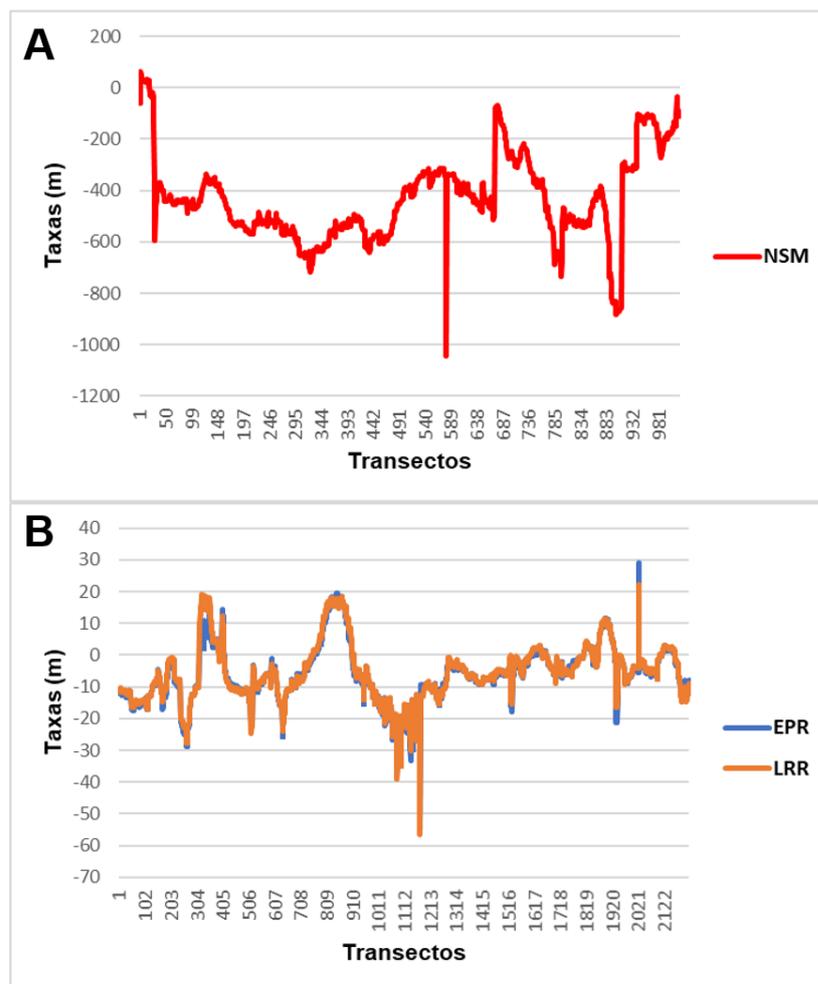


Figura 5: Gráfico com as taxas de variação a) NSM e b) EPR e LRR, do setor Cabo Norte.  
Fonte Autor:

Tabela 2 – Taxas máximas e médias de acreção e erosão do Setor Cabo Norte.

<b>Setor Leste (Cabo Norte)</b>			
<b>Taxas</b>	<b>NSM (m)</b>	<b>EPR (m/ano)</b>	<b>LRR (m/ano)</b>
<b>Máxima positiva</b>	62.8	2.11	8.01
<b>Máxima negativa</b>	-1045.41	-35.10	-31.27
<b>Média positiva</b>	30.47	1.02	2.32
<b>Média negativa</b>	-439.52	-14.75	-14.70
<b>Média geral</b>	-431.70	-14.49	-13.88

Fonte: Autor.

O setor Centro-Norte (Amapá-Calçoene) com 93.25 km de extensão contou com 2220 transectos gerados. A dinâmica foi mais diversificada com áreas de acreção pouco maior que o setor 1. Do total de transectos, 455 são de acreção (20,5%), com avanço médio de 192.86 m no intervalo temporal de 1991-2021 e taxa máxima de 868.68 m de avanço da LC (transecto 3045). Todavia a erosão também se mostrou predominante neste setor (menor intensidade se

comparado ao setor 1) com 1765 transectos, taxa média de 274.64 m e taxa máxima de recuo de 1637.19 m (transecto 2194) (79,5 %).

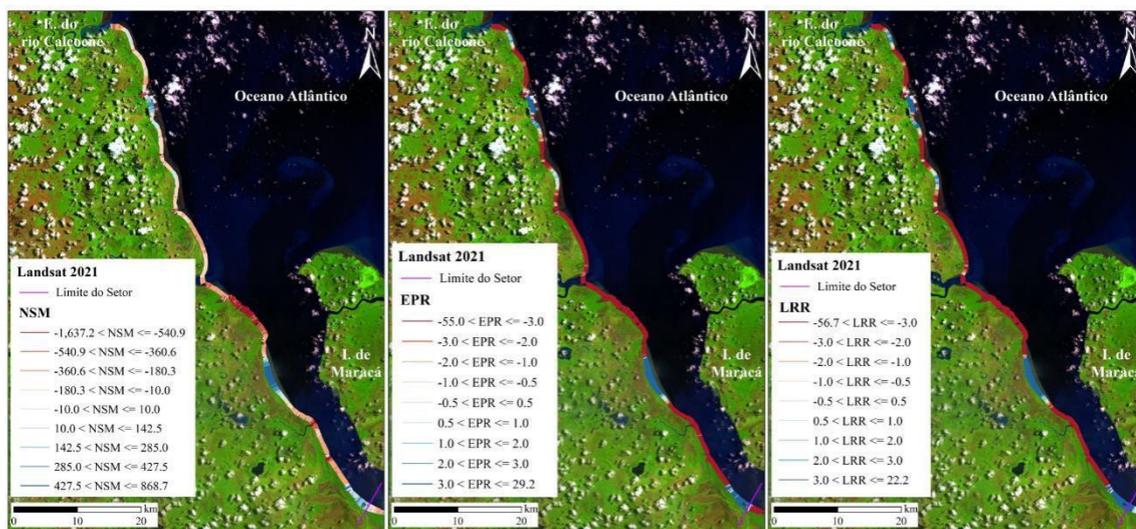


Figura 6: Transectos com as taxas NSM, EPR e LRR da LC, no setor Amapá-Calçoene.

Fonte: Autor.

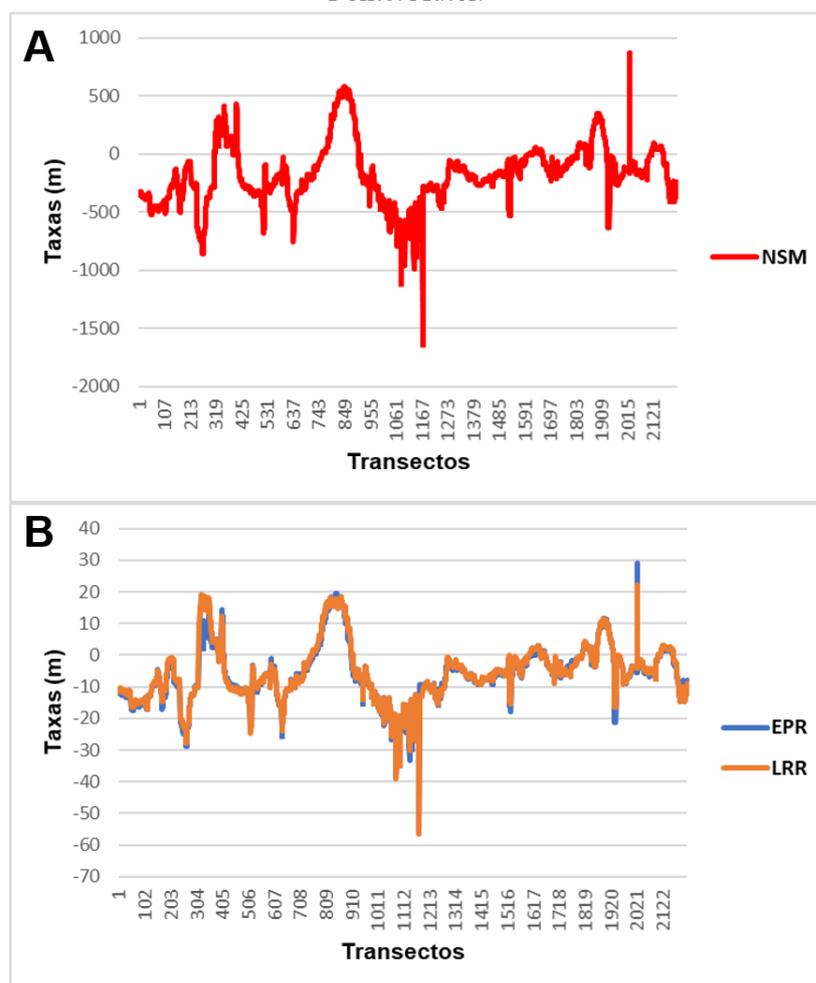


Figura 7: Gráfico com as taxas de variação a) NSM e b) EPR e LRR, do setor Amapá-Calçoene.

Fonte Autor:

Tabela 3: Taxas máximas e médias de acreção e erosão do Setor Amapá-Calçoene.

Taxas	Setor Centro-Norte (Amapá-Calçoene)		
	NSM (m)	EPR (m/ano)	LRR (m/ano)
<b>Máxima positiva</b>	868.68	29.16	22.18
<b>Máxima negativa</b>	-1637.19	-54.96	-56.65
<b>Média positiva</b>	192.86	6.46	7.58
<b>Média negativa</b>	-274.64	-9.22	-9.04
<b>Média geral</b>	-178.82	-6.00	-5.54

Fonte: Autor.

## DISCUSSÃO

### Importância do DSAS

O DSAS é uma ferramenta muito útil para as análises multitemporais de mudanças costeiras, principalmente das LCs, como se pode evidenciar em seu uso em larga escala em todos os continentes do mundo, especialmente na última década: Puducherry, SE da Índia (Selvan *et al.* 2016); Senegal (Thior *et al.* 2019); Nova Zelândia (Hil 2019); Espanha (Gómez-Pazo 2019); Amazônia Oriental (Baía *et al.* 2021); Ilha Bali, na Indonésia (Hakim *et al.* 2021); Costa da Baía de Bou Ismail, Argélia (Kaddour *et al.* 2022); Praia de Kavvayi, na Índia (Gopinath *et al.* 2023); Costa leste da Coreia do Sul (Yum *et al.* 2023).

Essa ferramenta utilizada como auxílio ao SR permite o estudo de áreas de difícil acesso e/ou grande áreas - zona costeira amazônica, por exemplo - gerando um grande número de dados que possibilita contribuir com o entendimento da dinâmica costeira. Esta ferramenta é capaz de fazer a digitalização da LC ou auxiliar na sua identificação manual, analisar a mudança da LC ao longo do tempo, gerar dados estatísticos do período analisado como total de erosão e/ou acreção bem como calcular taxas anuais e gerar dados para projeções futuras da LC (Himmelstoss 2018).

O DSAS pode ser utilizado em qualquer região costeira do mundo, desde que haja disponibilidade de imagens de satélite e/ou fotografias aéreas. Todavia, a precisão dos resultados depende da qualidade dessas fontes de imagens. Devido a grande quantidade e precisão de dados que podem ser gerados, o DSAS tem sido utilizado no mundo todo (Nicu 2021), porém na zona costeira amazônica ainda são poucos os trabalhos utilizando esta ferramenta.

### Costa com predominância da erosão

Os resultados obtidos na ZCOEA demonstram predominância de erosão, tendo em vista que na área total de 156 km de extensão, um trecho da LC de 100,5 km apresenta recuo da LC. Isso significa que 64,42 % da LC estudada está em erosão. Essa situação ocorre em virtude de a ZCOEA ser muito dinâmica, em função da atuação de forçantes: ondas - altura de 2 m e velocidade de 3 m/s; macromaré - 6 m e correntes de até 2m/s (Torres *et al.* 2018); ventos - em especial os alísios podem chegar até 18 m/s (Torres *et al.* 2018). Fica evidente através do DSAS que 98,33 % do setor Cabo Norte sofre erosão, com taxas NSM variando de -1045.41 m a 62,8 m, taxas EPR de -35,1 m/ano a 2,1 m/ano e taxas LRR de -31,27 m/ano a 8 m/ano. O Setor Amapá-Calçoene sofre menores taxas de erosão, em comparação ao setor Cabo Norte, devido à ocorrência de enseadas e o aporte dos sedimentos finos provindo do rio Amazonas. Todavia, quase 80 % deste setor sofre erosão, com taxas NSM variando de -1637.19 m a 868.68 m, taxas EPR de -54.96 m/ano a 29,16 m/ano e taxas LRR de -56.65 m/ano a 22,18 m/ano.

### Comparação com outras regiões

Comparando os resultados deste artigo com outras áreas costeiras do mundo (Tabela 1), verifica-se que a área de estudo se destaque pela extensão e intensidade de áreas em erosão. De um total de +/- 156 km de extensão, mais de 100 km sofre erosão, em especial no setor Cabo Norte que tem quase 100 % da sua extensão sofrendo recuo da LC.

Tabela 1: Análise comparativa de trabalhos sobre análise multitemporal da LC, utilizando DSAS. Destaque em laranja para os dados do presente artigo.

Autores	Local	Período	Acreção			Erosão		
			ALMLC (m)	TÁA (m <sup>2</sup> )	T (m/ano <sup>-1</sup> )	ALMLC (m)	TÁE (m <sup>2</sup> )	T (m/ano <sup>-1</sup> )
Ranieri & El-Robrini (2015)	Corvina, Maçarico, Farol-Atalaia (Salinópolis)	1988-2013	***	***	18,24	***	***	1,62
El-Robrini et al. (2018)	G. Maranhense (Maranhão)	2018	79%, 60% e 42,9%	****	6,6%, 2,8% e 22,9%		79,7%, 60% e 42,9%.	
Gómez-Pazo et al. (2019)	Ilhas Cíes – (Espanha)	1956 - 2017	****	6,700	****	30		0,5
Thior et al. (2019)	Gâmbia a Casamança (Senegal)	1968 - 2017	204	****	4,16	217	****	4,43

Hil (2020)	Baía de Blueskin (Nova Zelândia)	1978 - 2013	23,24	****	3,65	9,92	****	0,2
Muskananfolia (2020)	Sayung (Indonésia)	1994 - 2018	251,85	****	10,5	592	****	25
Baía et al. (2021)	Marapanim (Pará)	1988-2016	966	****	53,66	227,88	****	8,10
Silva (2023)	Calçoene-Sucuriçu (Amapá)	1991-2021	187,02	4.081.031	6,23	334,43 m	41.957.384	11,14m

Legenda: ALMLC (Alteração Linear Média da Linha de Costa); TAA (Taxa por área); T (Taxa linear por ano). Fonte: Adaptado de Menezes (2023).

