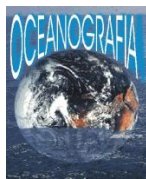




Universidade Federal do Pará



Faculdade de Oceanografia



Instituto de Geociências

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LUCIO CARDOSO DE MEDEIROS FILHO

**ANÁLISE DAS VARIAÇÕES MORFOLÓGICAS AO LONGO DO RIO
AMAZONAS ATRAVÉS DE IMAGENS MULTISENORES**

**BELÉM-PA
JANEIRO – 2012**

LUCIO CARDOSO DE MEDEIROS FILHO

**ANÁLISE DAS VARIAÇÕES MORFOLÓGICAS AO LONGO DO RIO
AMAZONAS ATRAVÉS DE IMAGENS MULTISENORES.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Oceanografia do Instituto de
Geociências da Universidade Federal do Pará –
UFPA, em cumprimento às exigências para
obtenção do grau de bacharel em Oceanografia.
Orientadora: Suzan Waleska Pequeno
Rodrigues.

Belém
2012

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

M488a Medeiros Filho, Lucio Cardoso de
Análise das variações morfológicas ao longo do rio Amazonas
através de imagens multisensores / Lucio Cardoso de Medeiros
Filho; Orientador: Suzan Waleska Pequeno Rodrigues – 2012
65 f. : il.
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em oceanografia) –
Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade
de Oceanografia, Belém, 2012.

1. Sensoriamento remoto. 2. Detecção de mudanças. 3. Rio
Amazonas. I. Rodrigues, Suzan Waleska Pequeno, *orient.* II.
Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 20ª ed.: 621.3678098113

LUCIO CARDOSO DE MEDEIROS FILHO

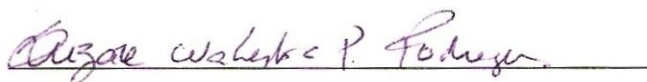
ANÁLISE DAS VARIAÇÕES MORFOLÓGICAS AO LONGO DO RIO
AMAZONAS ATRAVÉS DE IMAGENS MULTISENORES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Oceanografia do Instituto de
Geociências da Universidade Federal do Pará –
UFPA, em cumprimento às exigências para
obtenção do grau de bacharel em Oceanografia.

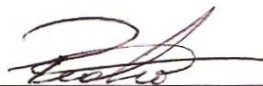
Data de Aprovação: 16/01/2012

Conceito: BOM

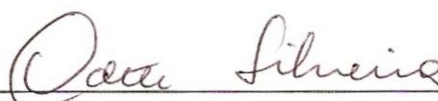
Banca Examinadora:



Msc. Suzan Waleska Pequeno Rodrigues – Orientadora
Mestre em Geologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará – UFPA



Dr. Pedro Walfir Martins Souza Filho – Membro
Doutor em Geologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará – UFPA



Dr.^a Odete Fátima Machado da Silveira - Membro
Doutora em Geologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará – UFPA

Àquela que incondicionalmente acredita em
mim, mãe, amo você!

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus e em segundo a minha família, por serem o alicerce para cada etapa vencida em minha vida. Em especial minha mãe Urcelina, por todo amor e crença incondicional desde sempre.

A Universidade Federal do Pará, pelo aparato físico de referência em ensino e pesquisa, por ter sido um espaço de engrandecimento ímpar em minha formação e por tantos momentos inesquecíveis vividos nesta instituição.

A minha orientadora Suzan Rodrigues, por ter abraçado com louvor este desafio de me orientar e por sua solicitude, presença e grandes sugestões em cada passo deste trabalho.

Ao professor Pedro Walfir por abrir as portas de seu laboratório e ter confiado em minha capacidade de aprendizado e realização deste trabalho.

Aos colegas do LAIT, Rafaela, Diogo e Wilson que acompanharam as etapas de meu trabalho, pelas conversas, sugestões e momentos de descontração. Em especial ao técnico do laboratório José Paulo, por ter me socorrido tantas vezes em momento de apuros durante o processamento de meus dados, valeu Paulo!

Aos amigos e colegas de turma, Inaiê Miranda, Cassiana Ribeiro, Luiza Mello, Rafael Aquino, Wellen Fernanda e tantos outros pela amizade, companheirismo, apoio em sala de aula e práticas de campo, com certeza serviram de suporte emocional e incentivo para o fim dessa importante etapa.

As professoras Silvia Kawakami e Victória Isaac, pela oportunidade de estágio em suas áreas pesquisa e concessão de bolsa de iniciação no decorrer de minha graduação, sem duvida serviram para expandir meu conhecimento e aguçar minha visão para a pesquisa científica.

Aos amigos, Cleyton, Rafael, Silvia e Danilo, pessoas que tenho plena certeza que posso contar pra vida toda e sei que torcem pelo meu sucesso, saibam que a recíproca é verdadeira.

Enfim, a todos as pessoas que contribuíram de forma direta ou indireta para realização deste trabalho, deixo aqui registrado o meu muito obrigado!

“Não cruze os braços diante de uma dificuldade, pois o maior homem do mundo morreu de braços abertos.”

Bob Marley

RESUMO

A bacia hidrográfica do Amazonas pode ser considerada um sistema morfodinâmico, funcionando através da interação da dinâmica de fluidos, transporte de sedimentos e mudanças morfológicas. Gradientes no transporte de sedimento resultam em regiões de erosão e deposição alterando a morfologia. Essa nova morfologia leva a mudanças na hidrodinâmica que pode então reforçar ou amenizar tais alterações. Este trabalho objetiva detectar as mudanças ao longo do rio Amazonas tendo como limites os municípios de Almerim e Porto de Moz até a sua foz identificando e quantificando as alterações em um período de 22 anos (1986-2008), com intervalos de aproximadamente 10 anos, associando possíveis influências de agentes físicos que contribuíram para tais modificações. Foram utilizadas imagens de sensores remotos ópticos (*Thematic Mapper – TM* do satélite Landsat-5) e microondas (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*) - PALSAR do Satélite ALOS e o *Synthetic Aperture Radar - SAR* do satélite JERS-1 além do modelo digital de elevação -MDE do *Shuttle Topography Radar -SRTM* como dado secundário para a ortoretificação das imagens. Com intuito de melhorar a análise das alterações estudadas foram adquiridas informações temporais de pluviosidade, vazão e maré da área de estudo que foram posteriormente correlacionadas entre si a fim de se investigar suas influências nos resultados obtidos. Observou-se predominância de acreção na escala de tempo analisada, com maior significância entre os anos de 1995 e 2008. Uma das causas desse acréscimo sedimentar pode estar relacionada a migração de bancos arenosos e retrabalhamento dos sedimentos pelas marés de sizígia que retiram os sedimentos da zona de intermaré superior, transportando-os para as zonas de intermaré média e inferior. Estudos anteriores têm demonstrado que a foz do rio Amazonas é predominantemente subaquosa, e a lâmina d'água aumenta em direção costa afora de forma muito gradual contribuindo para altas taxas de acumulação de sedimento. Outra fonte importante que pode justificar a acreção e instabilidade de depósitos sedimentares está relacionada a migração das lamas fluidas, o que representa alta taxa de deposição sedimentar por coesão em um curto período de tempo. Frequentes ocorrências de La Nina nos últimos anos também podem ter contribuído para altos índices de descarga fluvial e conseqüente aumento na deposição sedimentar evidenciando predominância de acreção na última década.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Detecção de mudanças. Rio Amazonas.

ABSTRACT

The basin of the Amazon can be considered a morphodynamic system, functions through the interaction of fluid dynamics, sediment transport and morphological changes. Gradients in sediment transport result in areas of erosion and deposition by changing the morphology. This new morphology leads to changes in hydrodynamics which can then enhance or mitigate these changes. This study aimed to detect changes along the Amazon River has as limit the city of Almeirim and Porto de Moz to its mouth, identifying and quantifying the changes in a period of 22 years (1986-2008), with intervals of about 10 years, associating the possible influence of physical agents that contributed to such changes. We used images optical of remote sensing (Thematic Mapper - TM of Landsat-5) and microwave (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar) - PALSAR of satellite ALOS and the Satellite Synthetic Aperture Radar - SAR satellite of JERS-1 beyond the model digital elevation-DEM-Shuttle Radar Topography SRTM as secondary data for orthorectification of the images. In order to improve the analysis of the changes studied were acquired temporal information on rainfall, flow and tide of the study area which were then correlated in order to investigate their influence on results. There was a predominance of the accretion time scale analyzed with greater significance in the years 1995 and 2008. One of the causes of this increase may be related to sediment migration of sandbanks and reworking of sediments by spring tides that pull the sediments of the upper intertidal zone, transporting them to the intertidal zones of middle and lower. Previous studies have shown that the mouth of the Amazon River is predominantly subaqueous and water depth increases toward the coast apart slowly. This shallow depth contributes to high rates of sediment accumulation. Another important source that can justify the instability of accretion and sedimentary deposits is related to migration of fluid mud, which represents a high rate of sediment deposition for cohesion in a short period of time. Frequent occurrence of La Nina in recent years may also have contributed to high rates of river discharge and consequent increase in sediment deposition showing a predominance of accretion in the last decade.

Key words: Remote sensing. Change detection. Amazon River.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Aplicações do sensoriamento remoto e suas interações.....	19
Figura 02 – Mapa de localização da área de estudo.....	23
Figura 03 – Mapa Geológico do rio Amazonas.....	24
Figura 04 – Geologia regional da área de estudo na Bacia do Marajó e Plataforma do Amapá.....	25
Figura 05 – Figura esquemática mostrando o comportamento das lamas fluidas durante o ano no litoral amazônico.....	26
Figura 06 – Bloco diagrama na desembocadura do Amazonas mostrando seu delta submarino e os fatores oceanográficos atuantes.....	29
Figura 07 – Fluxograma das etapas do processamento digital de imagens (PDI).....	39
Figura 08 – Segmentação de imagem utilizando o software <i>Definiens Ecognition</i>	42
Figura 09 – Delimitação das duas classes: continente e água.....	44
Figura 10 – Área de estudo evidenciando áreas de acreção e erosão entre intervalos de (A) 1986 a 1996 e (B) 1996 a 2008.....	51
Figura 11 – Mapa evidenciando as principais áreas de acreção e erosão entre o período total observado (1986 e 2008).....	52
Figura 12 – Comparação entre taxas de acreção e erosão nos diferentes intervalos analisados.....	52
Figura 13 – Percentual de áreas alteradas por setores	52
Figura 14 – Área de estudo compartimentada em setores (A) e evidenciando as principais áreas de acreção e erosão (B) entre o período total de análise (1986-2008).....	53
Figura 15 – Alterações morfodinâmicas próximo a foz do rio Amazonas.....	56
Figura 16 – Correlação entre dados de vazão e precipitação.....	58
Figura 17 – Correlação entre dados de maré e vazão.....	58
Figura 18 – Intensidade dos fenômenos de El Nino e La Nina durante seus anos de ocorrência.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Características das bandas do sensor TM.....	34
Tabela 02 – Características do SAR.....	35
Tabela 03 – Características do PALSAR.....	35
Tabela 04 – Características do SRTM.....	36
Tabela 05 – Datas de aquisição das imagens Landsat-5/TM com as suas respectivas órbita/ponto para o ano de 1986.....	40
Tabela 06 – Descrição dos dados de segmentação utilizados.....	42
Tabela 07 – Dados de Classificação.....	43
Tabela 08 – Dados para a detecção de mudanças.....	44
Tabela 09 – Índices qualitativos ordinais para cada intervalo de kappa.....	45
Tabela 10 – Índice Kappa para a imagem LANDSAT-5/TM 1986.....	48
Tabela 11 – Índice Kappa para a imagem JERS 1995.....	49
Tabela 12 – Índice Kappa para a imagem ALOS/PALSAR 2008.....	49
Tabela 13 – Quantificação de áreas alteradas por setores em km ²	52

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

- ALOS – *Advanced Land Observing Satellite*
- ATA – *Anticiclone Tropical Atlântico*
- ATAN – *Anticiclone Tropical Atlântico Norte*
- CBERS – *China-Brazil Earth-Resources Satellite*
- CGSI- CSI – *Consortium for Spatial Information*
- CHN – Centro de Hidrografia e Navegação
- CNB – Corrente Norte do Brasil
- CNB – Corrente Norte do Brasil
- DEM – Digital Elevation Model
- DGI/INPE – Divisão de Geração de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação
- FBD – *Fine Beam Dual*
- FBS – *Fine Beam Single*
- GLCF – *Global Land Cover Facility*
- GRFM – *Global Rain Forest Mapping*
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IHS – *Intensity – Hue – Saturation*
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
- JAXA – *Japan Aerospace Exploration Agency*
- JERS-1 – *Japanese Earth Resources Satellite -1*
- LAIT – Laboratório de Análise de Imagens do Trópico Úmido
- MITI – *Ministry of International Trade and Industry*
- NASDA – *National Space Development Agency of Japan*
- OIF – *Optimum Index Factor*
- OPS – Sensor óptico
- PALSAR – *Phased Array type Lband Synthetic Aperture Radar*
- PDI – Processamento Digital de Imagens
- PIXEL – *Picture x Elements*
- PLR – *Fully polarimetric*
- RADAR – *Radio Detection Ranging*
- RMS – *Room Mean Square*
- SAR – *Synthetic Apertura Radar*

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*

TM – *Thematic Mapper*

UFPA – Universidade Federal do Pará

USGS – *United States Geological Survey*

ZCA – Zona Costeira do Amapá

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

ZTM – Zona de Turbidez Máxima

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVO	17
2.1 OBJETIVO GERAL	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3 REVISÃO DE LITERATURA	18
3.1 SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO A DETECÇÃO DE MUDANÇAS..	18
3.2 CONSIDERAÇÕES A CERCA DOS PROCESSOS DE ALTERAÇÃO COSTEIRA.....	20
4 ÁREA DE ESTUDO	21
4.1 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS.....	22
4.1.1 Geologia e Sedimentologia	22
4.2 PARÂMETROS METEOROLÓGICOS E OCEANOGRÁFICOS	26
4.2.1 Clima	26
4.2.2 Ventos	27
4.2.3 Hidrodinâmica	27
4.2.3.1 Marés.....	30
4.2.3.2 Correntes de maré.....	31
4.2.3.3 Ondas.....	32
5 MATERIAIS E MÉTODOS	33
5.1 MATERIAIS.....	33
5.1.1 Landsat-5/TM.....	33
5.1.2 JERS-1/ SAR.....	34
5.1.4 SRTM (Versão 4).....	36
5.1.5 Aquisição de séries temporais.....	36
5.2 METODOLOGIA.....	37
5.2.1 Pré processamento e Processamento Digital de Imagens (PDI).....	37
5.2.1.1 Pré-Processamento das imagens.....	38
5.2.1.1.1 <i>Correção Atmosférica</i>	38
5.2.1.1.2 <i>Correção Geométrica</i>	38
5.2.1.1.3 <i>Mosaico</i>	39
5.2.1.2 Processamento digital de imagens.....	40
5.2.1.2.1 <i>Realce</i>	40
5.2.1.2.2 <i>Filtro</i>	40

5.2.2 Classificação orientada a objeto para detecção de mudanças.....	40
a) Árvore de Processos (<i>Process Tree</i>).....	40
a.1) Segmentação.....	41
a.2) Classificação.....	42
5.2.3 Detecção e Quantificação de Mudanças.....	43
5.2.3.1 Acurácia da classificação.....	44
5.2.3.2 Matriz de confusão das classes geradas (1986, 1995 e 2008).....	44
5.2.4 Estatística de dados complementares.....	46
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	47
6.1 AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA DE CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETOS.....	47
6.2 DETECÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE MUDANÇAS.....	48
6.3 COMPARAÇÃO DE ÁREAS ALTERADAS POR SETORES.....	51
6.4 ÁREAS DE ALTERAÇÕES SIGNIFICATIVAS	53
6.5 ASPECTOS MORFODINÂMICOS E CONDIÇÕES SAZONAIS.....	55
6.5 OCORRÊNCIAS DE <i>EL NINO E LA NINA</i>	58
7 CONCLUSÕES.....	59
REFERÊNCIAS.....	60

1. INTRODUÇÃO

O IBGE em conjunto com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Agência Nacional de Águas - ANA e Instituto Nacional Geográfico do Peru - IGU definiram a bacia Amazônica como o maior e mais complexo sistema hidrográfico do planeta Terra. O principal rio desta bacia é o Amazonas, que possui 6.992,06 km de extensão e descarga média anual de 209.000 m³/s (MARINHO e MELO, 2009). Devido a estas dimensões, a região apresenta certa complexidade no seu regime hidrológico que influencia na distribuição das chuvas ao longo do ano.

Os processos atuantes na bacia Amazônica, dadas as suas particularidades ambientais, adquirem características intensas responsáveis por grandes mudanças geomorfológicas. Estas características dão ao rio Amazonas uma enorme capacidade de modificação de seus canais em curto espaço de tempo, fazendo da várzea, um ambiente extremamente frágil e peculiar da região, susceptível a alterações morfológicas anuais. Os processos fluviais de erosão e deposição, em especial as “terras caídas”, que representa a erosão de seus canais, associados à sazonalidade do rio, trazem conseqüências sociais diretas para as localidades da várzea amazônica.

O Sistema de dispersão do rio Amazonas é observado como um dos agentes responsáveis pela geração de novas terras ao longo dos canais norte e sul (SILVEIRA e SANTOS, 2006). É neste cenário dinâmico que formam-se ilhas na costa do Amapá que compõem a fisiografia do litoral norte amazônico. O transporte de sedimentos do sistema fluvial amazônico não ocorre diretamente das cabeceiras dos rios para os oceanos, sendo parte dela estocada ao longo da trajetória de escoamento dos rios, dando origem às planícies fluviais. As relações entre a dinâmica das correntes fluviais e os tipos e quantidades de carga sedimentar determinam os regimes de transporte dos mesmos e estabelecem uma grande variedade de formas de canal fluvial. A bacia hidrográfica do Amazonas pode ser considerada um sistema morfodinâmico, funcionando através da interação dos três componentes principais: dinâmica de fluidos, transporte de sedimentos e mudanças morfológicas. A dinâmica de fluidos é induzida pela entrada de energia no sistema através de correntes e ondas e é influenciada pela topografia. Este ajuste mútuo da topografia e da dinâmica de fluidos é interligado pelo transporte de sedimento ao longo do tempo. Gradientes no transporte de sedimento resultam em regiões de erosão e deposição alterando a morfologia. Essa nova morfologia leva a mudanças na hidrodinâmica que pode então

reforçar ou amenizar tais mudanças morfológicas. Estudos de Silva et al. 2011 reforçam esta análise.

O estudo da evolução dos litorais, normalmente, pode ser feito a partir de duas escalas temporais distintas: uma de longo prazo, que envolve ciclos de milhares a dezenas de anos, onde os processos de modelagem da costa estão associados as variações climáticas, e outra, de curto prazo (escala de meses ou anos), onde estão envolvidos os processos dinâmicos que controlam a evolução da paisagem na atualidade (FORBES e LIVERMAN, 1996).

O rio Amazonas possui uma vasta extensão geográfica e de grande dinâmica na alteração da paisagem, portanto de grande potencial para estudos com imagens de satélites, o que permite estudos de mapeamento e monitoramento rápido e de baixo custo. Em função disso, pode-se considerar a importância que tem a observação da região amazônica e de seus recursos naturais por meio da utilização de dados de sensores remotos.

Neste contexto, com o advento do sensoriamento remoto e a disponibilidade de imagens gratuitas, foram utilizados dados de sensores ópticos *Thematic Mapper - TM* e imagens dos sensores de microondas *Synthetic Aperture Radar - SAR* do satélite *Japanese Earth Resources Satellite - JERS-1* e *Phased Array type L band Synthetic Aperture Radar - PALSAR* do satélite *Advanced Land Observing Satellite - ALOS* disponíveis no banco de dados do Laboratório de Imagens do Trópico Úmido (LAIT/UFPA) para detectar as mudanças ao longo do rio Amazonas, identificando e quantificando as alterações em no período de 1986 a 2008, associando as influências dos agentes físicos na detecção de mudanças para esta área de estudo, de modo a investigar se essas mudanças podem ocorrer devido a padrões cíclicos de frequência, intensidade ou alternância entre períodos chuvosos e secos, de direção e intensidade dos ventos, de regime de ondas e marés, de transporte sedimentar e do balanço local de sedimentos, desencadeando processos de erosão, transporte e sedimentação costeira.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O presente trabalho teve como objetivo realizar um mapeamento multitemporal do trecho que situa-se desde a foz do rio Amazonas até as proximidades dos municípios de Almerim e Porto de Moz através de imagens de multisensores como, radares imageadores (JERS-1/SAR; ALOS/PALSAR; SRTM) e imagens ópticas (LANDSAT-5/TM).

A partir deste mapeamento, foi possível a detecção de mudanças na área de estudo em uma escala temporal de 22 anos, que compreende os intervalos de 1986 a 2008, bem como a quantificação de áreas que sofreram erosão e acreção ao longo das últimas décadas.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Detecção e quantificação de áreas alteradas ao longo do canal norte e sul do rio Amazonas;
- Associar a ação de agentes físicos, de modo a investigar suas influências nos produtos gerados.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO A DETECÇÃO DE MUDANÇAS

A detecção de mudanças pode ser definida como o reconhecimento de alterações nos padrões característicos de determinado alvo nas imagens em certo período de tempo (SANTOS et al., 2005). O sensoriamento remoto possibilita o levantamento de dados sobre mudanças em extensas áreas (WEIERS, 1999; WERNER e KENNEWEG, 1999 apud LANG, 2009). Por isso torna-se interessante utilizar o potencial do sensoriamento remoto por satélite para o monitoramento regular e intenso. A idéia básica consiste em, por meio do sensoriamento remoto, determinar aquelas áreas que apresentam mudanças relevantes para diagnóstico ambiental. A utilização de métodos de sensoriamento remoto atua, por assim dizer, como filtro (LANG, 2009) ou como foco (Figura 01). Para tanto, é necessária uma transformação do conteúdo de uma imagem num valor numérico, que como indicador, mostrará as mudanças sobre determinado ponto de vista. Isso parece ser muito reducionista, porém, é um meio necessário, em razão das enormes quantidades de dados atualmente disponíveis e processáveis. Após a pré-seleção, mapeamentos terrestres convencionais podem ser efetuados nos locais onde ocorrem mudanças. Dessa forma, o ciclo de atualização poderia ser nitidamente reduzido e, paralelamente o mapeamento local com recursos e tempo elevados poderia ser reduzido à medida necessária. Por outro lado, com o aumento do volume de dados, houve também um aumento de exigências para administrar efetivamente essas grandes quantidades de dados e, em particular, apresentar os resultados das observações de forma compreensível para o público.

Figura 1 - Aplicações do sensoriamento remoto e suas interações.



Fonte: (LANG, 2009)

Imagens provenientes de sensores orbitais tem se tornado uma grande alternativa para monitorar áreas oceânicas e costeiras, o que representa vantagens quando comparadas a outros tipos de observações. Esses sensores multiespectrais dos satélites Landsat, CBERS, Quickbird, etc., operam na faixa do visível do espectro-eletromagnético.

Em função desta característica, imagens ópticas tornam-se ferramentas muito limitantes para regiões estuarinas, em especial a região equatorial, uma vez que a abundante presença de nuvens compromete a análise e o processamento dessas imagens (NASCIMENTO JUNIOR, 2011). Desse modo, o mapeamento a partir de técnicas de processamento digital fica comprometido, tornando-se necessária a utilização de técnicas manuais para ajuste da possível informação recoberta por nuvem, o que evidentemente pode reduzir a precisão da informação.

Nesse contexto, radares imageadores representam uma solução para obter dados de alta resolução independente de condições atmosféricas. Para regiões como a Amazônia o radar torna-se de grande utilidade devido estar imune à presença de nuvens, chuvas, e fumaça que impõem grande obstáculo para os sensores ópticos. Um radar imageador (Radar de Abertura Sintética – SAR) é capaz de gerar imagens, independente das condições atmosféricas, diferente dos sensores ópticos. Outra ponderação é o fato de que o radar é o único sensor remoto com penetrabilidade no dossel vegetal (PARADELLA et al., 2005).

As duas bandas espectrais que têm sido utilizadas em sistemas orbitais de radar são a banda C (que possui comprimento de onda de aproximadamente 5 centímetros) e a banda L (com um comprimento de onda de aproximadamente 23 centímetros). Nos estudos florestais, as imagens em comprimentos de ondas mais longos estão apresentando melhores resultados em relação às adquiridas em comprimentos de ondas menores (LIMA et al., 2009). Dentre os sistemas SAR orbital que operam na banda L está o satélite japonês JERS-1, que foi desativado em 1997 devido a problemas técnicos. Depois de quase uma década, houve a substituição por outro sensor, o PALSAR (LIMA et al., op. cit).

3.2. CONSIDERAÇÕES A CERCA DOS PROCESSOS DE ALTERAÇÃO COSTEIRA.

A erosão costeira é o processo que representa a retirada de sedimentos da costa e ocorre quando a taxa de remoção de sedimentos é maior do que a de deposição, a acreção é tida como o processo inverso. Seus processos podem ser gerados pela variação do nível do mar, variação da fonte de sedimentos, modificações no regime de energias das ondas, ou resposta morfodinâmica às atividades antrópicas (MUEHE, 1996).

Superpostas a estas tendências de longo prazo, existem processos que atuam em escalas de tempo de décadas a séculos que são de grande significância para alterações na zona costeira, dentre eles pode-se considerar, por exemplo: a dinâmica de desembocaduras fluviais e canais de maré, a captura de areia em pontais arenosos, atividade eólica etc. Enquanto outros processos de mais alta frequência atuam em escalas de tempo de alguns dias a sazonal, a se considerar, por exemplo: o avanço de frentes frias e as marés meteorológicas associadas, que por sua vez ocorrem superpostas às tendências de médio prazo. Todos estes fenômenos controlam a posição da linha de costa e sua compreensão, portanto é fundamental para entender o seu comportamento.

A erosão lateral dos rios de águas brancas da Amazônia é conhecida localmente como “terras caídas” ou “quedas de barranco”. Em função da grande dimensão, rapidez e o processo diferencial com que a erosão ocorre. Carvalho (2006) chama a atenção para a inadequação da definição de erosão lateral, neste caso específico, apontando que tais definições não contemplam a complexidade do fenômeno. De acordo com o autor, trata-se de um fenômeno complexo, inter-relacionado causado por fatores hidrodinâmicos, hidrostáticos, litológicos, climáticos, neotectônicos e antropogênico, envolvendo desde processos simples a altamente complexos. Englobam processos de escorregamento, deslizamento, desmoronamento e desabamento, que atingem desde escalas quase imperceptível, pontual a áreas com dimensões quilométricas.