Em virtude da diversidade de localizações dos trabalhos apresentados na tabela 1, os mesmos possuem características distintas quanto a intensidade dos processos de erosão e acreção, bem como diferentes forçantes responsáveis pela dinâmica. Ranieri & El-Robrini (2015), analisaram a variação da LC na parte urbana do município de Salinópolis e destacaram que a acreção é preponderante (período de 1988 a 2013), avanço médio de 190,26 m da LC, em contrapartida o recuo médio da LC foi de 42,25 m, erosão que ocorreu em áreas isoladas, provocadas principalmente pela urbanização desordenada que tem se consolidado na região. El Robrini *et al.* (2018) ressaltam o predomínio do avanço da LC na ZC do Maranhão, haja vista que dos 5 setores que dividem a ZC, 3 são dominados pela acreção chegando a 79 % e no máximo 22,9 % de erosão. Gómez-Pazo *et al.* (2019) ao analisar a dinâmica da LC da praia de Rodas, Galicia, na Espanha (1956 a 1981), evidenciaram que em virtude de extração de areia, associada a maior quantidade de visitantes na região, a LC teve um recuo médio de 30 m, chegando a recuar 14,14 m só nos últimos 7 anos. Muskananfolia *et al.* (2020) observaram mudanças na LC de Sayung no norte da província de Java Central (Indonésia) (1994 a 2018), atestando erosão da LC com média de 592 m e 25 m/ano de recuo. Segundo estes autores, essa dinâmica foi provocada pelas inundações causadas pela maré. Como já exposto neste artigo, a área de estudo apresenta erosão máxima com recuo médio da LC de 274.64 m no setor Amapá-Calçoene e 439.52 m no setor Cabo Norte, contra 192.86 m e 30.47 de avanço, respectivamente. Logo, apesar da LC da região de Sayung (Indonésia) estar um pouco mais erosiva que a região estudada, de todos os trabalhos analisados, a ZCOEA é a que possui a maior extensão de LC em processo erosivo (100,5 km).

## Conclusão

Na ZCOEA, ao longo de 30 anos (1991 - 2021) predominou erosão nos dois setores analisados, principalmente no setor Cabo Norte (Leste) onde se evidenciou quase 100 % de erosão. Esta situação é promovida em virtude de uma série de forçantes físicas atuantes na região, mas em especial os efeitos das correntes de macromaré (+ 6 m), causando mobilização dos sedimentos da área. As áreas em acreção localizam-se em regiões de enseadas da LC, favorecendo acumulação de sedimentos finos na extremidade leste do setor Amapá-Calçoene.

O SR é uma técnica muito importante para analisar a variação multitemporal da LC e com uso do DSAS, as análises tornam-se muito mais ricas e precisas, possibilitando em fazer projeções futuras, para mensurar predomínio de erosão e/ou acreção. Dessa forma, gerar subsídios para os tomadores de decisão realizarem ações de gerenciamento costeiro que tenham como objetivo manter o bem-estar da zona costeira e da população que reside nessas regiões.

## Referências

AMAPÁ. Portal do Estado do Amapá. Conheça o Amapá. Disponível em: <https://www.portal.ap.gov.br/conheca/amapa>. Acesso em: 01/10/2021.

APOSTOLOPOULOS, D.; NIKOLAKOPOULOS, K. A review and meta-analysis of remote sensing data, GIS methods, materials and indices used for monitoring the coastline evolution over the last twenty years. *European Journal of Remote Sensing*, [S. l.], v. 54, n. 1, p. 240–265, 1 jan. 2021. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/22797254.2021.1904293>. Acesso em: 26 jan. 2022.

ASP, N.-G., MÖLLER, T., FERREIRA, C. E. L., MEIRELLES, P. M., MAHIQUES, M. M., & NITSCHKE, F. O. Sediment dynamics of a tropical tide-dominated estuary: Turbidity maximum, mangroves and the role of the Amazon River sediment load. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 214, p. 10–24, 15 dez. 2018. DOI: 10.1016/j.ecss.2018.09.004

BAÍA, L. B.; RANIERI, L. A.; ROSÁRIO, R. P. Análise Multitemporal Da Variação Da Linha De Costa Em Praias Estuarinas Do Nordeste Do Pará. v. 40, n. 1, p. 231–244, 24 mar. 2021. DOI: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v40i1.13470>

BANDEIRA, I. C. N. ; CONCEIÇÃO, R. A. C.; ANDRADE, M. M. N.; TEIXEIRA, S. G.; FONSECA, D. D. F.; LIMA, J. B. M.; AZAMBUJA, A. M. S.; GREGORIO, A. M. S.; MIYAGAWA, L. J. P. P.; SILVA, S. T. T.; AGUIAR, P. A. P. Fluvial Erosion Risk Analysis: An Amazon Study Case. *REVISTA GEONORTE*, V.12, N.39, p.01-25, 2021. DOI: <https://doi.org/10.21170/geonorte.2021.V.12.N.39.01.25>

BATISTA, E. M.; FILHO, P. W. M. S.; SILVEIRA, O. F. M. Avaliação de Áreas Depositionais e Erosivas em Cabos Lamosos da Zona Costeira Amazônica Através da Análise Multitemporal de Imagens de Sensores Remotos. *Revista Brasileira de Geofísica*, São Paulo, v. 27, n. 1, p. 8396, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-261X2009000500007>.

BOAVENTURA, F. M. C.; NARITA, C. Geomorfologia da Folha NA/NB. 22 – Macapá. In: BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Folha NA/NB.22 – Macapá: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Projeto RADAM/BRASIL. Rio de Janeiro: Projeto RADAM, 1974. p. IV-I-IV/84 (Levantamento de Recursos Naturais, 6).

BRAGA, C. A. O. Análise das variações da linha de costa na ilha de Mosqueiro-PA ao longo de 17 Anos. Dissertação (Mestrado em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia) – Programa de Pós-Graduação em Gestão de Risco e Desastres Naturais na Amazônia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019. 90p.

BRAGA, R. C.; PIMENTEL, M. A. S. Índice de vulnerabilidade diante da variação do nível do mar na Amazônia: estudo de caso no município de Salinópolis-Pará. *Revista Brasileira de Geografia Física* v.12, n.02 (2019) 534-561.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente; Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Projeto Orla: projeto de gestão da orla marítima. Brasília: MMA; MP, 2002.

CACHIONE, D. A. DRAKE, D. E.; KAYEN, R. W.; STERNBERG, R. W.; KINEKE, G. C.; TATE, G.B. Measurements in the Bottom boundary layer on the Amazon subaqueous delta. *Marine Geology*, [S.l.], v. 125, p. 235-239, 1995. DOI: [https://doi.org/10.1016/00253227\(95\)00014-P](https://doi.org/10.1016/00253227(95)00014-P)

CARNEIRO, A. G. Distorção não linear e assimetria de maré em um sistema costeiro Amazônico de hipermaré. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Programa de Pós-Graduação em Geofísica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2020.

CONTI, L. A. Coastline changes near the “Maranhão - Ponta da Madeira” Port Complex, Brazil. *Journal of Integrated Coastal Zone Management / Revista de Gestão Costeira Integrada*, v. 19(2), p. 71-84, 2019. DOI: 10.5894/rgci-n175

CONTI, L. A.; RODRIGUES, M. 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*, Recife, n. 5, p. 922-937, 2011. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v4i5.232745>

COSTA, W. J. P., ARAÚJO, D. M., OLIVEIRA, R. M., MACHADO, D. R., & LIMA, M. R. Caracterização Ambiental de Comunidades Costeiras no Distrito de Bailique. [S.l.]: IEPA, 2017. 21 p. Relatório Interno.

DIAS, G. T. M. Introdução. In: MUEHE, Dieter (Org.). *Panorama de Erosão Costeira no Brasil*. Brasília, DF: MMA, 2018. p. 15 - 18.

EL-ROBRINI, M., SANTOS, J. H. S.; LIMA, L. G.; SANTOS, A. L. S.; SANTOS, M. C. F. V.; SOUZA, U. D. V. 2018. Maranhão. In: Muehe, D. (ed.). **Panorama da erosão costeira no Brasil**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental, Departamento de Gestão Ambiental Rural. p. 167-240.

FRANÇA, C. F.; SILVA, R. R. P.; FERREIRA JÚNIOR, J. L. A.; ARAÚJO, F. A. Erosão da orla costeira Grande-Bispo, ilha de Mosqueiro, Belém-PA, através da análise de indicadores. *Geografia Ensino & Pesquisa*. Santa Maria, v.24, e20, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5902/2236499433940>.

FREITAS, A.; ACHETE, F.; VINZÓN, F. B. Characterization of the coastal environment as a baseline for alternative tourism segments development in Salinópolis, Pará. *World, Basel*, n. 1, p. 227-238, 2020.

- GÓMEZ-PAZO, A.; PÉREZ-ALBERTI, A.; PÉREZ, X. L. O. Recent Evolution (1956–2017) of Rodas Beach on the Cíes Islands, Galicia, NW Spain. *Journal of Marine Science and Engineering*, v. 7, n. 5, p. 125, 2019. DOI: 10.3390/jmse7050125
- GOPINATH, G., PRASANNA, K., RAMASAMY, R., ARIVAZHAGAN, S., & SATHIYAMOORTHY, D. Long-Term Shoreline and Islands Change Detection with Digital Shoreline Analysis Using RS Data and GIS. *Water*, v. 15, n. 2, p. 244, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/w15020244>
- GUIMARÃES, D. K. M. Detecção das Mudanças Costeiras na Margem Leste do Estuário do Rio Pará: Uma Análise Multitemporal (1987-2019) Utilizando Sensoriamento Remoto. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) - Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, p. 99. 2022.
- HAKIM, F. L.; OSAWA, T.; SANDI ADNYANA, I. W. Shoreline Change Analysis Using Digital Shoreline Analysis System Method In Southeast Bali Island. *Ecotrophic: Jurnal Ilmu Lingkungan (Journal of Environmental Science)*, v. 15, n. 1, p. 61, 2021. DOI: <https://doi.org/10.24843/EJES.2021.v15.i01.p06>
- HIL, G. Better Management Through Measurement: Integrating Archaeological Site Features into a GIS-Based Erosion and Sea Level Rise Impact Assessment—Blueskin Bay, New Zealand. *The Journal of Island and Coastal Archaeology*, v. 15, n. 1, p. 104–126, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/15564894.2018.1531331>
- HIMMELSTOSS, E. A., KRANZ, W., & THIELER, E. R. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.0 user guide. U.S. Geological Survey Open-File Report, n. 1179. [S. l.: s. n.], 2018. DOI: <https://doi.org/10.3133/ofr20181179>.
- HÜBNER, J. C.; VEIGA, K. R.; LONGARAY, A. S.; TRETIN, G.; CALDASSO, L. P.; UMPIERRE, M. B.; WALTER, T. Conflitos Ambientais Relacionados À Pesca Artesanal Na Zona Costeira Brasileira. *Arq. Ciên. Mar, Fortaleza*, 2020, 53 (Especial): 43 – 51. DOI: <https://doi.org/10.32360/acmar.v53iEspecial.42686>
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Municípios do Amapá. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ap/amapa/panorama> > Acesso em: 01/10/2021.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Municípios do Amapá. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ap/calcoene/panorama> > Acesso em: 01/10/2021.
- INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de Dados Meteorológicos do IIMET. Disponível em: <<https://bdmep.inmet.gov.br/#>>. Acesso em: 10 de março de 2023.
- KABIR, MD. A., SINGH, A., KUMAR, S., & BAL, S. Assessing the shoreline dynamics of Hatiya Island of Meghna estuary in Bangladesh using multiband satellite imageries and hydrometeorological data. *Regional Studies in Marine Science*, v. 35, p. 101167, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101167>
- KADDOUR, S., HADJERI, S., DJERDOUR, M., BAHAR, F., & OUALI, A. Study of Shoreline Changes Through Digital Shoreline Analysis System and Wave Modeling: Case of the Sandy Coast of Bou-Ismaïl Bay, Algeria. *Ocean Science Journal*, v. 57, n. 3, p. 493–527, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12601-022-00083-x>.

- LATRUBESSE, Edgardo M. et al. Damming the rivers of the Amazon basin. Nature Publishing Group, [s. l.], v. 546, n. 7658, p. 363–369, 2017. DOI: 10.1038/nature22333
- LESS, M. M., DIANI, F. S., WARD, N. D., RICHEY, J. E., & DA CUNHA, A. C. Seasonal and Daily Variation of Hydrodynamic Conditions in the Amazon River Mouth: Influence of Discharge and Tide on Flow Velocity. *Journal of Coastal Research*, 2021. DOI: <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-21-00010.1>
- MARTINS, M. H. A., SOUZA, L. C. S., CUNHA, L. L. S., MACHADO, D. R., & SILVA, J. R. Zoneamento Ecológico-Econômico Costeiro do Setor Atlântico do Estado do Amapá - ZEEC/AP. Macapá: Relatório Técnico. IEPA, 2014. Texto Explicativo do Mapa de Geologia do Setor Costeiro Atlântico do Estado do Amapá. 31 p.
- MENEZES, A. F.; PEREIRA, P. S.; GONÇALVES, R. M.; ARAÚJO, T. C. M.; SOUSA, P. H. G. O. Análise Da Vulnerabilidade À Erosão Costeira Através De Geoindicadores Nas Praias De Piedade E Paiva (Pe), Brasil. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 37, n. 2, p. 455 - 465, 2018.
- MENEZES, R. A. A. Evolução Multitemporal da Linha de Costa (1972-2040) do Município de Soure, Ilha do Marajó (Amazônia - Brasil). Dissertação (Mestrado em Oceanografia) - Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, p. 146. 2021.
- MILLIMAN, John D.; FARNSWORTH, Katherine L. River Discharge to the Coastal Ocean: A Global Synthesis. Cambridge University Press, 2011. ISBN 978-0-521-87987-3.
- MISHRA, M., SUDARSAN, D., KAR, D., NAIK, A.K., DAS, P.P., SANTOS, C.A.G., DA SILVA, R.M., 2020. The development and research trend of using dsas tool for shoreline change analysis: A scientometric analysis. *J. Urban Environ. Eng.* 14, 69–77. <https://doi.org/10.4090/juee.2020.v14n1.069077>
- MUEHE, D. Panorama de Erosão Costeira no Brasil. Brasília, DF: MMA, 2018. ISBN: 97885-7738-394-8 (online).
- MUSKANANFOLA, M. R.; SUPRIHARYONO; FEBRIANTO, S. Spatio-temporal analysis of shoreline change along the coast of Sayung Demak, Indonesia using Digital Shoreline Analysis System. *Regional Studies in Marine Science*, v. 34, p. 101060, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101060>
- NASCIMENTO JR., W. R.; SOUZA FILHO, P. W. M.; PROISY, C.; LUCAS, R. M.; ROSENQVIST, A. Mapping changes in the largest continuous Amazonian mangrove belt using object-based classification of multisensor satellite imagery. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, n. 117, p.83-93, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2012.10.005>
- NICU, I. C. Is digital shoreline analysis system “fit” for gully erosion assessment?. *CATENA*, v. 203, p. 105307, ago. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105307>.
- NITTROUER C. A; CURTIN, T. B.; DEMASTER, D. J. Concentration and flux of suspended sediment on the Amazon continental shelf. *Continental Shelf Research*, [S.l.], v. 6 (1-2): p.151174. 1986. DOI: [https://doi.org/10.1016/0278-4343\(86\)90058-0](https://doi.org/10.1016/0278-4343(86)90058-0).