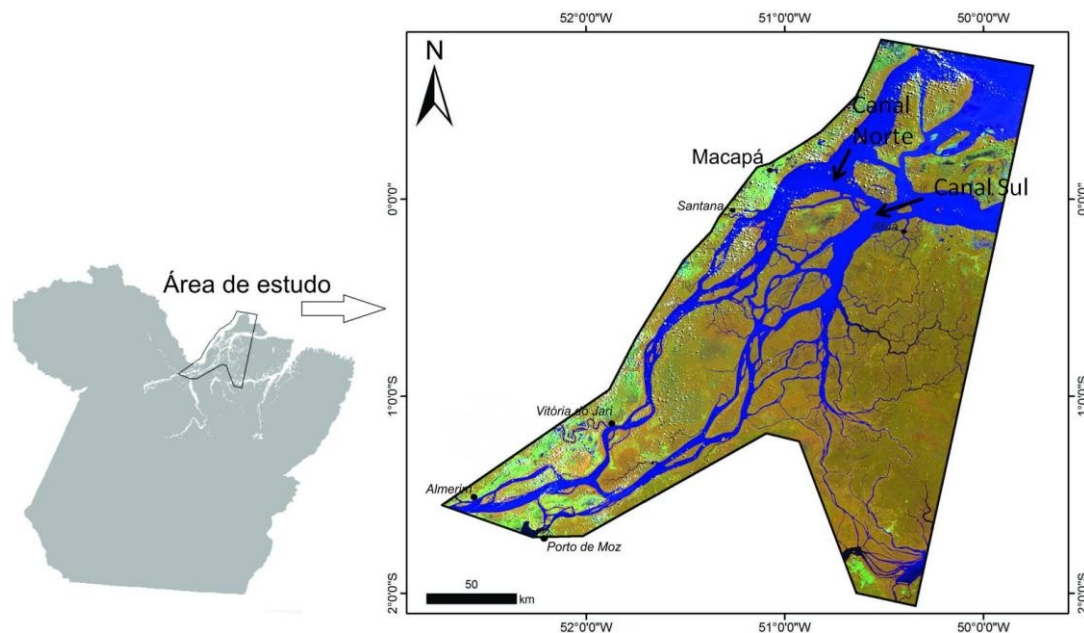
Como sabemos, os processos de erosão, transporte e deposição de sedimentos são interligados, sendo distintas fases de uma mesma dinâmica, resultando dos diferentes fluxos presentes ao longo de seus canais. Assim como a erosão, a deposição de sedimentos traz características proporcionais a hidrodinâmica do rio Amazonas, ou seja, extensas áreas deposicionais. A deposição de sedimentos se manifesta nos períodos de vazante do rio, onde se tornam visíveis inúmeras unidades morfológicas resultantes da acreção de sedimentos dentro do canal, nas margens e na planície.

4. **ÁREA DE ESTUDO**

A área de estudo compreende o trecho desde a foz do rio Amazonas até as proximidades dos municípios de Almerim e Porto de Moz (Figura 02), ao longo do canal norte e canal sul do rio Amazonas.

Esta é uma área fonte para diversos estudos, devido a grande diversidade de informações tanto no contexto geológico, biológico, antropológico, entre outros. Os últimos trabalhos que cercam a área estudada abrangem até a região do Cabo Norte, como resultados, os autores Costa et al. (2011) elaboraram uma base cartográfica com as principais drenagens da região do Cabo Norte. Nesta base foi possível visualizar a representação cartográfica da linha de costa; dos rios principais; dos canais de maré; dos lagos e dos canais de ligação dos lagos. Da mesma forma foram estudados as ilhas costeiras próximas ao estado do Amapá, através de imagens de sensores remotos, em que obtiveram como resultado que ilhas de influência marinha (Maracá e Jipióca) a erosão foi a mudança predominante, nestas ilhas a dinâmica de mudanças ocorreu mais significativamente na porção Leste, o que permitiu indicar a influência de forçantes de ondas desencadeadas pelos ventos alísios vindos de Nordeste e marés no processo de mudanças. Nas ilhas costeiras de influência fluvio-estuarinas (arquipélago do Bailique, Pedreiras, Santana, Periquitos e Cajari) a acreção foi a mudança preponderante, destacando-se transformações morfológicas, como no arquipélago do Bailique. Nas ilhas dentro do Canal do Norte (Pedreiras e Periquitos) identificou-se um deslocamento espacial, correlacionado provavelmente à correntes fluviais do rio Amazonas (SILVA et al., 2011).

Figura 02: Mapa de localização da área de estudo



4.1. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

4.1.1. Geologia e Sedimentologia

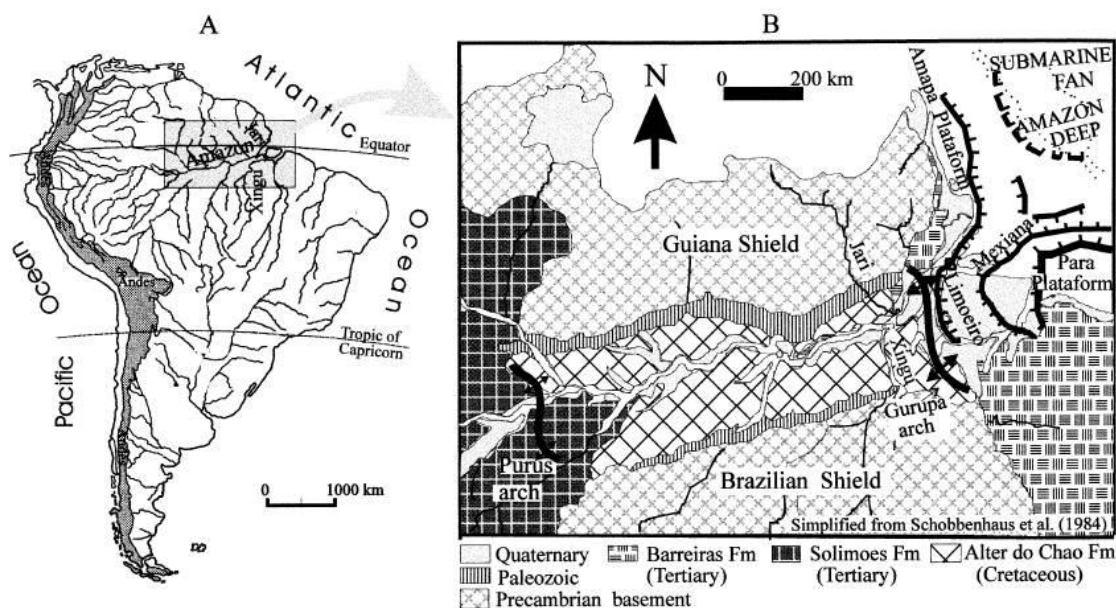
Segundo Palma (1979), a bacia da Foz do Amazonas compreende uma vasta área de sedimentação (360.000 km²) que se estende da Plataforma Continental (200.000 km²) ao Cone profundo do Amazonas (160.000 km²). Assim como as demais bacias marginais brasileiras, a Bacia da Foz do Amazonas tem sua gênese relacionada à evolução tectônica do Oceano Atlântico. Segundo Azevedo (1992), a evolução da Bacia da Foz do Amazonas está intimamente relacionada à abertura do Oceano Atlântico Equatorial.

A estratigrafia da Bacia da Foz do Amazonas constitui-se de dois conjuntos de seqüências: uma de *rift* e outra de margem passiva. Estas seqüências são limitadas por discordâncias e podem ser correlacionadas com seqüências de idade e importância semelhantes, em outras bacias costeiras do Brasil (BRANDÃO; FEIJÓ, 1994).

A seqüência *rift* compreende as formações Calçoene e Caciporé (BRANDÃO, 1990; BRANDÃO; FEIJÓ, op. cit.). As formações Limoeiro, Marajó, Amapá, Travosas e o Grupo Pará compõem as seqüências de margem passiva que vão do Cretáceo Superior até o Quaternário e abrangem siliclásticos finos transgressivos e arenitos e folhelhos progradantes do Cretáceo Superior, siliclásticos e carbonatos do Terciário e siliclásticos finos progradantes do Quaternário (SCHALLER et al., 1971; BRANDÃO, 1990; BRANDÃO; FEIJÓ, op. cit.). Além dessas duas seqüências a plataforma continental da Bacia da Foz do

Amazonas apresenta duas fases deposicionais distintas durante o Terciário, uma carbonática e outra siliclástica que estão relacionadas a reversão do rio Amazonas no Neomioceno (OLIVEIRA, 1996). Segundo o mapa geológico de Vital et al, 1999, é evidenciado a formação de Alter do Chão do cretáceo superior ao longo dos canais norte e sul, além da formação Barreiras do Terciário, que rege a costa do Amapá adentrando o rio Amazonas.

Figura 03: Mapa Geológico do rio Amazonas.



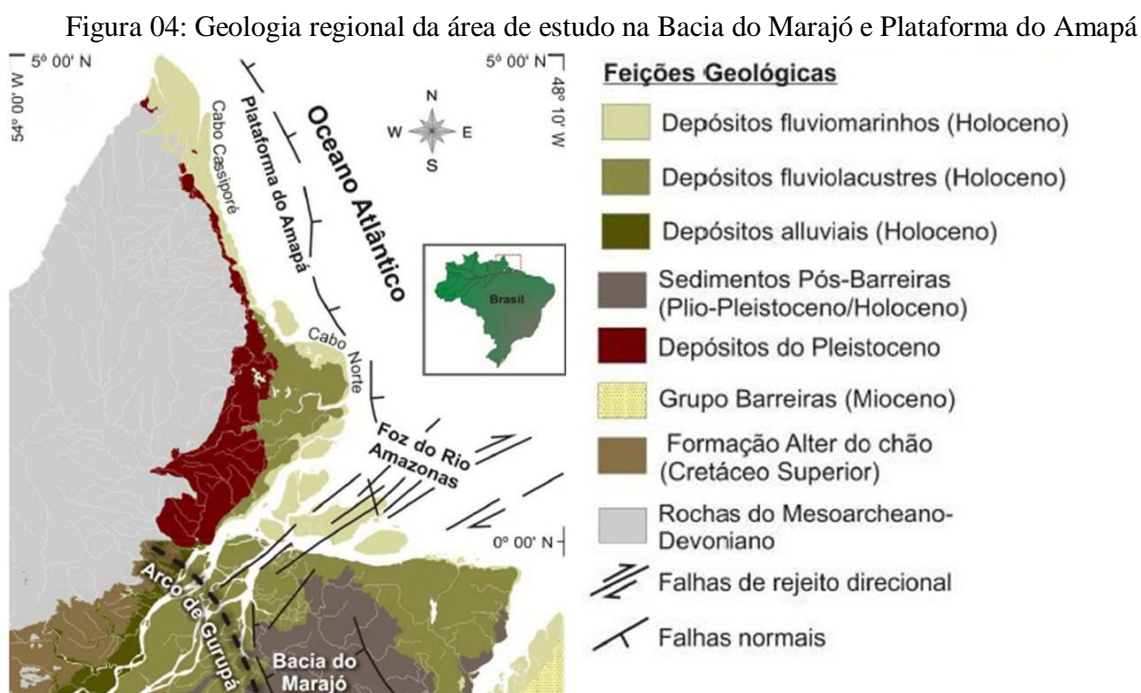
Fonte: Adaptado de (VITAL et al 1999).

Do Pleistoceno ao Holoceno, mudanças climáticas, no nível do mar, e atividades neotectônicas resultaram em processos erosivos-deposicionais que modelaram o relevo até a sua atual configuração (LIMA et al., 1991). Assim, ao longo da planície costeira adjacente ao Rio Amazonas, extensos terraços baixos e planos do Holoceno compostos de areia e lama foram desenvolvidos seguindo um padrão NW-SE.

A faixa que se estende de Macapá até a foz do rio Jarí enquadra-se na classificação de aluviões quaternários da era cenozóica, e litologicamente, depósitos de planície fluvial, formados por sedimentos pelíticos (lamosos) a areias finas, influenciados diariamente pela ação das marés em depósitos de inter-marés, barras de canal e barras em pontal (ATLAS ZEE/AP, 2000).

As ilhas da foz do Amazonas são de construção quaternária e de topografia muito plana. A ilha Caviana, a maior delas, foi mapeada como planícies e terraços com áreas

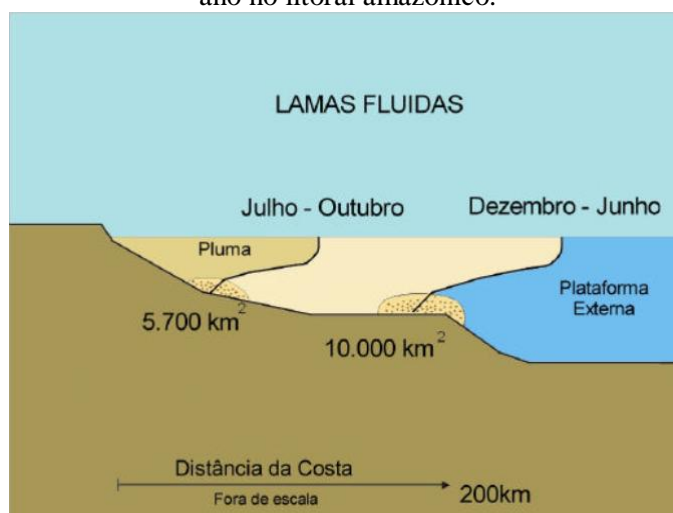
inundáveis. A cobertura vegetal predominante nas ilhas da foz do Amazonas e na faixa de diques da margem esquerda do canal Norte é a floresta latifoliada interpenetrada por campos inundáveis (BRASIL, 1974). A região próxima a desembocadura do Amazonas e sua costa adentrando os canais norte e sul, é predominantemente composta por depósitos fluviomarinhos e fluviolacustres do Holoceno (Figura 04).



Fonte: Modificado de Companhia de Pesquisa de Recursos Mineirais - CPRM (2010) e Costa et al. (2002).