- NITTROUER, C. A., RODRÍGUEZ, A. B., ALLISON, M. A., BIANCHI, T. S., FASSO, A., FITZGERALD, D. M., FOWLER, A. M., GAYES, P. T., HELLERICH, L., MARTIN, J. B., ORR, M. P., PAEZ-REYES, M., RIOSECO, L., ROSENHEIM, B. E., SANDERS, C. J., & TAMAYO, C. G. Amazon Sediment Transport and Accumulation Along the Continuum of Mixed Fluvial and Marine Processes. *Annual Review of Marine Science*, v. 13, n. 1, p. 501–536, 3 jan. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010816-060457>.
- NOVAIS, G. T.; MACHADO, L. A. Os Climas Do Brasil: segundo a classificação climática de Novais. *Revista Brasileira de Climatologia*, Dourados, MS, v. 32, Jan. / Jun. 2023.
- PEREIRA, Tiago J.; CASTELLÕES, Paula Vieira; NETTO, Sérgio A.. Amazon River discharge impacts deep-sea meiofauna. *Limnology And Oceanography*, [S.L.], v. 67, n. 10, p. 2190-2203, 10 ago. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/lno.12197>
- PRESTES, Y.O. Interações Físicas Entre O Estuário Do Rio Pará E A Plataforma Continental No Norte Do Brasil. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Curso de Pós-Graduação em Oceanografia, Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, p. 122. 2016.
- RABELO, F. D. B.; SILVA, E. V.; GORAYEB, A. Geotecnologias na análise da dinâmica costeira do estuário do Rio Caeté – Pará. Paper do NAEA, Volume 30, Número 1, Edição 530. DOI: <http://dx.doi.org/10.18542/papersnaea.v30i1.11592>
- RANIERI, L. A.; EL-ROBRINI, M. Evolução da linha de costa de Salinópolis, Nordeste do Pará, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 42 (3): 207-226, set./dez. 2015. DOI: <https://doi.org/10.22456/1807-9806.78121>
- RODRIGUES, S. W. P.; SOUZA, P. W. M. FILHO Análise da variação da linha de costa a noroeste do Estado do Pará (baía de Curuçá) através de imagens Landsat TM e ETM+ e CBERS 2B. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Curitiba. Anais... São José dos Campos: INPE, 2011. p. 5061-5069. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/displaydoccontent.cgi/dpi.inpe.br/marte/2011/07.25.14.31?closecloseb=yes&languagebutton=pt-BR&displaytype=FileList>> Acesso em: 10 de janeiro de 2022.
- ROLLNIC, M., BORBA, T.A.C., MASCARENHAS, A.C.C., PEREIRA, D.R., PEREIRA, L.S., M.R.O., SOARES, M.L.G., BÖCK, C.S., SANTOS, R.T.F., ASSAD, L.P.F., LANDAU, L., CARVALHO, G.V. “Áreas de Estudo”, Capítulo 2. Em: Projeto Costa Norte, – Desenvolvimento de Metodologias para o entendimento de processos costeiros e estuarinos e da vulnerabilidade de florestas de mangue na Margem Equatorial Brasileira. v.1. Rio de Janeiro (BR), 2020. p. 21-45.
- RUAULT, V., Jouanno, J., Durand, F., Chanut, J., & Benschila, R. Role of the Tide on the Structure of the Amazon Plume: A Numerical Modeling Approach. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, v. 125, n. 2, fev. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1029/2019JC015495>
- SANTANA, L. O. Uso de Sensoriamento Remoto para Identificação e Mapeamento do Paleodelta do Macarry, Amapá. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, p. 95. 2011.
- SANTOS, V. F., MACHADO, D. R., COSTA, W. J. P., LIMA, M. R., & ARAÚJO, D. M. Geologia. In: SANTOS, V. F. dos e FIGUEIRA, Z. R. (org.). Diagnóstico sócio-ambiental participativo do setor costeiro estuarino do Estado do Amapá. Macapá: MMA/GEA/IEPA, 2004. p. 11-34.

SELVAN, S. C., RAMASAMY, S. M., SANKAR, G., & ELANGO, L. Shoreline change and impacts of coastal protection structures on Puducherry, SE coast of India. *Natural Hazards*, v. 83, n. 1, p. 293–308, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2332-y>

SILVA JUNIOR, A. G.; SILVA, A. Q. Uso de QA Bands do Landsat 5 na detecção de mudanças da linha de costa na Baía do Guajará, Belém-PA. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO-SBSR*, 18., 2017, Santos, **Anais[...]**. Santos: [s.n], 2017.

SILVA JUNIOR, O. M.; SZLAFSZTEIN, C. F.; BAIA, M. M. Gestão de Riscos de Desastres no Arquipélago do Bailique, Foz do rio Amazonas, Amapá, Brasil. **Ensino de Geografia e a Redução do Risco de Desastres em Espaços Urbanos e Rurais**. 1ed. São Paulo: [s.n], 2022. p. 674-696. DOI:<https://doi.org/10.57243/BHUG1272>.

SILVA, A. B. N.; ANDRADE, M. M. N. Identificação de Risco à Erosão Fluvial na Cidade de Cametá (Pa), Brasil. *Revista Delos. Curitiba*. vol 12. nº 35, 2019. Disponível em < <https://ojs.revistadelos.com/ojs/index.php/delos/article/view/590>> Acesso em 14 de outubro de 2022.

SILVA, M. V.; SANTOS, V. F.; SILVEIRA, O. F. M.; Análise Multitemporal de Mudanças nas Ilhas Costeiras do Estado do Amapá Aplicando Dados de Sensores Remotos. *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.8614.

SKINNER, L. F. Gerenciamento ambiental marinho. *Diversidade e Gestão*, v. 1, p. 145-162, 2017. DOI: <https://doi.org/10.29327/538126>

SKINNER, L. F. Zona Marinha e Costeira: Desafios e Potencialidades. *In: CADEI, M. S.; AGUIAR, J. G.; OLIVEIRA, A. L. T. (Org.). Sociedade Atual e os Desafios Socioambientais*. Rio de Janeiro: INEA: CEADS/UERJ, 2022. p. 152-160. ISBN: 978-85-63884-30-5

TEIXEIRA, S. G.; BANDEIRA, I. C. N.; DANTAS, M. E. Shoreline Variation and Identification of Local Erosion Geoinicators on the Brazilian Amazon Coast. *Journal of Coastal Research*, v. 37, n. 6, p. 1088–1098, Coconut Creek (Florida), 2021. DOI: <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-20-00164.1>

THIOR, M., DIAKHA, A. T., DIOUF, A. I., SOW, M., & SANE, Y. Coastline dynamics of the northern Lower Casamance (Senegal) and southern Gambia littoral from 1968 to 2017. *Journal of African Earth Sciences*, v. 160, p. 103611, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2019.103611>

TORRES, A. M.; EL-ROBRINI, M.; COSTA, W. J. P. Amapá. *In: MUEHE, D. (Org.). Panorama da Erosão Costeira no Brasil*. Brasília, DF: MMA, 2018. p. 19-64. ISBN: 978-857738-394-8 (online)

TOURE, S., DIENG, A. L., MOCTAR, D., & DIEYE, A. M. Shoreline Detection using Optical Remote Sensing: A Review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, [S. l.], v. 8, n. 2, p. 75, 5 fev. 2019. Disponível em: <http://www.mdpi.com/2220-9964/8/2/75>. Acesso em: 2 dez. 2021.

VASCONCELOS, A. O., SILVA, J. R., FERREIRA, L. G., GOMES, A. R., ALVES, R. V., & SOUZA, M. F. Caracterização do Uso e Cobertura do Solo e da Linha de Costa. *Projeto Costa Norte, – Desenvolvimento de Metodologias para o entendimento de processos costeiros e estuarinos e da vulnerabilidade de florestas de mangue na Margem Equatorial Brasileira*. Rio de Janeiro: [s. n.], 2020. v. 2, p. 911–1029.

WANG, C., SUN, Z., ZHANG, S., & ZHANG, L. Deriving Natural Coastlines Using Multiple Satellite Remote Sensing Images. *Journal of Coastal Research*, [S. l.], v. 102, n. sp1, p. 296–302, 14 dez. 2020. Disponível em: <https://bioone.org/journals/journal-of-coastalresearch/volume-102/issue-sp1/SI102-036.1/Deriving-Natural-Coastlines-Using-MultipleSatellite-Remote-Sensing-Images/10.2112/SI102-036.1.full>. Acesso em: 2 de dezembro de 2021.

YUM, S.-G., LEE, S., LEE, J.-Y., & JANG, D.-C. A quantitative analysis of multi-decadal shoreline changes along the East Coast of South Korea. *Geomorphology*, v. 876, p. 162756–162756, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162756>.

## APÊNDICE B - ARTIGO 2

### **TÍTULO:** INFLUÊNCIA DA HIDRODINÂMICA NA EVOLUÇÃO MULTITEMPORAL (1991-2021) DA ILHA DE MARACÁ (AMAPÁ/AMAZÔNIA ORIENTAL)

#### **Resumo**

A Estação Ecológica Maracá-Jipioca (EEMJ) é uma unidade de conservação localizada na Zona Costeira Oceânica do Estado do Amapá (ZCOEA) submetida a inúmeras forçantes físicas, em especial as marés (hipermarés de até 12 m); as correntes de maré e latitudinais (2 m/s-1); os ventos (9 m/s<sup>-1</sup>) e a descarga hídrica do Rio Amazonas (175,000 m<sup>3</sup>.s-1) que promovem alta dinâmica na região entre estas forças podemos citar. A metodologia do trabalho consistiu na obtenção de cinco imagens de satélite Landsat (1991, 2001, 2008 2014 e 2021) vetorização da linha de costa através do software arquivos e quantificação e análise das áreas de erosão e agressão bem como as médias e taxas de avanço e recuo da linha de costa. Para melhor análise a EEMJ foi dividida em dois setores: O Setor Externo, exposto ao oceano atlântico foi o mais erosivo (74.97 km<sup>2</sup>) e recuo da LC de aproximadamente 1131.5 m e taxa de 37.72 m.ano<sup>-1</sup>, sem nenhuma área de acreção. O Setor Interno, exposto ao canal do Varador apresentou uma área de 5.7 km<sup>2</sup> de erosão e aproximadamente 1.28 km<sup>2</sup> de acreção. A LC desse setor teve um recuo médio de 173.4 m com média em torno de 5.8 m.ano<sup>-1</sup>, enquanto o avanço da LC foi de 528.11 m e taxa anual de 17.6 m. Os resultados atestaram que 97% da dinâmica da EEMJ é erosiva, com taxas que podem levar ao desaparecimento completo da ilha em menos de 180 anos, tornando necessário frequente monitoramento das mudanças da LC da região.

**Palavras-chave:** Unidade de Conservação, Amapá, Sensoriamento Remoto, Erosão.

#### **Abstract**

A The Maracá-Jipioca Ecological Station (EEMJ) is a conservation unit located in the Oceanic Coastal Zone of the State of Amapá (ZCOEA) subjected to numerous physical forcings, particularly tides (hyper-tides up to 12 m), tidal and latitudinal currents (2 m/s-1), winds (9 m/s-1), and the water discharge of the Amazon River (175,000 m<sup>3</sup>/s-1), which promote high dynamics in the region among these forces. The methodology of the study consisted of obtaining five Landsat satellite images (1991, 2001, 2008, 2014, and 2021), vectorizing the coastline using software tools, and quantifying and analyzing the areas of erosion and accretion, as well as the average rates of coastline advance and retreat. For a more comprehensive analysis, EEMJ was divided into two sectors: the External Sector, exposed to the Atlantic Ocean, was the most erosive (74.97 km<sup>2</sup>) with a coastline retreat of approximately 1131.5 m and a rate of

37.72 m/year, without any accretion area. The Internal Sector, exposed to the channel of the Varador, showed an area of 5.7 km<sup>2</sup> of erosion and approximately 1.28 km<sup>2</sup> of accretion. The coastline in this sector experienced an average retreat of 173.4 m with an average of around 5.8 m/year, while the advance of the coastline was 528.11 m with an annual rate of 17.6 m. The results confirmed that 97% of the dynamics of EEMJ are erosive, with rates that could lead to the complete disappearance of the island in less than 180 years, necessitating frequent monitoring of the changes in the coastline of the region.

**Keywords:** Conservation Unit, Amapa, Remote Sensing, Erosion.

## INTRODUÇÃO

A zona costeira (ZC) é afetada por fatores naturais como maré (amplitude/correntes), ondas, correntes oceânicas, oscilações do nível do mar, clima, geotectônica, desastres naturais e inundações costeiras, contribuindo para a alteração da linha de costa (LC) (Hossain *et al.* 2022a, Mondal *et al.* 2020, Pantusa *et al.* 2018). A erosão costeira no mundo é motivo de preocupação crescente devido aos impactos significativos nas zonas costeiras (ZC's) e comunidades ribeirinhas. Isso resulta na perda de terras costeiras, inundações, danos a infraestruturas, destruição de habitats naturais e ameaças à segurança das comunidades costeiras.

A LC é uma das mais importantes evidências físicas (geoindicadores) de dinâmica costeira (Menezes *et al.* 2018, França *et al.* 2020, Teixeira *et al.* 2021). Os critérios de definição da LC são variados, podendo ser a linha d'água no instante do levantamento de campo, a linha da preamar de sizígia, o limite da vegetação permanente, o limite terrestre da sedimentação de leques de lavagem em lagunas e estuários, a base ou o topo de falésias, dentre outros (França *et al.*, 2020; Vasconcelos *et al.*, 2020). Ao longo do tempo, a LC pode passar por várias alterações em resposta a forças naturais e/ou humanas. Em processos de acumulação na ZC, conhecidos como balanço sedimentar positivo, ocorre a deposição de sedimentos, resultando no avanço da LC. Por outro lado, em casos de erosão, ou balanço sedimentar negativo, ocorre o recuo da LC.

No Brasil, são mais de 8.000 km de LC sendo 40 % em situação de erosão (MMA, 2018), o que exige atenção e pesquisas nessas áreas para monitorar e mitigar estes processos. Técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento são as principais formas de evidenciar e analisar as mudanças na LC (Toure *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2020).

As Unidades de Conservação (UC) são áreas criadas com o objetivo de preservar as populações, habitats e ecossistemas do território nacional (continente e mar) com fins de preservar o patrimônio biológico presente nessas áreas (CODEVASF, 2021). A área de investigação deste artigo é a Estação Ecológica Maracá-Jipioca (EEMJ) que segundo o mesmo autor é uma UC dentre as 19 existentes no estado do Amapá. Esta ilha está exposta a diversas forças físicas como ondas, marés, correntes e ventos que promovem intensa dinâmica na região.

Como mecanismo de análise das mudanças nas ZCs ocasionadas pelas mais variadas forças, foram realizados nos últimos anos diversos trabalhos utilizando sensoriamento remoto e geoprocessamento para identificar as alterações na posição das LCs. Dentre esses trabalhos pode-se citar: Characterization of the coastal environment as a baseline for alternative tourism segments development in Salinópolis, Pará (Freitas *et al.* 2020); Análise multitemporal da variação da LC em praias estuarinas de macromaré na Amazônia Oriental (Baía *et al.* 2021); Fluvial erosion risk analysis: an amazon study case (Bandeira *et al.* 2021); Geotecnologias na análise da dinâmica costeira do estuário do rio Caeté (Rabelo *et al.* 2021); Detecção das mudanças costeiras na margem leste do estuário do rio Pará: uma análise multitemporal (1987-2019) utilizando sensoriamento remoto (Guimarães 2022); Evolução espacial da vegetação de manguezal entre 1972 à 2020 na parte nordeste da ilha do Marajó (Amazônia Oriental - Brasil) (Menezes *et al.* 2023)

Este artigo objetiva analisar a influência da hidrodinâmica nas mudanças recentes (1991-2021) da LC da EEMJ, quantificando as áreas em erosão e acreção, gerando médias e taxas anuais de cada processo, destacando as principais forças responsáveis pela dinâmica da área.