A sedimentação na Plataforma Continental Amazônica é controlada pela descarga fluvial do rio Amazonas, pela circulação estuarina e pela dinâmica das marés, que atuam na redistribuição e deposição dos sedimentos (JAEGER et al.,1995). A área de maior sedimentação é a zona de turbidez máxima (ZTM), devido à floculação. A concentração de sedimentos nesta zona pode ser muito alta, formando lamas fluidas. Segundo Jaeger et al. (op. cit.) a porção superior das lamas fluidas é móvel, a porção inferior é estacionária e abaixo desta existe um fundo coesivo (Figura 05).

Figura 05 – Figura esquemática mostrando o comportamento das lamas fluidas durante o ano no litoral amazônico.



Fonte: Interpretação de A. G. Figueiredo Jr. a partir de palestra e resumo de (JAEGER et al., 1995).

A distribuição superficial dos sedimentos na Plataforma Continental Amazônica, à noroeste do rio Pará, é marcada pela presença de sedimentos terrígenos, compostos por lama na plataforma interna, passando a areias na plataforma externa (Figura 06). Sedimentos carbonáticos ocorrem restritos à plataforma externa e se concentram em frente à foz do rio Amazonas (OLIVEIRA, 1996). A noroeste do cânion do Amazonas, as fácies carbonáticas são bem esparsas, predominando as que estão associadas a sedimentos terrígenos (KOWSMANN et al., 1979). Dentro da fácies lamosa, Milliman et al. (1975) registraram a presença de uma estreita faixa de areias arcólicas, estendendo-se a partir da foz do rio Amazonas, de forma perpendicular à costa.

Ainda que a foz do rio seja predominantemente subaquosa, a lâmina d'água aumenta em direção costa afora de forma muito gradual. Esta profundidade rasa provavelmente resulta de altas taxas de acumulação de sedimento, geralmente 2 cm/ano, mas que podem chegar em alguns locais a 40 cm/ano (KUEHL et al., 1996). Em estudos realizados por Sternberg et al. (1996) na área do prodelta (65 m de profundidade) a fonte mais importante de sedimento parece ser a migração das lamas fluidas e o maior evento de sedimentação ocorrido durante a pesquisa do Projeto Amassedts foi quando 44 cm de sedimento foram depositados durante um período de 14 horas.

Segundo Sternberg et al. (1996), o estresse cisalhante provocado pela combinação de ondas e correntes pode representar um mecanismo importante para iniciar o movimento *downslope* das lamas fluidas e o conseqüente crescimento do delta.

4.2. PARÂMETROS METEOROLÓGICOS E OCEANOGRÁFICOS

4.2.1. Clima

A área de estudo em questão situa-se na região equatorial e possui um clima quente e úmido, com a existência de duas estações bem distintas de precipitação: (i) a estação “seca” ou menos chuvosa, que compreende os meses de setembro a novembro, com precipitação em torno de 50 mm/mês (FERREIRA DA COSTA et al., 1998) e (ii) a estação chuvosa que compreende meses de fevereiro a maio com precipitações maiores que 250 mm. Segundo Nimer (1991), a precipitação pluviométrica anual da zona costeira amazônica varia de 2.750 a 3.500 mm anuais.

Segundo Martins e Da Luz (2004), a precipitação nessa região é determinada pela influência de vários sistemas atmosféricos que variam desde a escala convectiva à escala sinótica: linhas de instabilidade; zona de convergência intertropical (ZCIT); ondas de leste; sistemas de brisas (marítima e terrestre, com atuação contínua durante as 24 horas do dia, em períodos que correspondem ao horário da manhã – brisa marítima e da noite – brisa terrestre, e em períodos intervalares). A região é afetada também por fenômenos episódicos, tais como El Niño e La Niña, causando desta forma, modificação no regime de precipitação da mesma.

Essa região não apresenta grandes diferenças de temperatura ao longo do ano e a temperatura média anual, varia entre 24° e 26°C. Temperaturas médias anuais variam entre 26° e 27°C. De acordo com dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2004), as temperaturas mais elevadas ocorrem entre os meses de setembro e novembro e as menores entre janeiro e março. O clima é bastante úmido em função da floresta Amazônica, que transporta umidade. Nesta região, a umidade relativa média anual do ar varia em torno de 80% a 90%, indicando assim, uma alta taxa de umidade na região.

A temperatura apresenta uma pequena variação anual, oscilando entre 18°C (mínima) e 33°C (máxima), com média de 27°C, sendo, os valores mais elevados, observados nos meses de agosto a outubro, com valor máximo de 42°C (INMET, op. cit.).

A umidade relativa do ar apresenta-se sempre elevada durante todo o ano, variando entre 86 e 91%. Os ventos exercem um papel importante na dinâmica dos ambientes costeiros, como por exemplo, na formação de ondas, que, ao atingirem a costa retributam, erodem e/ou misturam os sedimentos depositados na zona de intermaré, sendo responsáveis, também, pelo processo de transporte litorâneo dos sedimentos nas diversas zonas das praias.

4.2.2. Ventos

Os principais ventos que atingem a costa atlântica são os ventos alísios, que possuem uma direção preferencial NE, com variações para N e E. Estes ventos sopram ao nível do solo, sendo originados por dois anticiclones subtropicais: o Anticiclone Tropical Atlântico (ATA) e o Anticiclone Tropical Atlântico Norte (ATAN). O encontro, na linha do Equador, dos ventos alísios gerados por estes anticiclones, resulta na Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que corresponde a uma área de extensão variável, com fracas pressões e poucos contrastes, ventos fracos e de direções variáveis.

Esta zona sofre deslocamento sazonal, e atinge diretamente o litoral norte no período chuvoso, com ventos alísios de NE, constantes e moderados, com velocidades de até 7,9 m/s (DHN *apud* COSTA et al., 1996). Esses ventos são geralmente precedidos de calmaria e, quase sempre, acompanhados de rajadas violentas e chuva intensa.

Os ventos apresentam velocidade máxima de 6,56 m/s, mínima de 5,03 m/s, e média de 5,92 m/s. No entanto, há uma maior concentração em torno de 7 m/s, onde a direção preferencial é a NE, estas direções preferenciais dos ventos são atestadas, principalmente, pela direção de deslocamento dos campos de dunas, e orientação preferencial das ondas, que atingem a linha de costa.

4.2.3. Hidrodinâmica

Os rios são os agentes mais importantes no transporte de sedimento para os oceanos, totalizando um volume de 25,33 bilhões de ton/ano (LISITZIN, 1996). Como resultado deste transporte, são construídos nas margens continentais, planícies costeiras, plataformas, taludes, elevações e outras feições deposicionais. A dimensão e morfologia dessas feições irão depender da fonte sedimentar e da dinâmica da região. Dentre todos os rios do planeta o Amazonas se destaca por suas dimensões e o volume de sedimento carreado para o oceano.

Com tamanha descarga sedimentar, o rio constrói um delta submarino que se estende desde a foz até a plataforma externa (FIGUEIREDO et al., 1972). Esta região sofre ainda a influência da Corrente Norte Brasileira (CNB), que flui em direção noroeste, desviando a descarga do rio Amazonas nesta direção, com grandes amplitudes de marés e suas fortes correntes associadas e dos ventos Alísios de nordeste (Figura 06). Todos esses fatores em conjunto, promovem uma distribuição diferenciada de sedimentos ao longo da plataforma, influenciando na sua evolução sedimentar (COSTA, 1996). A pluma superficial

e um mínimo em novembro. A descarga média do rio Amazonas no Oceano Atlântico é de 180.000 m³/s (OLTMAN, 1968), o que corresponde a 16% da descarga total de água doce nos oceanos do mundo. Entretanto, a descarga hídrica máxima e mínima alcança respectivamente 220.000 m³/s em maio e 100.000 m³/s em novembro (RICHEY et al., 1986). Em épocas de cheia a vazão do rio Amazonas pode atingir 354.793 m³/s (KUEHL et al., 1996) e nas de baixa a vazão média é de 80.000 m³/s (COSTA, 1997). O suprimento sedimentar à plataforma continental é de aproximadamente 1.2 x 10⁹ toneladas por ano (MEAD et al., 1985), sendo o segundo do mundo, em termos de descarga de sedimento.

O rio Amazonas deságua ao nível do Equador através de dois canais com menos de 15 m de profundidade, Norte e Sul (GEYER et al., op. cit.). Segundo estes autores, 65% do fluxo passa através do Canal do Norte, cuja descarga máxima pode alcançar 160.000 m³/s.

A grande descarga sólida é responsável pelo alto teor de material em suspensão verificado na Plataforma Continental do Amazonas. O suprimento de material em suspensão do rio Amazonas para a plataforma é avaliado em 1,1 a 1,3 x 10⁹ ton/ano (MEAD et al., 1985), entretanto, o fluxo de material dissolvido está avaliado em 2-3 x 10⁸ ton/ano (GIBBS, 1972). Portanto, o rio Amazonas contribui com uma carga de sedimentos entre 7% e 9% para os oceanos. Em associação com os sedimentos há uma enorme quantidade de material em suspensão disperso em proporções menores em regiões de mar aberto, formando plumas turbidíticas nas águas da plataforma continental, nos períodos de alta descarga de material. Esta situação produz condições de circulação estuarina na Plataforma Continental do Amazonas (NITTROUER e DEMASTER, 1996). Segundo Kuehl et al. (1986), cerca de 50% (6,1 a 6,5 x 10⁸ ton/ano) da carga de sedimentos é depositada junto à foz do rio Amazonas, onde a plataforma continental apresenta larguras de cerca de 350 km. Uma quantidade significativa de sedimentos finos em suspensão (1,5 x 10⁸ ton/ano) é transportada para noroeste pela Corrente Norte Brasileira (MULLER-KARGER et al., 1988).

De acordo com Allison et al. (2000), o rio Amazonas é responsável pela formação de uma das mais extensas costas lamosas (1600 Km), entre as desembocaduras dos rios Amazonas e Orinoco. Cerca de 85% a 95% do material despejado pelo Amazonas é lamoso (silte e argila), sendo a maior parte transportado em suspensão (MEAD, 1985).

Segundo Torres (1997), a concentração média de sedimentos em suspensão em águas brancas (barrentas) de superfície da foz do Amazonas, durante períodos de alta e baixa descarga hídrica é de 168 mg/l e 67 mg/l, respectivamente. Entretanto, em porções rasas de coluna de água influenciada pela ressuspensão/ redistribuição de sedimentos ou pela ação da

pororoca, esses valores aumentam consideravelmente. Por exemplo, Torres (1997) registrou uma maior concentração de sedimentos em suspensão no Canal do Gurijuba (Arquipélago do Bailique), que recebe um grande aporte de sedimentos do Canal do Norte do rio Amazonas (TORRES et al., 2001), e um aumento em direção a foz do rio Araguari. Costa et. al. (2002) notaram uma concentração de sedimentos em suspensão de 6,7 g/l em um trecho pouco profundo na foz do rio Araguari, após a passagem de uma onda da pororoca.

A plataforma amazônica está submetida a processos fluviais (Canal do Norte do rio Amazonas) e costeiros (maré de enchente), gerando erosão e deposição, contribuindo para o desenvolvimento de planícies alagadas, que caracterizam, por exemplo, o Arquipélago do Bailique na foz do Canal do Norte do rio Amazonas. Na parte interna da planície costeira ocorrem inúmeros paleocanais, testemunhando a evolução de uma planície flúvio-lacustre (TORRES ; EL ROBRINI, 2006).

4.2.3.1. Marés

Na Plataforma Continental do Amazonas, as marés são predominantemente semidiurnas, com a principal componente sendo a maré M2, que quando interage com as amplitudes S2 e N2 (GEYER et al., 1996) resultam em fortes balanços quinzenais e mensais de energia com velocidades de até 2 m/s próximo a Ilha Caviana. As marés S2 e N2 correspondem, respectivamente, a principal constituinte solar e a constituinte lunar de variação mensal de acordo com a distância da lua (GEYER et al., op. cit.).

A componente M2 geralmente se propaga em direção ao continente, cruzando a plataforma e entrando nos rios Amazonas e Pará. A partir do Cabo Norte até o rio Cassiporé, no entanto, existe uma grande diferença na estrutura M2 de maré, que chega quase de forma retilínea e orientada, segundo a topografia local (GEYER et al., op. cit.).

As variações de maré são registradas por intercalações nos estratos sedimentares na Plataforma Continental do Amazonas (GEYER et al., op. cit.). A ZCA é representada por uma costa baixa, cujas altitudes se enquadram na faixa de -5 m e 5 m (Batista et al., 2005), onde a maré exerce um papel importante na dinâmica costeira. A maré nesta costa exhibe valores de macromarés, como no Igarapé do Inferno (7,38 m), na Ilha de Maracá (9,87 m) e na Barra Norte (4,33 m), e de mesomarés, como na Baía de Oiapoque (2,76 m) e Ponta do Céu (3,96 m). Entretanto no interior da zona estuarina do Amapá, a mesomaré alcança 2,82 m em Macapá e 3,22 m no Porto de Santana (FEMAR, 2000).

As marés no estuário do Amazonas, que interceptam a descarga de sedimentos, são muito energéticas e alcança 12 m de amplitude próxima a ilha Caviana. As correntes excedem a velocidade de 50 cm/s, e tem uma grande influência na dispersão dos sedimentos provenientes da foz do rio Amazonas (NITTROUER et al., 1990). Geyer et al. (1991) encontraram velocidades variantes entre 100 a 200 cm/s, podendo exceder a esse intervalo. Diegues (1972) constatou que no estuário do Amazonas, as marés apresentam velocidades excedentes a 280 cm/s. A influência das marés diminui com a profundidade, a concentração e a dispersão do material suspenso (BEARDSLEY et al., 1996). Segundo Nittrouer e Demaster (1996), as correntes de maré semidiurna alcançam a velocidade de 200 cm/s na parte interna (< 20 m de profundidade) da Plataforma Continental do Amazonas, no sentido perpendicular as isóbatas (BEARDSLEY et al., op. cit.; GEYER e KINEKE, 1995). Estas correntes são também responsáveis pela ressuspensão dos sedimentos pelíticos.