## **LOCALIZAÇÃO DA ÁREA**

A área de estudo localiza-se na Zona Costeira Oceânica do Estado do Amapá (ZCOEA) (1° 51' e 2° 12' Norte e 50° 9' e 50° 33' Oeste), no trecho entre o canal do Varador e o Oceano Atlântico, com área de 587 km<sup>2</sup>, distando cerca de 54 km da foz do estuário do rio Amazonas. O acesso à área de estudo se dá através de 2 formas por: (1) vias terrestre e aquática - o trajeto inicia-se a partir de Macapá, seguindo pela rodovia Perimetral Norte, acessando a BR - 156 e posteriormente a AP-116 até o município do Amapá, com trajeto de 300 km, é necessário ainda percorrer 21 km de barco pelo rio Flechal até chegar à área de estudo; ou aquática - partindo de Macapá, percorre-se um trecho de 360 km de barco pelo rio Amazonas, até a EEMJ.

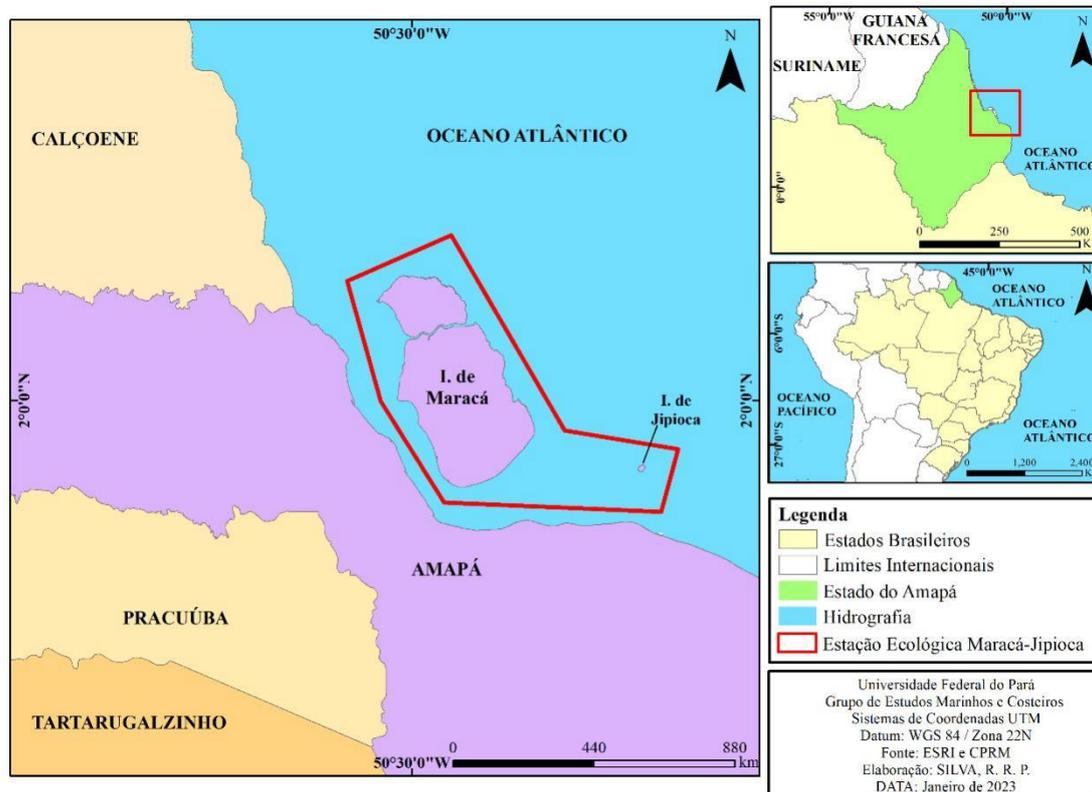


Figura 1: Mapa de localização da Estação Ecológica Maracá-Jipioca (município de Amapá).

## CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

De acordo com Novais e Machado (2023), o clima na Costa Atlântica do Amapá é classificado como Eq'oa, caracterizado como Equatorial úmido litorâneo amazônico. Segundo Torres *et al.* (2018), essa região apresenta duas estações distintas ao longo do ano: a estação seca, que ocorre de setembro a novembro, com média de precipitação de 50 mm/mês, e a estação chuvosa, ocorre de fevereiro a maio, com média de precipitação superior a 250 mm/mês. De acordo com o INMET (2023), a precipitação média é superior a 2.600 mm/ano.

Essa área é influenciada por diferentes sistemas atmosféricos, como as Linhas de Instabilidade, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), as Ondas de Leste, as Brisas, além dos fenômenos El Niño e La Niña, conforme Torres *et al.* (2018). Durante o período das imagens analisadas, foi registrado um evento El Niño moderado em 1991, seguido por La Niña forte em 2000, La Niña moderado em 2014 e La Niña moderado novamente em 2021.

De acordo com as informações fornecidas pelo INMET (2023) e Novais e Machado (2023), a temperatura média na região varia entre 25 e 27 °C, não apresentando grandes diferenças. Durante os meses de setembro a novembro, as temperaturas tendem a ser mais

elevadas, enquanto nos meses de janeiro a março, as temperaturas são um pouco mais baixas (Torres *et al.* 2018).

Os ventos exibem velocidade variável, com predominância de ventos provenientes do Nordeste, com média de  $9 \text{ m.s}^{-1}$ , e ventos do Sudeste, com média de  $3 \text{ m.s}^{-1}$  (Torres *et al.* 2018). Os ventos alísios atuam quase perpendicularmente à costa (alísios de nordeste) entre janeiro e junho, atingindo uma velocidade máxima de  $18 \text{ m.s}^{-1}$  em fevereiro. Entre julho e dezembro, os ventos mudam de direção, vindo do Sudeste, com velocidade média menor, abaixo de  $18 \text{ m/s}$  (Asp *et al.* 2018).

De acordo com Martins *et al.* (2014), a área de estudo está localizada em uma região composta por Depósitos Fluvio-Marinhas, que consistem em sedimentos arenosos e argilosos inconsolidados, os quais são abundantes em matéria orgânica. Esses sedimentos foram transportados através da maré e da descarga fluvial (Santos, 2016).

A área de pesquisa está localizada na Planície Flúvio-Marinha Macapá/Oiapoque, estando diretamente relacionada aos processos do sistema de drenagem do Estuário do rio Amazonas, como colmatagem, preenchimento de paleocanais, existência de lagos residuais, meandros abandonados, terraços e ilhas. Especificamente ao sul do Estuário do rio Flechal, também ocorrem processos marinhos e formação de restingas (Torres *et al.*, 2018).

A entrada de água doce no oceano Atlântico desempenha um papel crucial no controle da circulação local na foz e na plataforma continental interna, ocasionando alterações físicas e químicas nas águas oceânicas, como mencionado por Nittrouer *et al.* (2021). A descarga média de água do estuário do rio Amazonas é de  $175.000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  ( $\sim 6.930 \text{ km}^3 \text{ ano}^{-1}$ ), conforme Rault *et al.* (2019) e Pereira *et al.* (2022), variando entre  $250.000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  durante o período chuvoso (maio), e  $110.000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  durante o período seco (novembro), conforme Brasil (2005) e Less *et al.* (2021). Essa descarga representa de 16 % a 18 % do fluxo total de água doce para o oceano, como destacado por Latrubesse *et al.* (2017).

A entrada mensal de material em suspensão nos oceanos tem um impacto significativo na circulação hidrodinâmica, geoquímica e produtividade biológica, enquanto a acumulação de sedimentos pode alterar a geomorfologia da área de estudo, de acordo com Nittrouer (2021). A descarga sólida do rio Amazonas resulta em um elevado conteúdo de MÊS, estimado em  $1.200 \text{ Mt/ano}$  por Milliman e Farnsworth (2011), sendo maior nos meses de fevereiro e março e menor em outubro e novembro (Torres *et al.*, 2018). A maior parte desse material em suspensão, mais

de 90 %, é composta por partículas de tamanho silte e argila com diâmetro inferior a 63  $\mu\text{m}$ . Além disso, a contribuição de material dissolvido é estimada em 300 Mt/ano (Nittrouer 2021).

A partir da descarga de água e material sólido do rio Amazonas, forma-se uma pluma com espessura de 3 a 10 m e largura de 80 a 200 km que se desenvolve em várias direções na Plataforma Continental do Amazonas. O encontro da água doce da pluma com a água salgada do oceano Atlântico cria uma frente salina que se estende por até 150 km a partir da foz do Estuário do rio Amazonas (Rollnic *et al.* 2020).

A macromaré (amplitude de 6 m - Amapá) é a principal forçante (Torres *et al.* 2018), influenciando na dinâmica da LC. Entretanto, no Canal do Inferno (ilha de Maracá), a amplitude média (sizígia) pode atingir entre 9 m - 12 m caracterizando a hipermaré (Torres *et al.* 2018).

As ondas desempenham um papel significativo no transporte de sedimentos e na deriva litorânea na área de estudo, predominantemente em direção de leste para noroeste, como evidenciado pelo desenvolvimento dos cabos lamosos que se estendem em direção à Guiana Francesa (Torres *et al.*, 2018). Conforme Nittrouer *et al.* (1986), as ondas são geradas pelos ventos alísios de nordeste, com amplitude média de 1-2 m. No entanto, em fevereiro, podem atingir amplitude de até 3 m e velocidades de até 3  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  (Cachione *et al.*, 1995).

A EEMJ foi criada pelo decreto nº 86.061, em 02 de junho de 1981, pela extinta Secretaria Especial de Meio Ambiente (SEMA) que era o órgão responsável pela gestão ambiental no Brasil entre 1973 e 1989. Atualmente a área é administrada e fiscalizada pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMbio). A EEMJ tem sua habitação proibida, assim como não possui visitação aberta, sendo permitida apenas com autorização e supervisão do órgão gestor da área, para fins educacionais e de pesquisa (MMA, 2022). No entanto, segundo Monteiro (2009), antes de se tornar EEMJ, a área era habitada por ribeirinhos e criadores de búfalos, os quais após a desapropriação para regularização fundiária desta UC, alguns animais permaneceram, que rapidamente se adaptaram às condições locais, se asselvajaram e se multiplicaram. Atualmente, a EEMJ recebe em suas adjacências diversos pescadores artesanais da cidade de Amapá, na vila do Sucuriju e no arquipélago do Bailique (Amapá), e pescadores artesanais e comerciais vindos do estado do Pará, de municípios como Vigia e São Caetano de Odivelas, em busca dos recursos pesqueiros, e acabam usando a ilha de Maracá como suporte durante as variações drásticas de maré no canal do Varador (MMA, 2022).

## METODOLOGIA

A metodologia seguiu os seguintes procedimentos, através da aplicação de técnicas de geoprocessamento para analisar a variação da LC. Foram adquiridas 5 imagens orbitais do satélite LANDSAT (USGS - United States Geological Survey - Earth Explorer: <https://earthexplorer.usgs.gov/>) com intervalo de 30 anos (1991, 2000, 2008, 2014 e de 2021).

Tabela 1 - Dados das imagens utilizadas nesta pesquisa.

<b>Ano da Imagem</b>	<b>Satélite</b>	<b>Sensor</b>	<b>Órbita-Ponto</b>	<b>Data de Aquisição</b>	<b>Resolução Espacial</b>	<b>Bandas</b>	<b>Horário de Captura</b>
<b>1991</b>	Landsat 5	TM	225059	18/11/1991	30 m	5, 4, 3	12:58
<b>2000</b>	Landsat 5	TM	225059	09/10/2000	30 m	5, 4, 3	13:13
<b>2008</b>	Landsat 5	TM	225059	28/08/2008	30 m	5, 4, 3	13:20
<b>2014</b>	Landsat 8	OLI	225059	03/12/2014	30 m	6, 5, 4	13:34
<b>2021</b>	Landsat 8	OLI	225059	01/09/2021	30 m	6, 5, 4	13:34

Fonte: Autor.

As imagens orbitais foram tratadas, mediante uso do Arcmap 10.8 para realização da composição das bandas espectrais das imagens para proporcionar uma melhor visualização das imagens com cores mais próximas da realidade. As ferramentas utilizadas para o tratamento foram “Composite Bands” - composição das bandas espectrais criando uma nova imagem; e “Image Analysis” - criação de um recorte da imagem destacando apenas a área de estudo.

As imagens do satélite LANDSAT da USGS já discriminam em seus metadados o erro geométrico linear, no entanto é necessário calcular o erro acumulativo linear e areolar entre as 5 imagens. Esse procedimento foi realizado através da média dos erros geométricos lineares destas imagens. De posse desse valor (14 m), foi possível calcular erro acumulativo areolar destas imagens LANDSAT (422 m<sup>2</sup>), para tanto, é necessário fazer a regra de 3 (Figura 2) em cada imagem e depois calcular a média das 5 imagens:

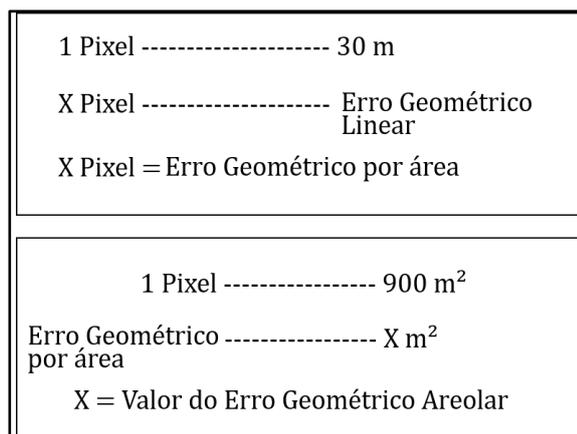


Figura 2. Representação do cálculo do Erro Geométrico Areolar das imagens Landsat. Fonte: Autor.

Essa etapa desempenha um papel crucial no trabalho, pois é nela que os erros acumulados das imagens são identificados, o que confere confiabilidade aos resultados produzidos. Isso ocorre porque limites foram estabelecidos tanto para mais quanto para menos em relação aos dados gerados, ao mesmo tempo em que os dados iguais ou menores que os erros definidos foram eliminados. O cálculo dos erros geométricos lineares e areolares é muito importante pois, durante o processo de registro das imagens pelo satélite, podem ocorrer deslocamentos em sua trajetória que, sem os erros, poderiam gerar um falso deslocamento da LC durante a vetorização das imagens. A vetorização da LC da área de estudo foi feita em cada imagem através da criação de um shape do tipo linha – utilizando a ferramenta Windows Catalog - que foi vetorizado sobre o contato da linha d'água com o manguezal por ser uma feição facilmente reconhecível nas imagens do satélite LANDSAT que são de média resolução, assim como a linha de vegetação de mangue tende sofrer menor interferência das marés.