Na Zona Costeira do Amapá (ZCA), as marés conseguem alcançar a distância de 100 Km nos estuários, sendo os principais processos responsáveis pela erosão e agitação (SANTOS et al., 2003). Os efeitos da maré no interior do rio Amazonas alcançam a montante a cidade de Óbidos (NITTROUER et al., 1991).

4.2.3.2. Correntes de maré

As correntes de maré, na Plataforma Continental do Amazonas, são dominadas por dois componentes, um fluxo de maré semidiurno, barotrópico, cruzando as isóbatas, e um fluxo de submaré paralela à costa. As correntes de maré semidiurnas mostram uma variação pronunciada de sizígia e quadratura, com uma velocidade máxima na plataforma continental interna alcançando 2 m/s durante a maré de sizígia e 0,7 m/s durante a maré de quadratura (GEYER et al., 1991). O fluxo de submaré sofre um intenso cisalhamento com as fortes correntes superficiais em direção a noroeste que alcançam velocidade de 1,5 m/s. Ao contrário, o fluxo de submaré de fundo é fraco, com velocidade de 0-0,2 m/s (GEYER et al., op. cit.). Próximo a costa do Amapá, as correntes de maré ocasionam duas vezes por dia consideráveis modificações no volume de água do estuário e variação no valor superficial da salinidade (BEARDSLEY et al., 1995). Medições feitas perto da desembocadura do rio Amazonas indicam velocidades superiores a 100 cm/s (CURTIN, 1986). No entanto, ao Norte da ZCA, correntes de maré semidiurnas superiores a 35 cm/s (ALLISON et al., 1994) contribuem no deslocamento das suspensões lamosas para o litoral.

Na Plataforma Continental do Amazonas, circulam correntes de maré perpendiculares em direção as isóbatas, durante a vazante e a enchente. A natureza curvilínea das isóbatas condiciona interações diferentes na plataforma continental. Nas regiões mais rasas a sul a maré se comporta como ondas progressivas, se propagando em direção à foz; ao norte se propagam como ondas estacionárias, apresentando uma amplitude de 5 m, durante a enchente, e decrescem para noroeste, ao longo da costa.

4.2.3.3. Ondas

Os ventos que sopram na superfície das águas oceânicas também geram ondas assim como correntes. As ondas, igualmente às correntes, expressam movimentos periódicos dos oceanos. Na costa do Amapá, o regime de ondas superficiais é intensamente ativo na foz do rio Amazonas, bem como na plataforma interna adjacente. Essas ondas são geradas pelos ventos alísios de nordeste sobre as águas superficiais (NITTROUER et al., 1986). São moderadas, tendo amplitude média entre 1 e 2 m, porém podem alcançar em fevereiro amplitudes de 3 m e velocidades próximas a 30 cm/s (CACHIONE et al., 1995).

No setor costeiro oceânico do Amapá, as ondas de leste promovem uma deriva litorânea com transporte preferencial para noroeste, conforme indicam os pontais lamosos que crescem em direção a Guiana Francesa.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. MATERIAIS

Para o trabalho foram utilizadas imagens de sensores remotos ópticos (*Thematic Mapper* – TM do satélite Landsat-5) e microondas (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar* - PALSAR do Satélite ALOS e o *Synthetic Aperture Radar* - SAR do satélite JERS-1 além do modelo digital de elevação (DEM) do *Shuttle Topography Radar* (SRTM) como dado secundário para a ortorretificação das imagens. As imagens do Landsat-5, JERS-1 e ALOS/PALSAR, correspondem respectivamente aos anos de 1986, 1995 e 2008. Com intuito de melhorar a análise das alterações estudadas foram adquiridas informações temporais de pluviosidade, vazão e maré da área de estudo. Os *softwares* utilizados foram: *PCI Geomatics 10.3* (PCI Geomatics...2010) para pré-processamento das imagens, *Definiens E-Cognition 8* (DEFINIENS, 2010) para classificação orientada a objeto e o *ArcMap 10* (ESRI, 2010) para quantificação de áreas e *layout* dos mapas gerados. A seguir algumas características dos materiais utilizados:

5.1.1. Landsat-5/TM

O quinto satélite da série Landsat, funciona em órbita equatorial a 705 km de altitude. O sensor TM a bordo do satélite Landsat-5 faz o imageamento da superfície terrestre produzindo imagens com 185 km de largura no terreno, possui 07 bandas espectrais (Tabela 01) com resolução espacial de 30 metros para as bandas B1, B2, B3, B4, B5 e B7 e 120m para a banda do infravermelho termal (B6). O tempo de revisita do satélite para imagear uma mesma porção do terreno é de aproximadamente 16 dias.

As imagens do Landsat-5/TM foram adquiridas gratuitamente através do portal do servidor GLCF (*Global Land Cover Facility*) *Project*; na página do *United States Geological Survey* – USGS, com uma resolução espacial de 30m.

Tabela 01. Características das bandas do sensor TM

Bandas	Comprimento onda (μm)	Ângulo de incidência	Data de aquisição	Orbita/ponto cenas utilizadas	Bandas utilizadas
(B1) Azul	0,45 a 0,52	Nadir	15/07/1986 15/07/1986 23/08/1986	225/60 225/61 226/61	X X X
(B2) Verde	0,53 a 0,60				
(B3) Vermelho	0,63 a 0,9				
(B4) IV próximo	0,76 a 0,90				
(B5) IV médio	1,55 a 1,75				
(B6) IV termal	10,4 a 12,5				
(B7) IV médio	2,08 a 2,35				

5.1.2. JERS-1/ SAR

O “*Japan Earth Resources Satellite-1 (JERS-1)*” é um satélite de observação terrestre avançado, que foi colocado em órbita da Terra no dia 11 de Fevereiro de 1992. O JERS-1 é resultado de um projeto de cooperação da *National Space Development Agency of Japan* - NASDA e *Ministry of International Trade and Industry* - MITI. A NASDA é a responsável pelo desenvolvimento do satélite e a MITI, responsável pelo desenvolvimento dos instrumentos de medida. Este satélite carregava a bordo um Radar de Abertura Sintética, cujo sinal era capaz de penetrar as nuvens e um sensor óptico (OPS), que operava em quatro bandas do visível e uma do infravermelho próximo. As principais características do JERS-1 são: altitude: 568 km; órbita síncrona com o sol, periodicidade de 44 dias, resolução espacial de 18m e área imageada de 75 km (JAXA, 2008).

Os dados são disponibilizados através de CD's ou DVD's solicitado a ASA, possui um conjunto de quatro CD's que contém dados do JERS-1/SAR da Agência Espacial Nacional de Desenvolvimento do Japão (NASDA). Os dados foram "mosaicados" e consiste de cerca de 50 cenas distribuídas em 04 DVD's com resolução espacial de 100m. Os dados da América do Sul foram adquiridos entre setembro e dezembro de 1995 (baixa inundação) e entre maio e julho de 1996 (alta inundação). Este conjunto de dados constituiu a primeira e única cobertura de toda a bacia do rio Amazonas e foi possível graças as propriedades penetrantes em nuvem do sensor de radar.

Na tabela 02 estão representadas algumas características do JERS-1/SAR.

Tabela 02. Características do SAR

Banda	Frequência (MHz)	Comprimento de onda (cm)	Polarização	Data aquisição	ID do DVD
L	1,275	23,5	HH	Outubro, 1995	115 e 108

5.1.3. ALOS/PALSAR

Para substituir o JERS-1 foi lançado em 24 de janeiro de 2006, pela *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA), o *Advanced Land Observing Satellite* (ALOS) que tem o apelido de “DAICHI” (EORC, 2009) Este satélite leva a bordo o sensor PALSAR (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*) que adquire imagens com alta resolução (10m) e em várias polarizações e é capaz de obter imagens diurnas e noturnas sem a interferência de nuvens. .

O PALSAR possui um período de revisita de 46 dias, capacidade polarimétrica, variação do ângulo de incidência, as demais características do PALSAR encontram-se na tabela 03 e as utilizadas neste trabalho estão em hachurado.

As imagens são disponibilizadas gratuitamente no site do IBGE na forma FBD (*Fine Beam Dual*) ou FBS (*Fine Beam Single*) ou compradas pelo site da JAXA ou IBGE com todas as polarizações PLR (*Fully polarimetric*).

Tabela 03. Características do PALSAR

Modo	<i>Fine*</i>		<i>Scansar</i>	<i>Polarimétrico</i>
Frequência	1270 MHz (Banda L)			
Polarização	HH ou VV	HH+HV ou VV+VH	HH ou VV	HH+HV+VH+VV
Incidência	8° a 60° (34,3°)		18° a 43°	8° a 30° (21,5°)
Resolução (<i>Range</i>)	7 a 44m (10m)	14 a 88m (20m)	100m (multi look)	24 a 89m (30m)
Faixa (km)	40 a 70 (65)	40 a 70 (65)	250 a 350 (350)	20 a 65 (25)
Ano de aquisição para área de estudo	2008			

*Coluna em cinza com as características da imagem utilizada para este trabalho

No contexto do monitoramento, são planejados pelo menos duas vezes por ano observações em escala global do sensor PALSAR em fina resolução espacial sobre áreas ao longo dos trópicos durante a missão ALOS. Desse modo dados de imageamento foram combinados para gerar mosaicos regionais em 50 m de resolução espacial que podem ser

comparados outros de mesma escala utilizando dados JERS-1 SAR, estes dados podem ser adquiridos diretamente com a JAXA.

Para este trabalho, foram adquiridas imagens do sensor ALOS/PALSAR referentes ao mês de outubro de 2008. Estes dados foram obtidos no site do IBGE e encontram-se disponíveis no banco de dados do LAIT.

5.1.4. SRTM (Versão 4)

Os dados de elevação digital do SRTM, originalmente produzido pela NASA em 11 de fevereiro de 2000. O SRTM consiste num sistema de radar especialmente modificado para obter um modelo de elevação digital de um determinado terreno terrestre, de modo a gerar cartas topográficas digitais de alta resolução. Seus dados são fornecidos pelo *Consortium for Spatial Information* (CGSI- CSI) e são utilizados para promover o uso da ciência e aplicações geoespaciais para o desenvolvimento sustentável e conservação dos recursos no mundo em desenvolvimento. São fornecidos DEM para todo o globo, cobrindo todos os países do mundo. O DEM tem uma resolução de 90 m no equador, e são fornecidos em mosaicos de 5 graus x 5 graus para facilitar o *download*. Estas informações estão disponíveis em formatos ArcInfo ASCII e GeoTiff para facilitar o seu uso em uma variedade de processamentos de imagens e aplicações de SIG. Os dados podem ser baixados usando um navegador ou acessado diretamente o site <http://srtm.csi.cgiar.org/>.

As características da imagem estão representadas na tabela 04 abaixo.

Tabela 04. Características do SRTM

Parâmetro	Produto SRTM - DEM
Resolução espacial	90x90m
<i>Datum</i> Vertical	WGS 84
Banda	C
Frequência	5,3 cm
Acurácia horizontal	Absoluta < 60m
Acurácia vertical	Relatiba < 45m
Formato da imagem	Absoluta < 16m
Processamento CSI	2008

5.1.5. Aquisição de séries temporais

As séries temporais de pluviosidade, vazão e maré do período de 1986 até 2008 foram adquiridas gratuitamente através do portal hidroweb.ana.gov.br no banco de dados da

Agência Nacional de Águas - ANA. Os dados de maré foram disponibilizados pelo Centro de Hidrografia e Navegação - CHN, a partir do Banco Nacional de Dados Oceanográficos através de solicitação via email institucional.

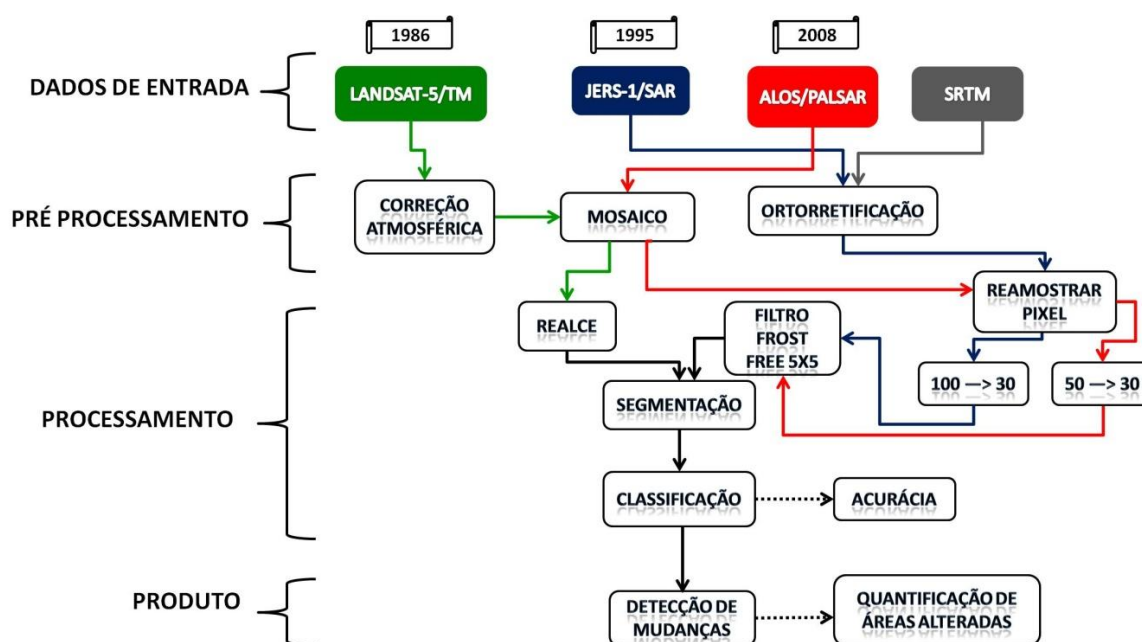
5.2. METODOLOGIA

5.2.1. Pré processamento e Processamento Digital de Imagens (PDI)

O Pré-processamento e Processamento Digital de Imagens - PDI pode ser entendido como a manipulação de imagens submetidas a processos de entrada e saída. O objetivo de se usar processamento digital de imagens é melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais para o analista e fornecer outros subsídios para a sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos (SPRING, 1996).