Foi realizada a sobreposição dos vetores de LC das 5 imagens em apenas uma das imagens para que seja possível comparar a posição da LC e quantificar a variação ao longo dos 30 anos. Foi possível destacar as áreas de acreção e/ou erosão da LC através da medição da variação da distância entre os vetores de cada imagem. Para melhor analisar e visualizar essas medidas, foram criadas transectos transversais às LC's e polígonos entre elas para expressar essa variação, desconsiderando valores de linhas e polígonos iguais ou menores que aos erros geométricos lineares e areolares acumulativos.

Para quantificar as áreas em acreção e em erosão (m<sup>2</sup>) foram criados shapes do tipo polígonos no software Arcmap 10.8 para delimitar a área dinâmica entre a LC mais antiga (1991) e a mais recente (2021). Posteriormente, foram acessadas as propriedades da tabela de

atributos desses shapes e executada a função “Statistics” que proporciona todos os valores estatísticos dos polígonos.

## RESULTADOS

Durante um intervalo de tempo de 30 anos (1991 – 2021), foi constatado que a erosão foi predominante, abrangendo uma extensão total de 83.87 km<sup>2</sup> (média de 2,79 km<sup>2</sup>/ano). Em contraste, a acreção foi responsável por apenas uma área de 1.35 km<sup>2</sup> (média de 0,04 km<sup>2</sup>/ano). O avanço da LC foi de 167,5 m (5,5 m.ano<sup>-1</sup>) enquanto o recuo foi de 526 m, com taxa de 18 m/ano. As áreas sujeitas à erosão representaram 97 % do total, principalmente na parte externa, ou seja, o lado da ilha de Maracá voltado para o oceano Atlântico.

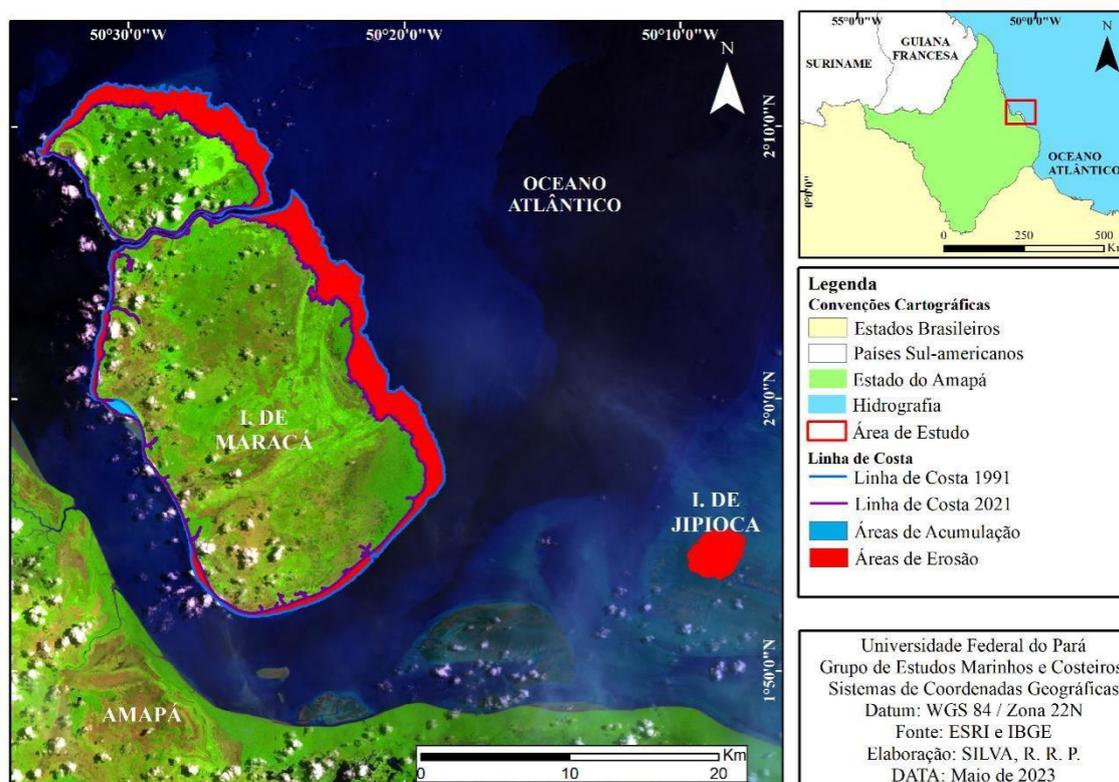


Figura 3. Mapa dos polígonos de mudança da EEMJ. Fonte: Autor.

Para melhor análise, os resultados da dinâmica da EEMJ foram divididos em 2 trechos: setor Externo, correspondente ao lado exposto ao oceano atlântico e; setor Interno, que corresponde ao lado da ilha exposto ao canal do Varador.

Da área total da EEMJ que é de 587 km<sup>2</sup> (Carvalho 2017), 14,28 % sofreu erosão nos últimos 30 anos. O setor Externo representou aproximadamente 90 % de toda área erodida da ilha com 74.97 km<sup>2</sup> e nenhuma área de acreção foi identificada. O recuo da LC neste setor foi

de aproximadamente 1131.5 m e taxa de 37.72 m.ano<sup>-1</sup>, no entanto não foi registrado nenhum trecho com avanço da LC neste setor. O setor Interno apresentou 5.7 km<sup>2</sup> de erosão e aproximadamente 1.28 km<sup>2</sup> de acreção, ou seja, um crescimento da ilha menor que 1 %. Neste setor, o recuo da LC foi de 173.4 m com média em torno de 5.8 m.ano<sup>-1</sup>, enquanto o avanço da LC foi de 528.11 m, com taxa anual de 17.6 m. É importante ressaltar que esse avanço da LC no setor interno foi restrito a uma extensão menor que 3 km, dentro da maior área de acreção contínua da EEMJ que foi de próximo de 1 km<sup>2</sup>.

Tabela 2: Dados de Erosão e Acreção dos Setores Externo e Interno da EEMJ.

	<b>Setor Externo</b>	<b>Setor Interno</b>
<b>Erosão Total</b>	74.97 km <sup>2</sup>	5.7 km <sup>2</sup>
<b>Taxa Anual</b>	2.499 km <sup>2</sup>	0.19 km <sup>2</sup>
<b>Acreção Total</b>	-----	1,28 km <sup>2</sup>
<b>Taxa Anual</b>	-----	0.042 km <sup>2</sup>
<b>Recuo</b>	1131.5 m	173.4 m
<b>Taxa Recuo</b>	37.72 m/ano	5.8
<b>Avanço</b>	-----	522.11 m
<b>Taxa de Avanço</b>	-----	17.6

Fonte: Autor.

A EEMJ é composta por 3 ilhas: A ilha de Maracá Norte, Maracá Sul e a ilha de Jipioca. Todavia, nessas 3 décadas a ilha de Jipioca foi totalmente erodida e atualmente encontra-se submersa (Santos 2016). Utilizando a linha do tempo de imagens do Google Earth Pró 2023, é possível encontrar registros da ilha de Jipioca até o ano de 2002, quando posteriormente não é mais identificada nas imagens de satélite. Observe a tabela 3 com os dados de erosão das ilhas pertencentes à ESEC:

Tabela 3: Dados de Erosão e Acreção da EEMJ.

	<b>EEMJ</b>	<b>Maracá Norte</b>	<b>Maracá Sul</b>	<b>Jipioca</b>
<b>Erosão Total</b>	83.87 km <sup>2</sup>	29.07 km <sup>2</sup>	54.80 km <sup>2</sup>	100%
<b>Taxa Anual</b>	2.79 km <sup>2</sup>	0.96 km <sup>2</sup>	1.82 km <sup>2</sup>	-----
<b>Acreção Total</b>	1.35 km <sup>2</sup>	0.06 km <sup>2</sup>	1,29 km <sup>2</sup>	-----

<b>Taxa Anual</b>	0.04 km <sup>2</sup>	0.002 km <sup>2</sup>	0.043 km <sup>2</sup>	-----
-------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	-------

Fonte: Autor.

## DISCUSSÃO

### Importância do SR

O Sensoriamento Remoto (SR) é uma ferramenta essencial para analisar as mudanças ao longo do tempo na Linha de Costa (LC), especialmente em áreas de difícil acesso. Essa técnica fornece informações valiosas que podem ser usadas pelos responsáveis por tomar decisões relacionadas ao gerenciamento costeiro, com o objetivo de preservar o equilíbrio e a saúde das zonas costeiras, especialmente aquelas designadas como Unidades de Conservação.

Ao empregar o SR nesses estudos, é possível obter uma visão detalhada da dinâmica costeira, permitindo que os tomadores de decisão entendam melhor as ameaças e os desafios enfrentados pela zona costeira. Isso facilita a implementação de ações adequadas de gerenciamento costeiro, como a adoção de medidas de conservação, restauração ou proteção, contribuindo para a preservação da biodiversidade e do bem-estar das comunidades que dependem desses ecossistemas costeiros. Ademais, o SR também desempenha um papel fundamental na monitorização contínua das áreas de conservação, permitindo que as mudanças ao longo do tempo sejam rastreadas e que as estratégias de gerenciamento possam ser ajustadas conforme necessário. Isso possibilita uma abordagem mais responsiva e sustentável na preservação dessas importantes áreas costeiras, contribuindo para a conservação da rica biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos que elas fornecem para a sociedade.

### Ilha em processo de Erosão

Foi possível perceber que a erosão na EEMJ Maracá-Jipioca tem sido intensa nos últimos anos, em especial nas áreas mais expostas ao oceano Atlântico que em associação com as correntes de maré geram uma intensa retirada de sedimentos da EEMJ. Segundo MMA (2022) essa região também é influenciada pelas descargas (hídrica/sólida) do rio Amazonas que promove erosão, transporte e deposição de sedimentos, produzindo constantes mudanças intensificando a dinâmica da área.

O canal do Varador, que separa a EEMJ do continente e que corre às margens do setor Interno da ilha, teria sido criado pelas forças que contribuiriam para o processo erosivo desta área (Santos, 2016). Entretanto, atualmente não é verificada erosão no canal do Varador, haja visto que se tem somente 6.8 % (5.7 km<sup>2</sup>) de erosão que ocorreram nos últimos 30 anos no setor

Interno da EEMJ. Além da erosão na LC da EEMJ, também ocorre erosão no interior da ilha de Maracá - principalmente Maracá Sul –, em virtude da presença de búfalos asselvajados que criam buracos para aliviar o calor, no entanto esses buracos geram canais que aumentam o processo de drenagem de lagos e assoreamento de rios além de propiciar a invasão de espécies vegetais que prejudicam a pastagem nativa (Monteiro 2009). Diante dos dados expostos sobre a EEMJ, é possível mensurar, através da realização de regra de 3 simples, que se mantiverem as taxas de erosão ocorridas nos últimos 30 anos, em 2050, 28 % da EEMJ será erodida (área de 164.94 km<sup>2</sup>), em 2100, 52 % erodida (304.72 km<sup>2</sup>) e no ano de 2201 toda a ilha de Maracá seria erodida, ficando apenas resquícios submersos assim como ocorreu com a ilha de Jipioca, ou seja, a ilha de Maracá pode desaparecer em cerca de 178 anos, devido a erosão.

### **Comparação com outras Regiões**

Analisando a variação multitemporal de outras áreas na região amazônica e ao redor do planeta com a EEMJ, podemos perceber que a erosão na área de estudo é expressiva. Qiao *et al.* (2018) analisou entre 1960 e 2015 a LC de Xangai e suas ilhas, registrando significativa acreção ao longo dos 55 anos com um aumento de 1.192,5 km<sup>2</sup> na área. Com base nos resultados do autor, a região apresentou 94,1 % de acumulação, 3,1 % de erosão e 2,8 % sem mudanças significativas. Gao *et al.* (2021) analisaram a região costeira de 82 ilhas chinesas entre 2010 e 2014 revelando 138 pontos de erosão em 39 ilhas, com taxa máxima de erosão de 18,3 m/ano, ou seja, a mesma taxa média de recuo da LC da EEMJ.

Estudos recentes sobre mudanças climáticas (Toledo e Bizawu 2019, Martins 2023) relatam que cinco nações (Maldivas, Tuvalu, Ilhas Marshall, Nauru e Kiribati) podem desaparecer devido a processos erosivos e aumento do nível do mar. No entanto, Arnall (2023) que analisou a evolução da LC em 49 ilhas de recifes ao longo de um período de 50 anos no Atol Huvadhoo (Ilhas Maldivas), registrou que apesar do aumento do nível do mar de 4,24 mm/ano no período 1969-2019, a acreção foi prevalente em 53 % das ilhas, com as demais ilhas erodindo (25 %) ou permanecendo estáveis (22 %). Menezes (2023) estudou a evolução espacial da vegetação de manguezal entre 1972 à 2020 na parte nordeste da Ilha do Marajó, área de influência das duas maiores desembocaduras do golfo Marajoara (Estuários dos rios Amazonas /Oeste e Norte, e Pará /Leste) e registrou um aumento de 64 % dos manguezais ao longo dos 48 anos.

Kestel, Wulf e Funk (2023) analisaram os riscos de erosão da costa no Sudeste africano entre 2005 e 2019 evidenciando que – adotando como principal forçante de análise os ventos –

somente 8,3 % da área apresentou risco médio ou alto de erosão. Saïdi, Jhine e Bjaoui (2023) evidenciaram que entre 1975 e 2020, a ilha de Djerba (Golfo de Gabes, SE-Tunísia) também sofre com a erosão costeira, e utilizando a ferramenta de geoprocessamento Digital Shoreline Analysis System, verificaram que a ilha teve um recuo médio de 3 a 10 m/ano, que corresponde cerca de metade do recuo médio anual atestado na EEMJ.

## CONCLUSÃO

As forças que atuam na área de estudo contribuem para a erosão através da retirada de sedimentos da LC assim como impedem que sedimentos provenientes das descargas do rio Amazonas se acomodem na região. As principais forças são as marés (macromaré de 6 m e hipermarés de até 12 m no canal do Varador), as correntes de maré e as correntes longitudinais que devido as grandes amplitudes de maré, tornam-se muito fortes, possuindo elevado papel erosivo na EEMJ.

A erosão foi alta (97 %) e abrange uma área de 83.87 km<sup>2</sup>, com recuo médio de 526 m e taxa de 18 m/ano. A área de acreção foi de apenas 1.35 km<sup>2</sup> e avanço da LC foi de 167,5 m (5,5 m/ano). O setor Interno da EEMJ teve acreção 1.28 km<sup>2</sup> e avanço da LC de 528.11 m com taxa anual de 17.6 m, todavia estes dados de acreção foram limitados principalmente numa extensão da LC inferior a 3 km de um setor que possui quase 40 km de extensão. Nos demais 37 km de LC do setor Interno, o recuo médio foi de 173.4 m com média em torno de 5.8 m/ano. O setor mais erosivo da EEMJ foi o Externo que representa cerca de 90 % de toda a erosão da ilha, abrangendo área de 74.97 km<sup>2</sup>, sem nenhuma área de acreção. O recuo da LC nesse setor foi de aproximadamente 1131.5 m e taxa de 37.72 m/ano, atestando definitivamente o predomínio da erosão na ilha.