Considerou-se para pré-processamento digital de imagens neste trabalho: a correção atmosférica, a ortorretificação e o mosaico; para o processamento digital de imagens foram utilizados: realce, segmentação e classificação de imagens orientada a objeto, conforme mostrado no fluxograma (figura 07).

Figura 07: Fluxograma destacando as etapas do processamento digital de imagens (PDI).



5.2.1.1. Pré-Processamento das imagens

5.2.1.1.1. Correção Atmosférica

Os sensores remotos ópticos não conseguem imaginar a superfície da terra sem antes adquirir as informações da atmosfera, assim, nuvens, neblinas, ou seja, efeitos das partículas na atmosfera através da absorção e espalhamento da radiação são dados que compõe a imagem adquirida por estes sensores. Para melhorar e suavizar até mesmo eliminar estas informações torn-se necessário fazer uma correção atmosférica. O objetivo da correção atmosférica foi recuperar a reflectância de superfície, removendo os efeitos atmosféricos. A correção atmosférica melhora significativamente a precisão da classificação de imagens.

Métodos de regressão, de subtração, de transformação de radiância para reflectância com base nas propriedades ópticas da atmosfera, são técnicas frequentemente usadas pelo observador para a correção desses ruídos (COHEN et al.,1995)

Neste trabalho todas as bandas do sensor TM com exceção da B6 (termal) foram corrigidas através da técnica de subtração do *pixel* escuro ou método de subtração, aperfeiçoada por Chavez Jr. (1988). Este método suaviza a influência atmosférica através das informações dos alvos de tonalidade escura em cada banda (eg. sombra de nuvens). Foram tomadas 05 amostras para cada banda e feito uma média para cada grupo, assim estas informações foram inseridas em um algoritmo como o *ARICONST* presente no *software PCI Geomatics* v.10 para subtração dos níveis digitais. Com a extração dos valores extras de níveis de cinza o contraste da banda aumenta.

5.2.1.1.2. Correção Geométrica

A correção geométrica tem como finalidade eliminar as distorções sistemáticas introduzidas nos dados do satélite, na etapa de formação das imagens. Esta visa eliminar dois tipos de erros que, frequentemente, ocorrem nos dados de satélites: os devidos ao movimento do satélite e aqueles determinados pela curvatura da Terra. Além disso, há erros, denominados panorâmicos, que são causados pelo tamanho dos *pixels* fora do nadir (nadir = visada na perpendicular). Em outras palavras, a correção geométrica pode ser entendida como a transformação dos dados de sensoriamento remoto, de tal modo que eles adquiram as características de escala e projeção próprias de mapas.

Para este trabalho foram adotadas técnicas de ortorretificação, que consiste na consideração dos dados de efemérides do sensor (*orbit*) e informações de elevação da área, aplicando um modelo matemático que calcula a posição e orientação do sensor no período em que as imagens foram adquiridas. Para ortorretificação foram coletados 10 pontos de controle com um erro *Root Mean Square* - RMS, igual a 0,5 *pixel* para cada cena (115 e 108). A coleta dos pontos ocorreu por meio do processo imagem/imagem com base na imagem Landsat-5/TM ortorretificada e o modelo digital de elevação do SRTM que foi reamostrado para 30m para ortorretificar a imagem JERS-1/SAR.

Devido às imagens do Landsat-5/TM e ALOS/PALSAR já estarem ortorretificadas, foi realizada a ortorretificação somente das imagens JERS-1/SAR, que correspondem ao ano de 1995.

5.2.1.1.3. *Mosaico*

O mosaico de imagens permite juntar duas ou mais imagens de modo a se obter uma visão contínua de uma determinada área de estudo. As imagens do Landsat-5/TM e do JERS-1/SAR foram mosaicadas através do módulo *OrthoEngine* do *software PCI Geomatics v. 10.*, posteriormente sendo efetuado o recorte das cenas com o objetivo de restringir os dados à área de interesse.

Para as imagens ópticas foram selecionadas 03 cenas que abrangiam a área de estudo (tabela 05).

Tabela 05: Data de aquisição das imagens Landsat-5/ TM e suas respectivas órbita/ponto para o ano de 1986.

Data	Orbita	Ponto
15/jul/1986	225	60
15/jul/1986	225	61
23/ago/1986	226	61

As imagens do JERS-1/SAR foram extraídas do CD-ROM que compreende a área *South America (Amazon Basin)* sendo selecionadas as imagens 108 e 115 de outubro de 1995 que correspondem a área de estudo, estas imagens foram “mosaicadas” seguindo o mesmo algoritmo utilizado para a imagem do Landsat-5/TM no *software PCI* em que posteriormente foi recortado e reamostrado para 30m.

As imagens ALOS/PALSAR foram adquiridas mosaicas com uma grande área de abrangência, portanto foi necessário somente o recorte da área de estudo em questão e reamostragem para 30m do tamanho dos *pixels* que antes era de 50m.

5.2.1.2. Processamento digital de imagens

5.2.1.2.1. *Realce*

Os dados de satélites, uma vez processados, podem conter um contraste espectral de baixa qualidade visual. O realce consiste na ampliação do contraste de feições na cena, ou seja, os níveis de cinza mais baixos são arrastados para o próximo de zero (tonalidade mais escura) e os mais altos, para próximo de 255 (cinza-claro). Este processo foi realizado pela ferramenta “*Enhance*” e do algoritmo “LUT” (*Image Enhancement via Lookup Table*) através de análise dos histogramas no módulo *Focus* do *software PCI Geomatics*.

5.2.1.2.2. *Filtro*

Para as imagens dos sensores de microondas foi aplicado o filtro *frost lee 5x5* para suavização dos ruídos (*Speckle*) presentes nesse tipo de imagens, melhorando a visualização de suas feições.

5.2.2. **Classificação orientada a objeto para detecção de mudanças**

A classificação orientada a objeto processada através do *software Definiens Ecognition* seguiu as seguintes etapas: (a) construção da árvore de processos que inclui (a.1) segmentação e (a.2) criação de classes, e finalmente a b) análise de detecção de mudanças a partir dos produtos classificados.

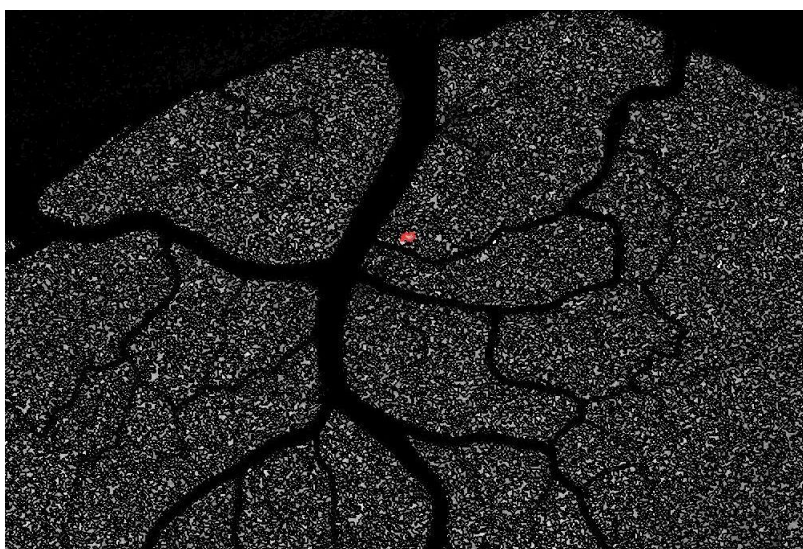
a) **Árvore de Processos (*Process Tree*)**

A árvore de processo estabelece a ordem e seqüência do processamento realizado, bem como armazena todos os elementos ou regras (segmentação, algoritmos, classes e atributos) necessários para a classificação.

a.1) Segmentação

Algoritmos de segmentação (Tabela 06) são utilizados para subdividir a imagem inteira, representada pelo domínio do nível do *pixel* ou segmentos de outros domínios em segmentos menores. Eles são necessários sempre que se desejar criar novos níveis de segmento, que tenham como base as informações da camada de imagem. Entretanto, eles também são ferramentas muito importantes de refino de segmentos existentes uma vez que subdivide-os em segmentos menores para uma análise mais detalhada (Figura 8).

Figura 8: Segmentação de imagem SAR utilizando o software *Definiens Ecognition*



Para este estudo, a segmentação foi feita adotando o algoritmo “*Multiresolution Segmentation*” (segmentação multi-resolução). A segmentação multi-resolução é um algoritmo desenvolvido para extrair segmentos com base, tanto no valor do *pixel*, como no formato do objeto. Ele permite a extração de segmentos homogêneamente primários em qualquer resolução escolhida, principalmente no caso de contraste local estar sendo considerados.

Valores de segmentação baixos (>10) muitas vezes não são processados em função do alto grau de memória exigido para execução. Portanto, os critérios adotados para a atribuição do parâmetro de segmentação foram baseados em testes que posteriormente serviriam como pré-requisito para uma classificação mais precisa. Em decorrência da freqüente cobertura de nuvem na área de estudo, foi atribuído parâmetro de segmentação diferenciado para as imagens, onde foram atribuídos 30 como parâmetro de escala para as

imagens ALOS/PALSAR e JERS-1/SAR enquanto às imagens Landsat-5/TM foi atribuído uma escala menor (10).

Tabela 06: Descrição dos dados de segmentação utilizados

Sensor/Satélite	Algoritmo	Camada/Peso	Parâmetro de Escala	Forma (<i>Shape</i>)	Compactação
Landsat-5/TM (1986)	<i>Multiresolution Segmentation</i>	B1 (1) B2 (1) B3 (1) B4 (5) B5 (10) B7 (1)	10	0,1	0,5
JERS-1 (1995)	<i>Multiresolution Segmentation</i>	1	30	0,1	0,5
ALOS/PALSAR (2008)	<i>Multiresolution Segmentation</i>	1	30	0,1	0,5

a.2) Classificação

A classificação pode ser muito mais apurada quando se faz um estudo das estatísticas dos segmentos para identificação das classes pretendidas.

Geralmente, nos algoritmos automáticos, usam-se os classificadores de pertinência para associar os objetos as classes, esses classificadores inibem a noção determinista de sim ou não, deixando com que as estatísticas de cada segmento definam o grau de pertencimento a uma determinada classe.

A partir da segmentação foram definidas 2 classes: continente e massa d'água (Tabela 07). O procedimento de classificação dos objetos, em síntese, se dará com a indicação de segmentos para determinadas classes, sendo esses usados como amostras.

A classificação consistiu em, a partir de um produto pré-processado, segregar a classes as duas classes: continente e água como mostrado na figura. Através de uma função de pertinência é possível delimitar a água ou continente, de modo que a classe restante passa a ser o inverso da classe já classificada (Figura 9).

Tabela 07: Dados de Classificação




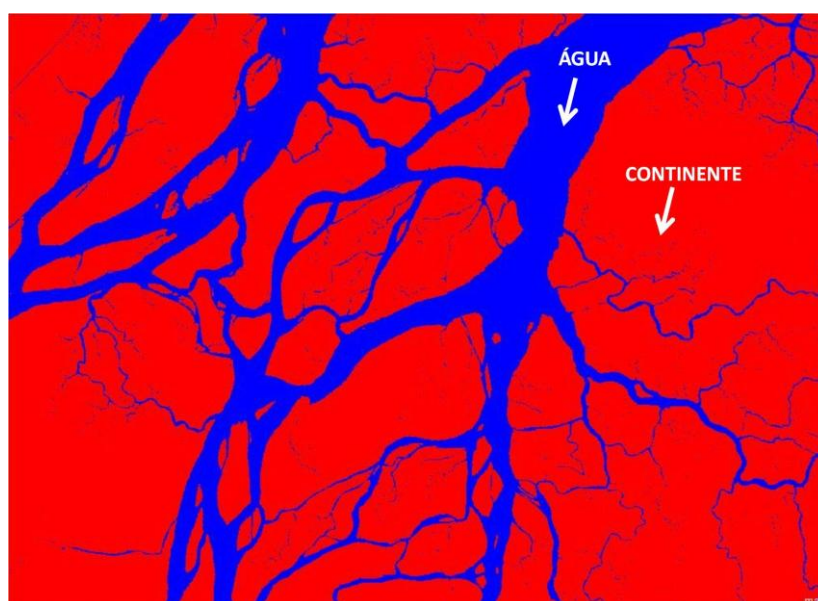
ANO	Classe	Algoritmo	Função de Pertinência	Intervalo
1986	Água	<i>Classification</i>	<i>Mean B5</i> 	—
	Continente	<i>Classification</i>	Inverso da Água	0-55
1995	Água	<i>Classification</i>	Inverso do Continente	—
	Continente	<i>Classification</i>	<i>Mean Layer 1</i> 	0-80
2008	Água	<i>Classification</i>	Inverso do Continente	—
	Continente	<i>Classification</i>	<i>Mean Layer 1</i> 	320-11350

Figura 9: Delimitação das duas classes: continente e água



5.2.3. Detecção e Quantificação de Mudanças

A análise da detecção de mudanças (Tabela 08) foi realizada a partir de uma árvore de processos pré-definida com a utilização do *software Definiens Developer 8* que consistiu no processamento através da análise por sobreposição de imagens, condicionada aos processos de segmentação, classificação, edição manual da classificação, agrupamento de classes e exportação das classes em formato de arquivo *shapefile*. Foram criadas três classes: acreção, erosão e inalterado que, posteriormente foram quantificadas em km² com a utilização do *software ArcMap 10*.

Tabela 08: Dados para a detecção de mudanças

Hierarquia de Classes			
Intervalo	Classe	Operador	Condição Limite
1986-1995	Acreção	And(min)	<i>Existence os sub objects 1986(1)=0</i>
			<i>Existence os sub objects 1995(2)=1</i>
	Erosão	And(min)	<i>Existence os sub objects 1986(1)=1</i>
			<i>Existence os sub objects 1995(2)=0</i>
	Inalterado	And(min)	<i>Existence os sub objects 1986(1)=1</i>
			<i>Existence os sub objects 1995(2)=1</i>
1995-2008	Acreção	And(min)	<i>Existence os sub objects 1995(1)=0</i>
			<i>Existence os sub objects 2008(2)=1</i>
	Erosão	And(min)	<i>Existence os sub objects 1995(1)=1</i>
			<i>Existence os sub objects 2008(2)=0</i>
	Inalterado	And(min)	<i>Existence os sub objects 1995(1)=1</i>
			<i>Existence os sub objects 2008(2)=1</i>

5.2.3.1. Acurácia da classificação

A precisão da classificação pode ser obtida através de coeficientes de concordância que são derivados de uma matriz de confusão, a fim de verificar erros advindos do processo de atribuição dos *pixels* de determinadas classes (FIGUEIREDO, 2007).

5.2.3.2. Matriz de confusão das classes geradas (1986, 1995 e 2008).

A validação da classificação foi realizada a partir da análise da matriz de erros das duas classes definidas (continente e massa d'água) composta por um arranjo quadrado de números dispostos em linhas e colunas. Estas expressam o número de amostras de uma determinada categoria particular, definida por um classificador comparado com a categoria atual medida no campo (CONGALTON, 1991).

A matriz de erros, ou matriz de confusão, consiste em um método efetivo para conferir erros de inclusão e erros de exclusão presentes em uma classificação.

O erro de inclusão ocorre quando temos uma amostra pertencente a uma categorial da qual ela não faz parte. O erro de exclusão ocorre quando uma amostra não pertence a uma categoria da qual ela faz parte. Estes erros foram computados, baseando-se nas medidas relacionadas a acurácia global, acurácia do produtor e acurácia do usuário (CONGALTON ; GREEN, 1999).

Abaixo tabela 09 com índices qualitativos ordinais para cada intervalo de kappa que adotamos para classificação da acurácia e fórmula representativa para obtenção dos índices numéricos baseados em Byrt, 1996.

Tabela 09: Índices qualitativos ordinais para cada intervalo de kappa, que varia de 1 a -1.

Kappa	Landis & Koch, 1977	Fleiss, 1981	Altman, 1991	Byrt, 1996
1,0	Quase perfeito	Excelente	Muito bom	Excelente
0,8				Muito bom
0,6	Substancial	Razoável para bom	Bom	Bom
	Moderado		Moderado	Razoável
0,4	Razoável	Pobre	Razoável	Razoável
0,2	Pobre		Pobre	Pobre
0,0	Muito Pobre		Não concorda	
-1,0				

Fonte: Adaptado de Congalton e Green (1999).

$$\hat{K} = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^k n_{ii} - \sum_{i=1}^k n_{i+} \cdot n_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1}^k n_{i+} \cdot n_{+i}} \quad (1)$$

Fórmula 01: Fórmula representativa para obtenção dos índices numéricos.

Onde,

k = número de linhas da Matriz de Confusão;

n = número total de amostras;

n_{ii} = número de obserações na linha i e coluna i ;

n_{i+} = total da linha i ;

n_{+i} = total da coluna i .

5.2.4. Estatística de dados complementares

A fim de se investigar variáveis físicas que seriam condicionantes as modificações geradas na morfologia local durante os intervalos de tempo analisados, foram adquiridos séries históricas de vazão, precipitação e maré desde 1986 até o presente e foram correlacionadas entre si a partir de médias mensais. Dados estes que, posteriormente foram analisados estatisticamente, de modo a avaliar se suas contribuições tornam-se relevantes e coerentes quando relacionadas aos processos de acreção e erosão detectados.

Para as análises estatísticas por correlação dos dados complementares, foi utilizado o software *Minitab 16* e as mesmas foram realizadas no Laboratório de Sistema de Informação e Georreferenciamento (LASIG) da UFPA.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Devido à grande quantidade de nuvens localizadas principalmente em zonas tropicais úmidas, os resultados deste trabalho mostraram-se mais eficazes em se tratando das imagens de sensores de microondas, não excluindo os sensores ópticos, pois foi possível se obter imagens satisfatórias no ano de 1986, portanto não comprometendo o objetivo do trabalho em analisar as alterações relacionadas a processos de acreção e erosão ao longo do rio Amazonas (canal norte e sul). Para isso foram utilizadas técnicas de processamento de imagens que permitiram uma boa classificação destas alterações, fornecendo subsídios para destacarmos quais as principais áreas modificadas ao longo dos anos e o que possivelmente pode ter corroborado para os resultados gerados. Nestes resultados tentaremos associar os aspectos físicos, hidrológicos e meteorológicos com as alterações representadas nas figuras 10 e 12.

6.1. AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA DE CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETOS

De acordo com a classificação orientada a objeto, obteve-se para a área estudada duas classes bem definidas: continente e massa d'água. Para validação da classificação das três imagens referentes aos anos de 1986, 1995 e 2008 foram amostrados 30 pontos de controle, para as classes *continente e água*. Do total de pontos amostrados a exatidão na classificação manteve um índice acima de 90% em todos os casos já que foram estabelecidas somente duas classes, o que evidentemente aumenta o grau de exatidão na classificação. O cálculo da acurácia da classificação orientada a objetos levou em consideração o índice Kappa. Para o ano de 1986, por exemplo, este índice por classe obteve valores de 93% para a classe continente e 100% para a classe água, enquanto o índice Kappa Geral foi de 0,96. A precisão geral obtida para a classificação foi de 98%, ou seja, dos 10 pontos obtidos, pelo menos 9 foram corretamente classificados.

Tabela 10: Índice Kappa para a imagem LANDSAT-5/TM 1986

Classificação	Continente	Água	Total	Erro de Comissão	Exatidão do Usuário
Continente	29	0	29	3,23%	96,77%
Água	1	30	31	0%	100%
Total	10	10			
Erro de Omissão	4%	0%			
Exatidão do Produtor	96%	100%			
Kappa por Classe	0,935	1			
Precisão Geral	0,983				
Índice Kappa	0,966				

Para a Imagem JERS-1 referente ao ano de 1995 este índice por classe obteve valores de 93% para a classe continente e 100% para a classe água, enquanto o índice Kappa Geral foi de 0,96. A precisão geral obtida para a classificação foi de 98%, ou seja, dos 10 pontos obtidos, pelo menos 9 foram corretamente classificados.

Tabela 11: Índice Kappa para a imagem JERS - 1995

Classificação	Continente	Água	Total	Erro de Comissão	Exatidão do Usuário
Continente	29	0	29	0%	100%
Água	1	30	31	3,23%	96,77%
Total	30	30			
Erro de Omissão	4%	100%			
Exatidão do Produtor	96%	100%			
Kappa por Classe	0,935	1			
Precisão Geral	0,983				
Índice Kappa	0,966				

A imagem ALOS correspondente ao ano de 2008 foi a que obteve os maiores índices de exatidão, o índice Kappa por classe foi de 100% para ambas as classes. O índice Kappa Geral e a precisão geral também apresentaram valores máximos (100%), significando que todos os pontos foram devidamente classificados.

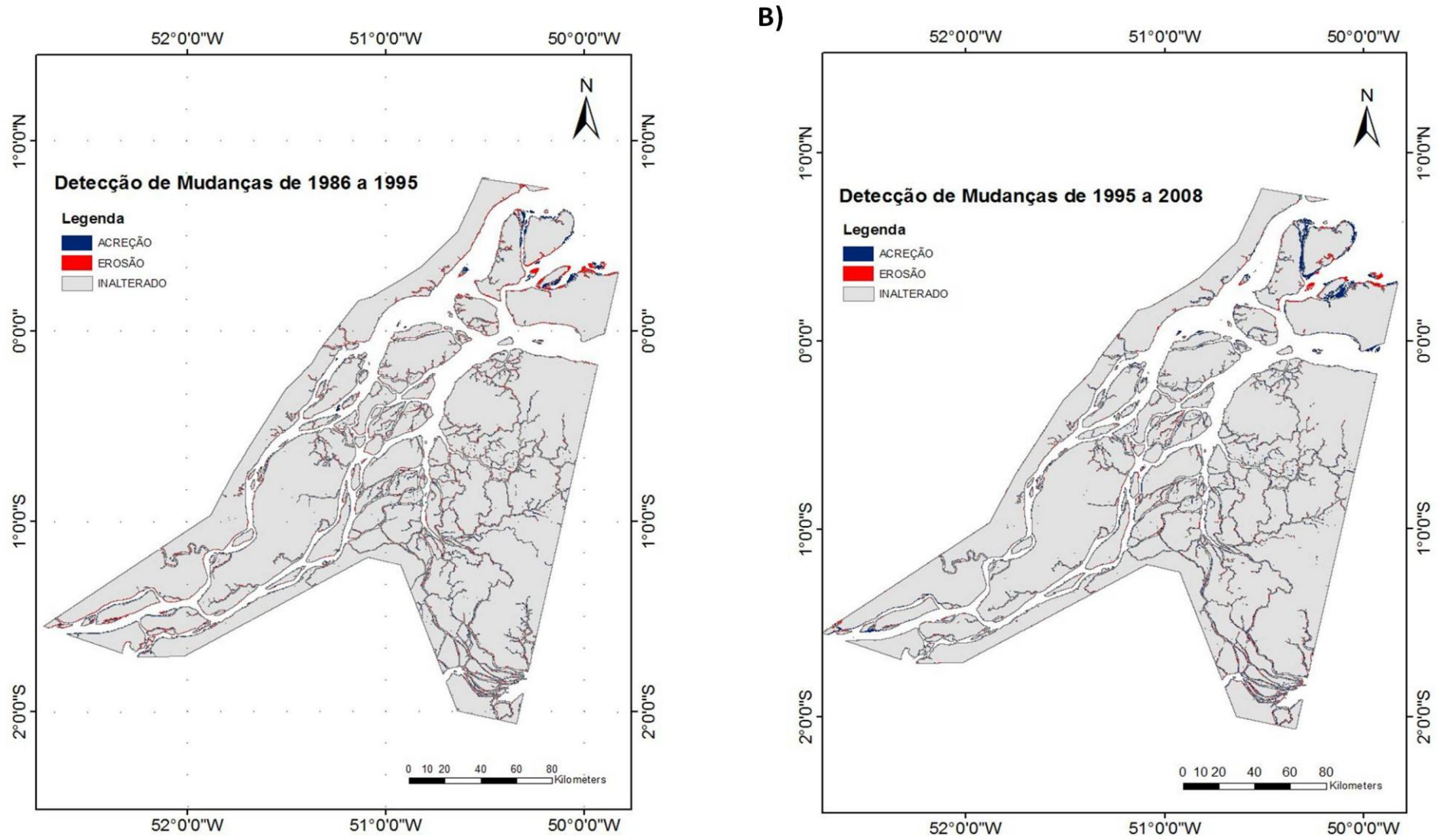
Tabela 12: Índice Kappa para a imagem ALOS/PALSAR - 2008

Classificação	Continente	Água	Total	Erro de Comissão	Exatidão do Usuário
Continente	30	0	30	0%	100%
Água	0	30	30	0%	100%
Total	30	30			
Erro de Omissão	0%	0%			
Exatidão do Produtor	100%	100%			
Kappa por Classe	1	1			
Precisão Geral	1				
Índice Kappa	1				

6.2. Detecção e quantificação de mudanças

Para as classes geradas foram utilizados critérios de delimitação, por exemplo a classe continente foi obtida a partir das informações de vegetação de linha de costa, em um período de baixa inundação para as imagens dos três sensores utilizados (julho a outubro). A classe água foi obtida através da subtração da classe continente da área total de estudo, por se tratar somente de duas classes. A figura 10 mostra as alterações ocorridas entre os intervalos de 1986-1995 e 1995-2008.

Figura 10: Área de estudo evidenciando áreas de acreção e erosão entre intervalos de (A) 1986 a 1995 e (B) 1996 a 2008



Através da individualização das duas classes para os três anos estudados, foi possível observar alterações como acreção e erosão ao longo de toda a área estudada, estes dados foram quantificados e representados em km² de acordo com a figura 11. A acreção foi observada principalmente próximo a foz do rio Amazonas, contribuindo com mais de 50% do valor total para área de estudo no intervalo de 22 anos. Em síntese, observou-se acreção de 64% de área no intervalo total estudado, com significância de 67% entre os anos 1995 a 2008 dos 49% do intervalo de 1986 a 1995. Entre os anos de 1986 e 1995 as taxas de erosão e acreção mantiveram-se relativamente em equilíbrio (figura 12) com um pequeno domínio de erosão (51%).