As Unidades de Conservação são áreas de extrema importância para a preservação e conservação da biodiversidade e dos recursos naturais do nosso país. No que tange à biodiversidade a EEMJ tem grande valor em virtude de sua grande quantidade de animais e vegetais como pirarucu, surucucu, falcão-peregrino, águia-pescadora, anta e onça-pintada entre outras espécies endêmicas da região do Escudo das Guianas e/ou ameaçadas de extinção.

Devido ao expressivo processo de erosão nos últimos 30 anos, os prognósticos para a EEMJ são preocupantes haja vista que, em caso de manutenção dos índices de erosão que tem ocorrido desde 1991, é possível que – assim como ocorreu com a ilha de Jipioca – a ilha de Maracá seja totalmente erodida daqui a 150 anos. Essa projeção contribui com o aumento da necessidade de intensificação do monitoramento da estação ecológica afim de confirmar ou não a projeção e

gerar informações que auxiliem os órgãos públicos a adotarem medidas de gerenciamento costeiro mais adequadas para cada região do país.

### Referências:

ARNALL, A. Where land meets sea: Islands, erosion and the thing-power of hard coastal protection structures. *Environment and Planning E: Nature and Space*, p. 251484862211014, 22 maio 2022. DOI: 10.1177/25148486221101461

ASP, N.-G., MÖLLER, T., FERREIRA, C. E. L., MEIRELLES, P. M., MAHIQUES, M. M., & NITSCHKE, F. O. Sediment dynamics of a tropical tide-dominated estuary: Turbidity maximum, mangroves and the role of the Amazon River sediment load. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 214, p. 10–24, 15 dez. 2018. DOI: 10.1016/j.ecss.2018.09.004

BAÍA, L. B.; RANIERI, L. A.; ROSÁRIO, R. P. Análise Multitemporal Da Variação Da Linha De Costa Em Praias Estuarinas Do Nordeste Do Pará. v. 40, n. 1, p. 231–244, 24 mar. 2021. DOI: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v40i1.13470>

BANDEIRA, I. C. N. ; CONCEIÇÃO, R. A. C.; ANDRADE, M. M. N.; TEIXEIRA, S. G.; FONSECA, D. D. F.; LIMA, J. B. M.; AZAMBUJA, A. M. S.; GREGORIO, A. M. S.; MIYAGAWA, L. J. P. P.; SILVA, S. T. T.; AGUIAR, P. A. P. Fluvial Erosion Risk Analysis: An Amazon Study Case. *REVISTA GEONORTE*, V.12, N.39, p.01-25, 2021. DOI: <https://doi.org/10.21170/geonorte.2021.V.12.N.39.01.25>

BRASIL. Decreto nº 86.061, de 02 de junho de 1981. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 03 jun. 1981. Seção 1, p. 10205.

CACHIONE, D. A. DRAKE, D. E.; KAYEN, R. W.; STERNBERG, R. W.; KINEKE, G. C.; TATE, G.B. Measurements in the Bottom boundary layer on the Amazon subaqueous delta. *Marine Geology*, [S.l.], v. 125, p. 235-239, 1995. DOI: [https://doi.org/10.1016/00253227\(95\)00014-P](https://doi.org/10.1016/00253227(95)00014-P)

CARVALHO, V. N. O. 2017. Verificação de Limites. Processo Nº. 02070018009/2016-44. Nota Técnica Nº. 19/2017. Verificação de Limites da Estação Ecológica de Maracá-Jipioca. Divisão de Consolidação de Limites (DCOL)/Coordenação Geral de Consolidação Territorial (CGTER)/Diretoria de Ações Socioambientais e Consolidação Territorial em Unidades de Conservação (DISAT)/Instituto Chico Mendes para a Conservação da Biodiversidade. Brasília, DF. 20p.

CODEVASF, PLANO DIRETOR DA COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA. Caderno de Caracterização: Estado do Amapá. Organizadores: NASCIMENTO, Renan Loureiro Xavier; SOUZA, Camilo Cavalcante de; OLIVEIRA, Marcos Antonio das Neves de. Brasília – DF: Codevasf, 2021.

FRANÇA, C. F.; SILVA, R. R. P.; JÚNIOR, J. L. A. F.; ARAÚJO, F. A. Erosão da orla costeira Grande-Bispo, ilha de Mosqueiro, Belém-PA, através da análise de indicadores. *Geografia Ensino & Pesquisa*. Santa Maria, v.24, e20, 2020.

FREITAS, A.; ACHETE, F.; VINZÓN, F. B. Characterization of the Coastal Environment as a Baseline for Alternative Tourism Segments Development in Salinópolis, Pará. *World*, Basel, n. 1, p. 227-238, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/world1030017>

- GAO, W.; LI, P.; LIU, J.; XU, Y. Q.; LIU, L. J. Current status and formational mechanisms of coastal erosion on typical islands in China. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, v. 50, n. 10, p. 1670-1679, out. 2021. DOI: 10.56042/ijms.v50i10.36601
- GUIMARÃES, D. K. M. Detecção das Mudanças Costeiras na Margem Leste do Estuário do Rio Pará: Uma Análise Multitemporal (1987-2019) Utilizando Sensoriamento Remoto. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) - Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, p. 99. 2022.
- HANEN SAÏDI; MEYESSA JHINE; BÉCHIR BJAOUI. Stability state of a Mediterranean coastal environment threatened by erosion: the case of the Djerba Island (Gulf of Gabes, SE-Tunisia). *Research Square (Research Square)*, 5 jan. 2023. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2437129/v1>
- HOSSAIN, S. K. A.; MONDAL, I.; THAKUR, S.; FADHIL AL-QURAIISHI, A. M. Coastal vulnerability assessment of India's Purba Medinipur-Balasore coastal stretch: a comparative study using empirical models. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, v. 77, p. 103065, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.103065>.
- INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de Dados Meteorológicos do IIMET. Disponível em: <<https://bdmep.inmet.gov.br/#>>. Acesso em: 10 de março de 2023.
- KESTEL, F.; WULF, M.; FUNK, R. Spatiotemporal variability of the potential wind erosion risk in Southern Africa between 2005 and 2019. *Land Degradation & Development*, 23 fev. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.4659>
- KIREZCI, E. et al. Projections of global-scale extreme sea levels and resulting episodic coastal flooding over the 21st Century. *Scientific Reports*, v. 10, n. 1, p. 1–12, 30 jul. 2020. DOI:10.1038/s41598-020-67736-6.
- LATRUBESSE, Edgardo M. et al. Damming the rivers of the Amazon basin. *Nature Publishing Group*, [s. l.], v. 546, n. 7658, p. 363–369, 2017. DOI: 10.1038/nature22333
- LESS, M. M., DIANI, F. S., WARD, N. D., RICHEY, J. E., & DA CUNHA, A. C. Seasonal and Daily Variation of Hydrodynamic Conditions in the Amazon River Mouth: Influence of Discharge and Tide on Flow Velocity. *Journal of Coastal Research*, 2021. DOI: <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-21-00010.1>
- MARTINS, D. A Ameaça à Integridade Territorial dos Estados - O Fenômeno dos Estados em Desaparecimento em Face do Aumento do Nível do Mar. [s.l.] Leya, 2023. ISBN: 9789894000990
- MARTINS, M. H. A., SOUZA, L. C. S., CUNHA, L. L. S., MACHADO, D. R., & SILVA, J. R. Zoneamento Ecológico-Econômico Costeiro do Setor Atlântico do Estado do Amapá - ZEEC/AP. Macapá: Relatório Técnico. IEPA, 2014. Texto Explicativo do Mapa de Geologia do Setor Costeiro Atlântico do Estado do Amapá. 31 p.
- MENEZES, A. F.; PEREIRA, P. S.; GONÇALVES, R. M.; ARAÚJO, T. C. M.; SOUSA, P. H. G. O. Análise Da Vulnerabilidade À Erosão Costeira Através De Geoindicadores Nas Praias De Piedade E Paiva (Pe), Brasil. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 37, n. 2, p. 455 - 465, 2018.
- MENEZES, R. A. A.; MEDEIROS, B. R. DAS N.; PAULA, E. M. S. D. Evolução Espacial Da Vegetação De Manguezal Entre 1972 À 2020 Na Parte Nordeste Da Ilha Do Marajó (Amazônia Oriental – Brasil). *Revista GeoAmazônia*, v. 11, n. 21, p. 94–113, 12 jul. 2023.

MILLIMAN, John D.; FARNSWORTH, Katherine L. River Discharge to the Coastal Ocean: A Global Synthesis. Cambridge University Press, 2011. ISBN 978-0-521-87987-3.

MMA. Plano de Manejo Integrado do Fogo: Ciclo 2023 a 2028. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). Macapá, AP. p. 50, 2022.

MONDAL, I.; THAKUR, S.; JULIEV, M.; BANDYOPADHYAY, J.; DE, T. K. Spatiotemporal modelling of shoreline migration in Sagar Island, West Bengal, India. *Journal of Coastal Conservation*, v. 24, n. 4, p. 1-20, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11852-02000768-2>.

MONTEIRO, F. J. C. Impactos Ambientais Causados Pelos Búfalos Asselvajados Nos Campos Inundáveis Da Estação Ecológica De Maracá-Jipioca (Costa Atlântica Do Amapá). Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical) Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical, Universidade Federal do Amapá, Macapá, p. 93. 2009.

NITTROUER, C. A., RODRÍGUEZ, A. B., ALLISON, M. A., BIANCHI, T. S., FASSO, A., FITZGERALD, D. M., FOWLER, A. M., GAYES, P. T., HELLERICH, L., MARTIN, J. B., ORR, M. P., PAEZ-REYES, M., RIOSECO, L., ROSENHEIM, B. E., SANDERS, C. J., & TAMAYO, C. G. Amazon Sediment Transport and Accumulation Along the Continuum of Mixed Fluvial and Marine Processes. *Annual Review of Marine Science*, v. 13, n. 1, p. 501–536, 3 jan. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010816-060457>

NOVAIS, G. T.; MACHADO, L. A. Os Climas Do Brasil: segundo a classificação climática de Novais. *Revista Brasileira de Climatologia*, Dourados, MS, v. 32, Jan. / Jun. 2023.

PANTUSA, D.; D'ALESSANDRO, F.; RIEFOLO, L.; PRINCIPATO, F.; TOMASICCHIO, G. R. Application of a coastal vulnerability index. A case study along the Apulian Coastline, Italy. *Water*, v. 10, n. 9, p. 1218, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/w10091218>.

PEREIRA, Tiago J.; CASTELLÕES, Paula Vieira; NETTO, Sérgio A.. Amazon River discharge impacts deep-sea meiofauna. *Limnology And Oceanography*, [S.L.], v. 67, n. 10, p. 2190-2203, 10 ago. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/lno.12197>

QIAO, G., LIN, Y., LU, Z., JIANG, L., CHEN, X., & YU, S. 55-year (1960–2015) spatiotemporal shoreline change analysis using historical DISP and Landsat time series data in Shanghai. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 68, p. 238–251, jun. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.02.009>

RABELO, F. D. B.; SILVA, E. V.; GORAYEB, A. Geotecnologias na análise da dinâmica costeira do estuário do Rio Caeté – Pará. *Paper do NAEA*, Volume 30, Número 1, Edição 530. DOI: <http://dx.doi.org/10.18542/papersnaea.v30i1.11592>

ROLLNIC, M., BORBA, T.A.C., MASCARENHAS, A.C.C., PEREIRA, D.R., PEREIRA, L.S., M.R.O., SOARES, M.L.G., BÖCK, C.S., SANTOS, R.T.F., ASSAD, L.P.F., LANDAU, L., CARVALHO, G.V. “Áreas de Estudo”, Capítulo 2. Em: *Projeto Costa Norte, – Desenvolvimento de Metodologias para o entendimento de processos costeiros e estuarinos e da vulnerabilidade de florestas de mangue na Margem Equatorial Brasileira*. v.1. Rio de Janeiro (BR), 2020. p. 21-45.

RUAULT, V., Jouanno, J., Durand, F., Chanut, J., & Benschila, R. Role of the Tide on the Structure of the Amazon Plume: A Numerical Modeling Approach. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, v. 125, n. 2, fev. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1029/2019JC015495>

SANTOS, V. F. 2016. Plano de Manejo da Estação Ecológica de Maracá-Jipioca. Relatório Temático de Geologia–geomorfologia Marinho-costeira – Versão Final. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio)/IGPlan Inteligência Geográfica. Macapá, AP. 35p.

TEIXEIRA, S.G.; BANDEIRA, I.C.N., DANTAS, M.E., 2021. Shoreline variation and identification of local erosion geoindicators on the Brazilian Amazon coast. *Journal of Coastal Research*, 37(6), 1088–1098. Coconut Creek (Florida). DOI: <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-20-00164.1>

TOLEDO, A. P.; BIZAWU, K. Condições Jurídicas Internacionais De Intervenção Na Amazônia. *Veredas do Direito*, 2019. Disponível em: <<http://revista.domhelder.edu.br/index.php/veredas/article/view/1669>> Acesso em: 10/08/2023.

TORRES, A. M.; EL-ROBRINI, M.; COSTA, W. J. P. Amapá. In: MUEHE, D. (Org.). *Panorama da Erosão Costeira no Brasil*. Brasília, DF: MMA, 2018. p. 19-64. ISBN: 978-857738-394-8 (online)

TOURE, S. et al. Shoreline Detection using Optical Remote Sensing: A Review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, [S. l.], v. 8, n. 2, p. 75, 5 fev. 2019. Disponível em: <http://www.mdpi.com/2220-9964/8/2/75>. Acesso em: 2 dez. 2021.

## ANEXO A

### DECRETO Nº 86.061, DE 02 DE JUNHO DE 1981.

Cria Estações Ecológicas, e dá outras providências.

O PRESIDENTE DA REPÚBLICA, no uso das atribuições que lhe confere o artigo 81, item III, da Constituição, e tendo em vista o disposto na Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981,

DECRETA:

Art. 1º - Ficam criadas, em terras de domínio da União, nos Estados do Amazonas, Rio Grande do Sul, Mato Grosso, Acre e Piauí, nos Territórios Federais do Amapá e Roraima, as seguintes Estações Ecológicas:

I - ESTAÇÃO ECOLÓGICA DE ANAVILHANAS: localizada no Estado do Amazonas, Municípios de Manaus, Airão e Novo Airão, composta de 03 (três) áreas no total de 350.018 ha (trezentos e cinquenta mil e dezoito hectares), com os seguintes limites geográficos:

Municípios de Manaus e Airão: constituídos pelas ilhas pertencentes ao Arquipélago das Anavilhanas, localizado no Rio Negro, compreendido entre os paralelos de 3º02'11" S e 2º03'27" S. Partindo do ponto 1, situado à margem direita do Rio Negro, de coordenadas geográficas de latitude 2º08'19" S e longitude 61º12'25" a WGr, daí atravessa o Rio Negro no Azimute Geográfico de 47º00' numa reta de aproximadamente 9.400,00m até o ponto 2 situado à margem esquerda do referido rio, ponto este de coordenadas geográficas de latitude 2º03'27" S e longitude de 61º08'51" a WGr. Deste ponto, desce o citado rio pela sua margem esquerda, numa extensão de aproximadamente 161.000,00m até o ponto 3 de coordenadas geográficas de latitude 3º02'11" S e longitude 60º22'38" a WGr. Daí, atravessa o Rio Negro no Azimute Geográfico de 270º00', numa distância aproximada de 20.000,00m até alcançar o ponto 4 de coordenadas geográficas de latitude 3º02'11" S e longitude de 60º13'49" a WGr. Deste ponto, sobe o Rio Negro numa extensão aproximada de 141.000,00m até alcançar o ponto 1, considerado ponto inicial da descrição deste perímetro.

Município de Airão: partindo do ponto 1, situado a 2º25'57" de latitude S e 60º55'41" de longitude W, localizado junto à margem esquerda do Rio Negro, segue por uma linha seca e quebrada constituída de 4 (quatro) elementos nos Azimutes Geográficos aproximados de 347º; 2º; 1º; e 8º, nas distâncias aproximadas de 5.000,00m; 17.500,00m; 15.000,00m e 3.750,00m respectivamente, passando pelos pontos 2, 3 e 4, situados à 2º23'23" de latitude S e 60º56'21" e longitude W; 2º14

'11" de latitude S e 60º56'05" de longitude W; 2º05'57" de latitude S e 60º55'00" de longitude W, até o ponto 5 situado a 2º04'03" de latitude S e 60º55'00" de longitude W, localizado na margem esquerda do Igarapé Pinupedi. Deste ponto, segue pela margem esquerda do Igarapé Pinupedi no sentido montante, na distância aproximada de 16.250,00m, até o ponto 6, situado a 2º02'02" de latitude S e 60º49'03" de longitude W, localizado à margem esquerda do citado Igarapé. Deste ponto, segue por uma linha reta no Azimute Geográfico aproximado de 39º e na distância aproximada de 2.500,00m, cruzando o Igarapé Pinupedi até o ponto 7, situado a 2º00'57" de latitude S e 60º48'03" de longitude W, localizado na nascente do Igarapé Pinu-Mirim. Deste ponto, segue pela margem direita do Igarapé Pinu-Mirim no sentido jusante, na distância aproximada de 17.500,00m até o ponto 8, situado a 2º06'37" de latitude S e 60º41'05" de longitude W, localizado na foz do Igarapé Pinu-Mirim, na margem direita do Rio Pinu. Deste ponto segue pela margem direita do Rio Pinu no sentido jusante, na distância aproximada de 21.250,00m até o ponto 9, situado a 2º13'39" de latitude S e 60º41'54" de longitude W, localizado na foz do Rio Pinu, na margem direita do Rio Apuaú. Deste ponto, segue pela margem direita do Rio Apuaú no sentido jusante, na distância aproximada de 65.000,00m até

o ponto 10, situado a  $2^{\circ}32'26''$  de latitude S e  $60^{\circ}48'06''$  de longitude W, localizado no foz do Rio Apuaú, na margem esquerda do Rio Negro. Deste ponto, segue pela margem do Rio Negro no sentido montante, na distância aproximada de 21.500,00m até o ponto 1, ponto de origem da descrição deste memorial.

Município de Novo Airão: partindo da foz do Rio Maepedi, ponto 3, na margem esquerda do Rio Negro, nas coordenadas  $2^{\circ}07' S$  e  $61^{\circ}03' WGr.$ , sobe o Rio Maepedi até atingir a linha definida pelo

Decreto-lei nº 1.164/71, nas coordenadas  $2^{\circ}01' S$  e  $60^{\circ}57' W$ , ponto 4, e descendendo deste até o cruzamento da linha definida pelo Decreto-lei nº 1.164/71, com o Igarapé Pimpedi, nas coordenadas  $2^{\circ}05' S$  e  $60^{\circ}50' W$  ponto 5, segue a mesma até a margem esquerda do Rio Negro, nas coordenadas,  $2^{\circ}26' S$  e  $60^{\circ}50' W$ , ponto 6, subindo, finalmente, por esta margem até a foz do Rio Maepedi, ponto 3.

II - ESTAÇÃO ECOLÓGICA DE ARACURI-ESMERALDA: localizada no Estado do Rio Grande do Sul, Município de Esmeralda, composta de 03 (três) áreas, no total de 2.726.269,5351m<sup>2</sup> (dois milhões, setecentos e vinte e seis mil, duzentos e sessenta e nove metros quadrados e cinco mil, trezentos e cinquenta e um decímetros quadrados), com os seguintes limites geográficos:

- a) tomou-se como origem o vértice CO, que corresponde ao vértice A39 do polígono referente à Gleba A; do vértice CO ao vértice C9 a área é limitada também pelo Arroio Santa Rita que foi locado por ordenadas partindo dos vértices intermediários e de estacas do polígono, nesse trecho; o vértice C9 tem as seguintes coordenadas: latitude  $28^{\circ}13'51,498''$  longitude  $51^{\circ}10'34,203''$ ; do vértice C9 ao vértice C10, num alinhamento de 97,49m no rumo  $S 61^{\circ}01' E$ , fazendo um ângulo interno de  $110^{\circ}27'$  com o alinhamento anterior C9-C8, confronta com terras de Epitácio P. dos Santos; do vértice C10 ao vértice C11, num alinhamento de 49,30m no rumo  $S 43^{\circ}17' E$ , fazendo um ângulo interno de  $197^{\circ}44'$  com o alinhamento anterior confronta com terras de Epitácio P. dos Santos; do vértice C11 ao vértice C12 num alinhamento de 522,56m no rumo  $S 52^{\circ}32' E$ , fazendo um ângulo interno de  $170^{\circ}45'$  com o alinhamento anterior, confronta com terras de Epitácio P. dos Santos; do vértice C12 ao vértice C13 num alinhamento de 140,33m no rumo  $N 30^{\circ}13' E$ , fazendo um ângulo interno de  $82^{\circ}45'$  com o alinhamento anterior, confronta com a Estrada Estadual; do vértice C13 ao vértice C14 num alinhamento de 119,49m no rumo  $N 37^{\circ}55' E$ , fazendo um ângulo interno de  $187^{\circ}42'$  com o alinhamento anterior, confronta com a Estrada Estadual; do vértice C14 ao vértice C15, num alinhamento de 73,19m no rumo  $N 29^{\circ}06' E$ , fazendo um ângulo interno de  $171^{\circ}11'$  com o alinhamento anterior, confronta com a Estrada Estadual; do vértice C15 ao vértice C16, num alinhamento de 47,55m no rumo  $N 67^{\circ}09' E$ , fazendo um ângulo interno de  $218^{\circ}03'$  com o alinhamento anterior, confronta com a Estrada Estadual; do vértice C16 ao vértice C17, num alinhamento de 91,10m no rumo  $N 28^{\circ}33' W$ , fazendo um ângulo interno de  $84^{\circ}18'$  com o alinhamento anterior, confronta com terras da Madeireira Santa Teresa de Vacaria Ltda.; do vértice C17 ao vértice C18, num alinhamento de 169,79m no rumo  $N 55^{\circ}50' E$ , fazendo um ângulo interno de  $264^{\circ}23'$ , com o alinhamento anterior, confronta com terras da Madeireira Santa Teresa de Vacaria Ltda.; do vértice C18 ao vértice C19, num alinhamento de 369,85m, no rumo  $N 18^{\circ}09' W$ , fazendo um ângulo interno de  $106^{\circ}01'$  com o alinhamento anterior, confronta com terras de Carlos Kramer de Almeida; do vértice C19, que corresponde ao vértice A49 do polígono da Gleba A tem como divisa natural até o vértice C0, a Sanga existente sem denominação especial.
- b) Tomando-se como origem o vértice A0, tendo como coordenadas os seguintes valores calculados: latitude de  $28^{\circ}13'16,448''$  longitude  $51^{\circ}09'14,131''$ ; situa-se junto ao canto da cerca, no entroncamento da Estrada Estadual Esmeralda/Vacaria com a Estrada Municipal de

acesso à Lagoa Vermelha; a gleba em referência tem 2.286.077,8963m<sup>2</sup> (dois milhões, duzentos e oitenta e seis mil e setenta e sete metros quadrados e oito mil novecentos e sessenta e três centímetros quadrados) cuja medição foi realizada como segue: o lado constituído pelo alinhamento A0 - A1 com 137,29m de comprimento, rumo N 39°57' W é limite da propriedade com a Estrada Municipal e forma um ângulo de 91°31' com o alinhamento anterior - A0 - A62; do vértice A1 ao vértice A2 num alinhamento de 456,78m no rumo N 51°56' W, fazendo um ângulo interno de 168°01' com a alinhamento anterior, confronta com a Estrada Municipal; do vértice A2 ao vértice A3, num alinhamento de 172,03m no rumo N 67°56' W, fazendo um ângulo interno de 164°00' com o alinhamento anterior, confronta com a Estrada Municipal; do vértice A3 ao vértice A4, num alinhamento de 73,70m no rumo S 58°22' W, fazendo um ângulo interno de 126°18' com o alinhamento anterior confronta com a Estrada Municipal; do vértice A4 ao vértice A5, num alinhamento de 114,00m no rumo N 71°42' W, fazendo um ângulo interno de 229°56' com o alinhamento anterior, confronta com a Estrada Municipal; do vértice A5 ao vértice A6, num

alinhamento de 93,00m no rumo N 65°50' W, fazendo um ângulo de 185°52', com o alinhamento anterior, confronta com a Estrada Municipal; do vértice A6 ao vértice A7 num alinhamento de 147,00m no rumo N 67°15' W, fazendo com ângulo interno de 187°35', com o alinhamento anterior, confronta com a Estrada Municipal; do vértice A7 ao vértice A8, num alinhamento de 128,50m no rumo N 60°54' W, fazendo um ângulo interno de 186°21', com o alinhamento anterior, confronta com a Estrada Municipal; do vértice A8 ao vértice A9, num alinhamento de 63,00m no rumo N 68°36' W, fazendo um ângulo interno de 172°18', com o alinhamento anterior, confronta com a Estrada Municipal; do vértice A9 ao vértice A10, num alinhamento de 82,60m no rumo N 76°57' W, fazendo um ângulo interno de 171°39', com o alinhamento anterior, confronta com a Estrada Municipal; do vértice A10 ao vértice A11, num alinhamento de 392,00m no rumo S 68°18' W, fazendo um ângulo interno de 145°15', com o alinhamento anterior, confronta com a Estrada Municipal; do vértice A11 ao vértice A12, num alinhamento de 94,00m no rumo S 81°44', fazendo um ângulo interno de 193°26' com o alinhamento anterior, confronta com a Estrada Municipal; do vértice A12 ao vértice A13, num alinhamento de 84,45m no rumo N 84°45' W, fazendo um ângulo interno de 193°31', com o alinhamento anterior, confronta com a Estrada Municipal; do vértice A13 ao vértice A14, num alinhamento de 133,22m no rumo S 22°58' W, fazendo um ângulo interno de 107°43', com o alinhamento interior, confronta com a Estrada Municipal; o vértice A14 cujas coordenadas são latitude 28°13'04,199" longitude 51°10'21,741" é limite da propriedade e situa-se no barranco à margem esquerda do Arroio Santa Rita junto à Estrada Municipal de acesso ao Município de Lago Vermelha; do vértice A14 ao vértice A39 a área tem como divisa natural o Arroio Santa Rita, que foi locado por ordenadas, partindo dos vértices intermediários, e de estacas pertencentes aos alinhamentos do polígono nesse trecho; o vértice A39 tem para coordenadas os seguintes valores: latitude 28°13'38,862" longitude 51°10'25,991" e situa-se à margem do Arroio Santa Rita em sua confluência com a Sanga, que é divisa natural entre as glebas "A" e "C" até o vértice A49 que se situa à margem direita da mesma e tem as seguintes coordenadas: latitude 28°13

'37,769" e longitude 51°10'07,056"; do vértice, A49 ao vértice A50, um alinhamento de 369,85m no rumo S 18°09' E, fazendo um ângulo interno de 265°27' com alinhamento do vértice A48, confronta com terras de Ariovaldo Julio de Oliveira; do vértice A50 ao vértice A51, num alinhamento de 162,21m no rumo S 18°08' E, fazendo um ângulo interno de 180°01' com o alinhamento anterior, confronta com terras da Madreira Santa Teresa Ltda.; do vértice A51 ao vértice A52, num alinhamento de 60,46m no rumo N 68°39' E, fazendo um ângulo interno de 86°47

' com o alinhamento anterior, confronta com a Estrada Municipal; do vértice A52 ao vértice

A53, num alinhamento de 220,51m no rumo N 54°44' E, fazendo um ângulo interno de 166°05' com o alinhamento anterior, confronta com a Estrada Estadual; do vértice A53 ao vértice A54, num alinhamento de 94,70m no rumo N 65°51' E, fazendo um ângulo interno de 191°07' com o alinhamento anterior, confronta com a Estrada Estadual; do vértice A54 ao vértice A55, num alinhamento de 105,58m no rumo N 76°47' E, fazendo um ângulo interno de 190°56' com o alinhamento anterior, confronta com a Estrada Estadual; do vértice A55 ao vértice A56, num alinhamento de 77,80m no rumo N 61°38' E, fazendo um ângulo interno de 164°51' com o alinhamento anterior, confronta com a Estrada Estadual; do vértice A56 ao vértice A57, num alinhamento de 164,61m no rumo N 52°15' E, fazendo em ângulo interno de 170°37' com o alinhamento anterior, confronta com a Estrada Estadual; do vértice A57 ao vértice A58, num alinhamento de 141,06m no rumo N 39°25' E, fazendo um ângulo interno de 167°10' com o alinhamento anterior, confronta com Estrada Estadual; do vértice A58 ao vértice A59, num alinhamento de 145,50m no rumo N 42°38' E, fazendo um ângulo interno de 183°13' com o alinhamento anterior, confronta com a Estrada Estadual; do vértice A59 ao vértice A60, com o alinhamento de 318,00m no rumo 28°09' E, fazendo um ângulo interno de 165°31' com o alinhamento anterior, confronta com a Estrada Estadual; do vértice A60 ao vértice A61, num alinhamento de 239,00m no rumo N 41°49' E, fazendo um ângulo interno de 193°40' com o alinhamento anterior, confronta com a Estrada Estadual; do vértice A61 ao vértice A62, num alinhamento 68,30m no rumo N 47°08' E, fazendo um ângulo interno de 185°19' com o alinhamento anterior, confronta com a Estrada Estadual e, finalmente, do vértice A62 ao vértice A0, num alinhamento de 139,47m no rumo N 48°32' E, fazendo um ângulo interno de 181°24' com o alinhamento anterior, confronta com a Estrada Estadual.

- c) Limitado por um polígono de cinco lados, com origem no vértice B0, comum aos vértices "A50" e "C18", dos polígonos correspondentes às glebas "A" e "C" respectivamente: vértice B0 ao vértice B1, num alinhamento de 169,79m no rumo S 55°50' W, fazendo um ângulo de 73°58' com o alinhamento anterior - B0 - B4; confronta com terras de Ariovaldo Julio de Oliveira; do vértice B1 ao vértice B2, num alinhamento de 91,10m no rumo S 28°33' E, fazendo um ângulo interno de 95°37', com o alinhamento anterior, confronta com terras de Ariovaldo Julio de Oliveira; do vértice B2 ao vértice B3, num alinhamento de 17,36m no rumo N 72°45' E, fazendo um ângulo interno de 101°18' com o alinhamento anterior, confronta com a Estrada Estadual; do vértice B3 ao vértice 34, num alinhamento de 131,84m no rumo N 83°00' E, fazendo um ângulo interno de 190°15' com o alinhamento anterior, confronta com a Estrada Estadual; e, finalmente, do vértice B4 ao vértice B0, num alinhamento de 162,21m no rumo N 18°08' W, fazendo um ângulo interno de 78°52' com o alinhamento anterior, confronta com terras de Carlos Kramer de Almeida.

III - ESTAÇÃO ECOLÓGICA DE IQUÊ: localizada no Estado de Mato Grosso, Município de Aripuanã, composta de 01 (uma) área de 200.000 ha (duzentos mil hectares), com os seguintes limites geográficos: partindo do ponto onde o Rio 21 de Abril cruza com a Rodovia Ar-1, Km 177,760 (estaca 8.888), seguindo pela referida Rodovia até o Km 120 (estaca 6.000); daí, com uma linha seca, com rumo 0° S e distância de aproximadamente 27.200,00m, até atingir o Rio Iquê; daí, descendo, por este rio até atingir o ponto 02 da FUNAI, de coordenadas geográficas aproximadas de 12°18'20" S e 59°14'25" W; confluência de um ribeirão sem denominação, afluente da margem esquerda do Rio Iquê; daí segue pelo citado ribeirão a montante margem esquerda até a sua mais alta cabeceira, ponto 03 da FUNAI, de coordenadas geográficas aproximadas de 12°16'50" S e 59°14'40" W; daí segue por uma linha seca até a cabeceira de um ribeirão sem denominação, afluente da margem esquerda do Ribeiro Joaquim Rios, ponto 04 da FUNAI, de coordenadas geográficas aproximadas de 12°15'40" S e 59°14'20" W, daí segue pelo citado afluente a jusante margem direita até a confluência com o citado ribeirão; daí segue o ribeirão Joaquim Rios a jusante margem

direita, ponto 05 da FUNAI de coordenadas geográficas aproximadas de 12°15'25" S e 59°11'20" W; confluência de um ribeirão sem denominação, afluente da margem esquerda do citado ribeirão, daí segue pelo citado ribeirão a montante margem esquerda até a sua mais alta cabeceira, ponto 06 da FUNAI, de coordenadas geográficas aproximadas de 12°12'10" S e 59°09'40" W; daí segue por uma linha seca até a cabeceira de um ribeirão sem denominação, ponto 07 da FUNAI, de coordenadas geográficas aproximadas de 12°10'40" S e 59°08'30" W; daí segue o citado ribeirão à jusante margem direita até a confluência com outro ribeirão sem denominação, ponto 09 da FUNAI, de coordenadas geográficas aproximadas de 12°08'55" S e 59°03'40" W; daí segue o ribeirão sem denominação a montante margem esquerda, ponto 09 da FUNAI, de coordenadas geográficas aproximadas de 12°06'15" S e 59°03'30" W; daí segue por uma linha seca até a cabeceira de um ribeirão sem denominação, afluente da margem direita do Rio Alouiná ou Arimena, ponto 10 da FUNAI, de coordenadas geográficas aproximadas de 12°05'55" S e 59°01'05" W; daí segue o citado ribeirão a jusante margem direita até a confluência com o Rio Alouiná ou Arimena, ponto 11 da FUNAI, de coordenadas geográficas aproximadas de 12°05'05" S e 58°59'35" W; daí segue pelo Rio Alouiná ou Arimena, até sua mais alta cabeceira, pelo lado direito, daí com uma linha seca, com o rumo de 17°10' NW, distância de aproximadamente 25.200m, até atingir o ponto de partida do caminhamento.

IV - ESTAÇÃO ECOLÓGICA DE MARACÁ: constituída pela Ilha de Maracá, pelas ilhas e ilhotas, situadas no Rio Uraricoera, furos de Santa Rosa e Maracá, no Município de Boa Vista, Território Federal de Roraima, com uma área de de 101.312 ha (cento e um mil, trezentos e doze hectares) e os seguintes limites geográficos: partindo do ponto situado na margem esquerda do Rio Uraricoera, a 62° de longitude W, desce o referido rio pela margem citada, no sentido leste, cerca de 11,05 Km aproximadamente, até o ponto situado a 03°17'53" de latitude N e 61°56'05" de longitude W, encontrando aí o início do furo de Santa Rosa, braço esquerdo do Rio Uraricoera; daí, desce o furo de Santa Rosa, pela margem esquerda, em toda sua extensão, caracterizada por 56 Km no sentido nordeste, até o ponto situado a 03°33'50" de latitude N e 61°37'42" de longitude W, e 39 Km no sentido sudeste, até a altura do meridiano de 61°22'58" de longitude W, ponto de confluência dos furos de Santa Rosa e Maracá; daí, segue pelo meridiano citado, no sentido Sul, atravessando primeiramente o furo de Santa Rosa, atingindo o extremo Leste da Ilha de Maracá e, em seguida, atravessando o furo de Maracá, até atingir a margem direita do Rio Uraricoera, local este que pode também ser considerado como margem direita do furo de Maracá, braço direito do referido rio; daí, sobe o furo de Maracá, pela margem citada, de forma a abranger todas as ilhas e ilhotas situadas no mesmo, cerca de 83 Km aproximadamente até a altura do meridiano de 61°51'46" de longitude W; deste ponto, também considerado como margem direita do Rio Uraricoera, segue, subindo este pela margem citada, cerca de 20 Km aproximadamente até a altura do ponto situado a 31°14'20" de latitude N e 62° de longitude W; daí, segue pelo meridiano respectivo, no sentido Norte, atravessando o Rio Uraricoera e duas pequenas ilhas, até atingir a margem esquerda do mesmo rio, ponto inicial da descrição deste perímetro. A área contida nos limites acima descritos é de aproximadamente 101.312 ha, sendo que a parte situada a Oeste da linha que liga a Cachoeira do Capivara no furo de Maracá à Cachoeira Desce de Popa no Rio Amajari, abrangendo 92.081 ha, constitui parte do imóvel Tapequém; e a parte situada à Leste da linha acima descrita, abrangendo 9.231 ha, constitui parte do imóvel C-1, sendo que ambos os imóveis, Tapequém e C-1, estão matriculados em nome do União Federal.

V - ESTAÇÃO ECOLÓGICA DE MARACÁ-JIPIOCA: constituída pelas Ilhas de Maracá do Norte, Maracá do Sul e Jipioca, no Canal de Carapori, no Município de Amapá, Território

Federal do Amapá, com uma área de 72.000 ha (setenta e dois mil hectares), e os seguintes limites geográficos: localizadas no Oceano Atlântico, a primeira limitada pela latitude 1°59'14" N a 2°1'13" N longitude 49°31'41" W a 50°30'20" W e a segunda limitada pela latitude 1°59'06" N a 1°59'11" N longitude 49°31'13" W a 49°31'23" W.

VI - ESTAÇÃO ECOLÓGICA RIO ACRE: localizada na Gleba Abismo, Estado do Acre, Municípios de Assis Brasil e Sena Madureira, composta de uma área de 77.500 ha (setenta e sete mil e quinhentos hectares), com os seguintes limites geográficos: partindo do ponto 01 de Coordenadas Geográficas longitude 70°30'40" WGr. e latitude 10°56'00" S, situado na nascente do Rio Acre, divisa Brasil-Peru, no Município de Assis Brasil - AC, segue rumo 68°53' NE e distância de 25.000m, confrontando com terras da FUNAI, até encontrar o ponto 02 de Coordenadas Geográficas longitude 70°18'56" WGr. e latitude 10°51'26" S; daí segue pelo divisor de águas dos Rios Acre e Iaco, numa distância de 36.450m, confrontando com o seringal Senegal, até encontrar o ponto 03 de Coordenadas Geográficas longitude 70°03'20" WGr. e latitude 10°45'00" S; daí segue rumo 23°24' SE e distância de 36.500m, confrontando com o seringal Petrópolis, até encontrar o ponto 04 de Coordenadas Geográficas longitude 70°11'14" WGr e latitude 11°02'42" S, situado à margem esquerda do Rio Acre; daí sobe o curso do Rio Acre, divisa internacional Brasil-Peru, pela sua margem esquerda, uma distância de 48.180m, até atingir o ponto 01, inicial da descrição do presente perímetro.

VII - ESTAÇÃO ECOLÓGICA DE TAIAMÃ: localizada no Rio Paraguai, na faixa de fronteira, Estado de Mato Grosso, Município de Cáceres, composta de uma Ilha de 11.200 ha (onze mil e duzentos hectares), com os seguintes limites geográficos: partindo da bifurcação do Rio Paraguai e Bracinho, segue abaixo pela Rio Bracinho, margem direita, no sentido Sudeste, com uma distância de 31.500,00m, aproximadamente, até encontrar a Barra do Rio Formoso; daí, novamente descendo pelo Rio Bracinho, margem direita, no sentido Sul, com uma distância de 10.000,00m, aproximadamente, até encontrar a Barra do Rio Bracinho no Rio Paraguai; daí, subindo o Rio Paraguai, margem esquerda, no sentido Noroeste, com uma distância de 33.000,00m, aproximadamente, até encontrar o ponto de partida.

VIII - ESTAÇÃO ECOLÓGICA DE URUÇUI-UNA: localizada na Estado do Piauí, Município de Ribeiro Gonçalves, composta de uma área de 135.000 ha (cento e trinta e cinco mil hectares), com os seguintes limites geográficos: NE 44°57'49" W e 8°53'02" S SE 45°11'37" W e 9°06'34" S, NO 45°23'02" W e 8°39'26" S e SO 45°26'19" W e 8°54'24" S, e que foi desmembrada de um total de 756.100 ha (setecentos e cinqüenta e seis mil e cem hectares).

Parágrafo Único. A administração das Estações Ecológicas de que trata este Decreto será exercida pela Secretaria Especial do Meio Ambiente-SEMA, do Ministério do Interior, que poderá, para a execução das medidas de guarda e fiscalização, promover convênios com órgãos da administração pública e entidades privadas interessadas na preservação da natureza em geral.

Art . 2º - O Regimento Interno das Estações Ecológicas será baixado pelo Ministro de Estado do Interior, por proposta do Secretário do Meio Ambiente.

Art . 3º - Este Decreto entrará em vigor na data de sua publicação, revogadas as disposições em contrário.

Brasília-DF, 02 de junho de 1981; 160º da Independência e 93º da República.

JOÃO FIGUEIREDO

Mário David Andrezza

## ANEXO B

## COMPROVANTE DE SUBMISSÃO E PRIMEIRA LAUDA DO ARTIGO

[RBG] Agradecimento pela submissão Externa Caixa de entrada x  

 **Leonardo José Cordeiro Santos via Revista Brasileira de Geo...** ter., 25 de jul., 15:19     
para mim ▾

Rhuan Silva,

Agradecemos a submissão do trabalho "Mobilidade Recente da Linha de Costa Oceânica do Amapá: trecho Calçoene - Cabo Norte (Amazônia Oriental)" para a Revista Brasileira de Geomorfologia. Acompanhe o progresso da sua submissão por meio da interface de administração do sistema, disponível em:

URL da submissão: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/authorDashboard/submission/2453>  
Login: rhuanoceano

Em caso de dúvidas, entre em contato via e-mail.

Agradecemos mais uma vez considerar nossa revista como meio de compartilhar seu trabalho.  
Editores da Revista Brasileira de Geomorfologia

---

Revista Brasileira de Geomorfologia  
<https://rbgeomorfologia.org.br/>

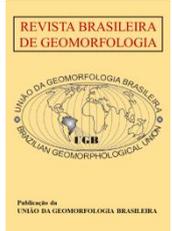


<https://rbgeomorfologia.org.br/>  
ISSN 2236-5664

## Revista Brasileira de Geomorfologia

v. xx, nº x (2023)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v24i2.0000>



*Artigo de Pesquisa*

# Mobilidade Recente da Linha de Costa Oceânica do Amapá: trecho Calçoene - Cabo Norte (Amazônia Oriental)

*Recent Mobility of the Oceanic Coastline of Amapá: Calçoene - North Cape stretch (Eastern Amazon)*

Nome Sobrenome <sup>1</sup>, Nome Sobrenome <sup>2</sup> e Nome Sobrenome <sup>2</sup> **Preencher após aceite**

<sup>1</sup> Instituição, Departamento, Cidade, País. E-mail. **Preencher após aceite**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000> **Preencher após aceite**

<sup>2</sup> Instituição, Departamento, Cidade, País. E-mail. **Preencher após aceite**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000> **Preencher após aceite**

Recebido: data; Aceito: data; Publicado: data

**Resumo:** A Zona Costeira Oceânica do Amapá (ZCOEA) é altamente dinâmica, e é influenciada por fortes meteorológicas (índice de chuvas, ventos, eventos extremos), hidrológicas (descarga hídrica/sólida do rio Amazonas), oceanográficas (hipermarés), o que resulta em grande variação na linha de costa (LC). Este artigo objetiva analisar a mobilidade recente (1991 a 2021) da LC no trecho entre a foz dos estuários dos rios Calçoene e Sucuriçu. Na metodologia, foram utilizadas 5 imagens do satélite LANDSAT para vetorizar a LC e aplicar o DSAS para quantificar a mobilidade das LCs. A análise revelou que o recuo da LC foi predominante no período estudado. No Setor Cabo Norte, a erosão atingiu 98,4% da extensão, com taxas de recuo de -439,52 m (NSM), -14,75 m/ano (EPR) e -14,70 m/ano (LRR). No Setor Amapá-Calçoene, a erosão afetou 80% da extensão, com taxas de -279,28 m (NSM), -9,37 m/ano (EPR) e -9,11 m/ano (LRR). Os resultados destacam a dinâmica significativa da ZCOEA e a necessidade de monitoramento contínuo da LC para auxiliar no planejamento e gerenciamento costeiro em face das mudanças observadas.

**Palavras-chave:** Zona Costeira; Amapá; DSAS; Erosão.

**Abstract:** The Oceanic Coastal Zone of Amapá (ZCOEA) is a highly dynamic and is influenced by meteorological (winds, extreme events), hydrological (river water and sediment discharges from the Amazon River), oceanographic (hyper tides), resulting in substantial shoreline variations. This article aims to analyze the recent mobility (1991 to 2021) of the shoreline in the stretch between the mouths of the estuaries of the Calçoene and Sucuriçu rivers. The methodology employed five LANDSAT satellite images to vectorize the shoreline and apply the DSAS to quantify shoreline mobility. The analysis revealed that shoreline retreat was predominant during the study period. In the Cabo Norte sector, erosion affected 98.4% of the extension, with recession rates of -439.52 m (NSM), -14.75 m/year (EPR), and -14.70 m/year (LRR). In the Amapá-Calçoene sector, erosion impacted 80% of the extension, with rates of -279.28 m (NSM), -9.37 m/year (EPR), and -9.11 m/year (LRR). These findings emphasize the significant dynamics of ZCOEA and the importance of continuous shoreline monitoring to support coastal planning and management in response to observed changes.

**Keywords:** Coastal Zone, Amapá, DSAS, Erosion.