Figura 11: Quantificação em km² de áreas de (A) erosão e (B) acreção nos intervalos de tempo analisados.

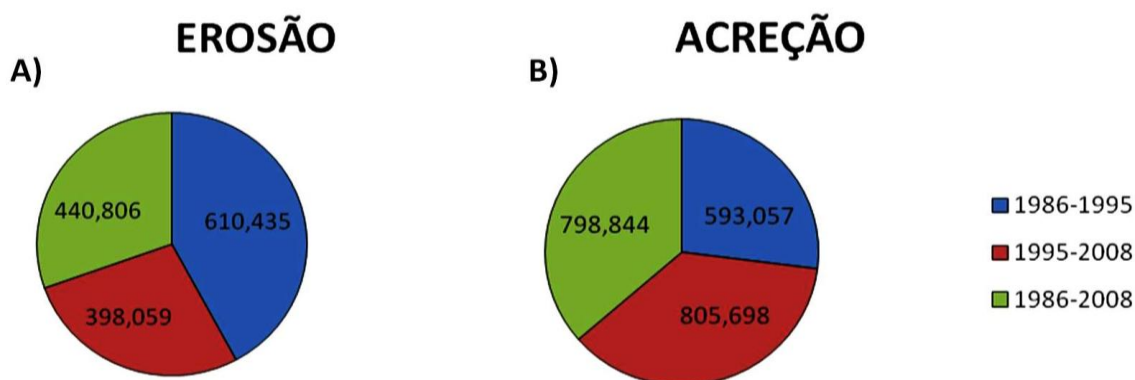
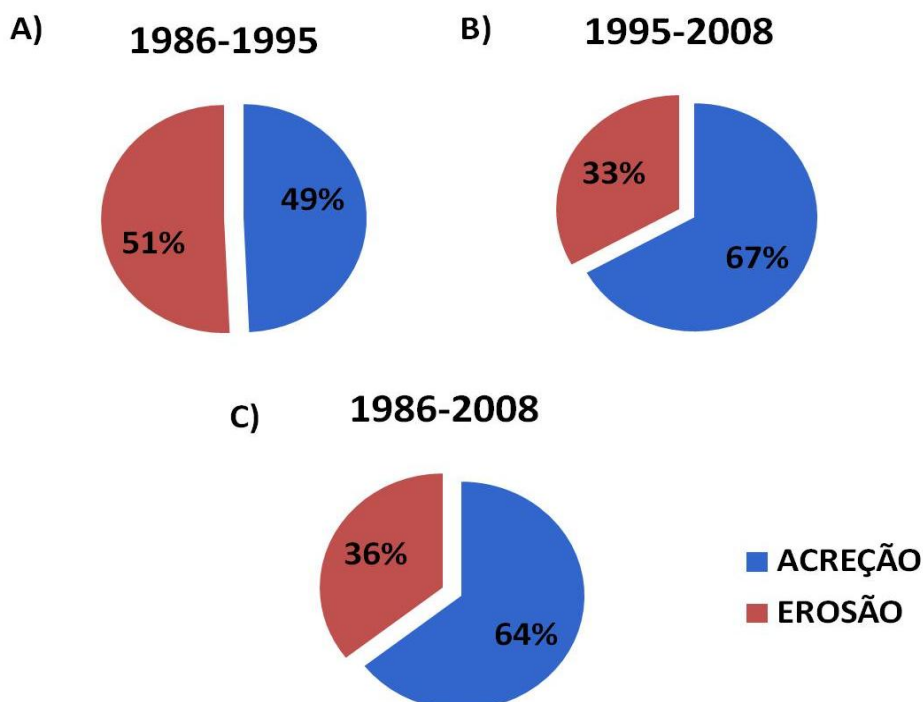


Figura 12: Comparação entre taxas de acreção e erosão nos diferentes intervalos analisados



6.3. COMPARAÇÃO DE ÁREAS ALTERADAS POR SETORES

A fim de se investigar e discutir de forma mais coerente as alterações que ocorreram ao longo dos intervalos de tempo analisados, a área de estudo foi compartimentada em três setores (figura 12). O setor 1 está situado próximo a desembocadura do delta do Amazonas e portanto sob ação dos processos oriundos do oceano Atlântico. Este setor apresentou aproximadamente 194km² de áreas erosivas (44%), e 291km² de área acrecional (36%), representando o setor com a maior perda sedimentar (erosão), que pode estar relacionado a proximidade da foz, portanto recebendo maior influência de maré.

O setor 2 está situado desde bifurcação do rio Amazonas entre os canais norte e sul, e compreende a maior parte da extensão destes canais. Este setor apresentou aproximadamente 309 km² de áreas acrecionais (39%) e 181 km² de áreas erosivas (41%), sendo o setor que apresentou as maiores alterações, com predomínio de acréscimo sedimentar. A dinâmica sedimentar e a descarga fluvial do rio Amazonas podem ter corroborado para estes resultados.

O setor 3 é a região que engloba redes de drenagens menores e mais estreitas, que devido o seu tamanho representaram resultados pouco expressivos pra este trabalho. Este setor mostrou-se com alterações mínimas se comparado aos demais setores, apresentando aproximadamente 203 km² de acreção e 67 km² de erosão.

Tabela 13: Quantificação de áreas alteradas por setores em km²

SETORES	Acreção	Erosão
Setor1	291,325	194,999
Setor2	309,76	181,098
Setor3	203,826	67,524
Total	804,911	443,621

Figura 13: Percentual de áreas alteradas por setores.

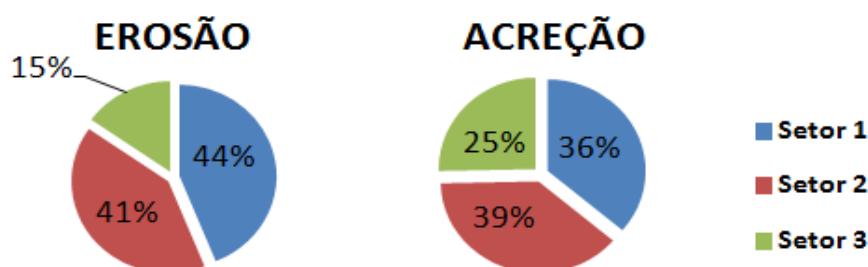
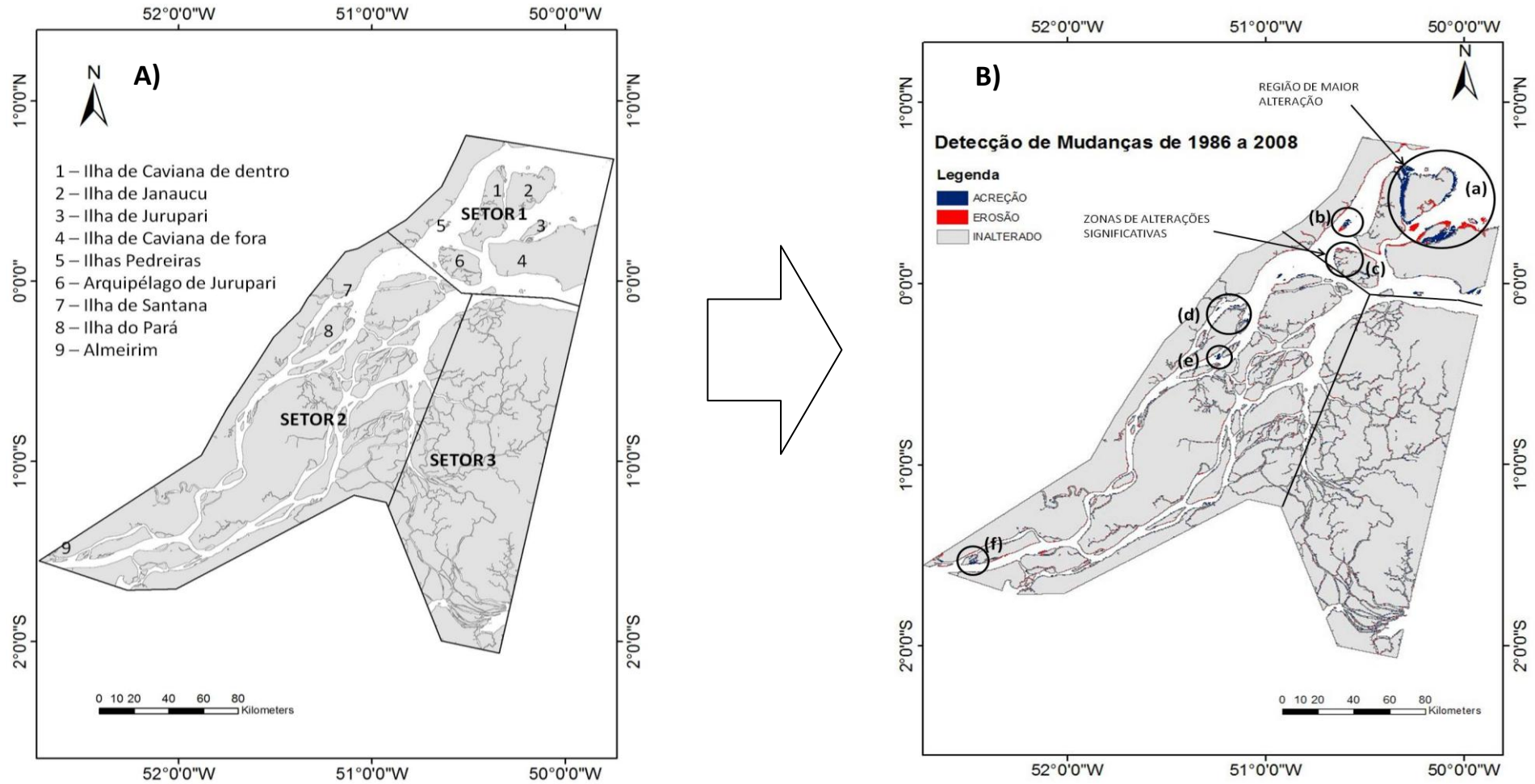


Figura 14: Área de estudo compartimentada em setores (A) e evidenciando as principais áreas de acreção e erosão entre o período total de análise (1986-2008).



6.4. ÁREAS DE ALTERAÇÕES SIGNIFICATIVAS

Para o melhor entendimento das regiões que apresentaram mudanças de caráter expressivo, a área de estudo foi compartimentada em áreas que foram classificadas em (a), (b), (c), (d), (e), (f) destacando as ilhas onde ocorreram estas modificações que serão discutidas a seguir.

ÁREA (a)

Trecho que engloba Ilha Janaucu (1) a leste, a ilha de Caviana (2) a oeste, a ilha de Jurupari (3), na parte sul e a costa norte da ilha de Caviana (4), parte sul. Esta região foi a que representou a maior alteração na área de estudo representando quase que totalmente o setor 1. Nesta região houve uma predominância expressiva de acreção de 302,21 km² (51%) do intervalo de 1986 a 1995 e 553,74 km² (69%) do intervalo de 1995 a 2008, suas causas podem ser diversas, uma vez que esta região está situada próxima a desembocadura do Amazonas, sendo, portanto região de maior influência dos processos marinhos. A deposição da carga suspensa do Amazonas durante os períodos de transbordamento sobre a planície de inundação podem servir de embasamento as diversas áreas acrecionais detectadas. A erosão neste setor também é expressiva, pois é onde houve erosão de pequenas ilhas, ocorrendo até mesmo extinção e modificações na morfologia das ilhas maiores, estreitando canais.

ÁREA (b)

Área que representa as Ilhas Pedreiras (5), região onde houve a migração de seus bancos no sentido norte e erosão ao sul. Esta região é norteadada por planícies de inundação e planícies de maré lamosa, o que pode justificar a migração de seus bancos, pois nesta região há um baixo gradiente topográfico em consequência, a energia fluvial é diminuída e não consegue carregar muito da carga sedimentar do rio que é depositada, colmatando com sedimentos fluviais. Neste trecho houve predomínio de acreção (4km²) do intervalo de 1986 a 2008, levando em consideração que no primeiro intervalo analisado houve quase uma equivalência nos valores de erosão para a mesma área analisada, porém pelas características topográficas e processos fluviais atuantes, diferentes estágios de maré podem ter influência nos resultados detectados. Torres e El-Robrini (2006) e Costa et al., (2011) destacam que a migração da ilha Pedreiras ocorre devido a erosão de sua porção Sul e a posterior deposição

em sua porção Norte. Os autores destacam ainda que a dinâmica espacial desta ilha esta intrinsecamente ligada à interação de processos fluviais e costeiros por efeito da maré.

ÁREA (c)

Região situada no arquipélago Jurupari (6) no setor 2, onde houve tanto erosão quanto acreção de forma balanceada observada em todos os períodos analisados. Este trecho está situado próximo a ação tanto das marés que adentram a bacia quanto a dinâmica da descarga fluvial a jusante o que pode dar suporte aos resultados obtidos. Para Silveira *et al.* (2002) a dinâmica de mudanças no arquipélago é potencializada pelo sistema de dispersão do rio Amazonas aliado aos ventos alísios de sudeste que convergem para a região, gerando modificações nas redes de drenagens locais e por conseguinte na morfologia das ilhas.

ÁREA (d)

Próximo a ilha de Santana (7), na costa do Amapá, onde ocorre a bifurcação do fluxo a montante do canal norte do rio Amazonas. A descarga do rio Anauerapucu ocorre às proximidades deste trecho que podem também ter contribuído para a acreção.

ÁREA (e)

Situado a sul da Ilha do Pará, teve um expressivo índice acrecional que pode estar associado a diferentes estágios de maré, em função de sua baixa topografia e presença de planícies facilmente inundáveis em seus arredores.

ÁREA (f)

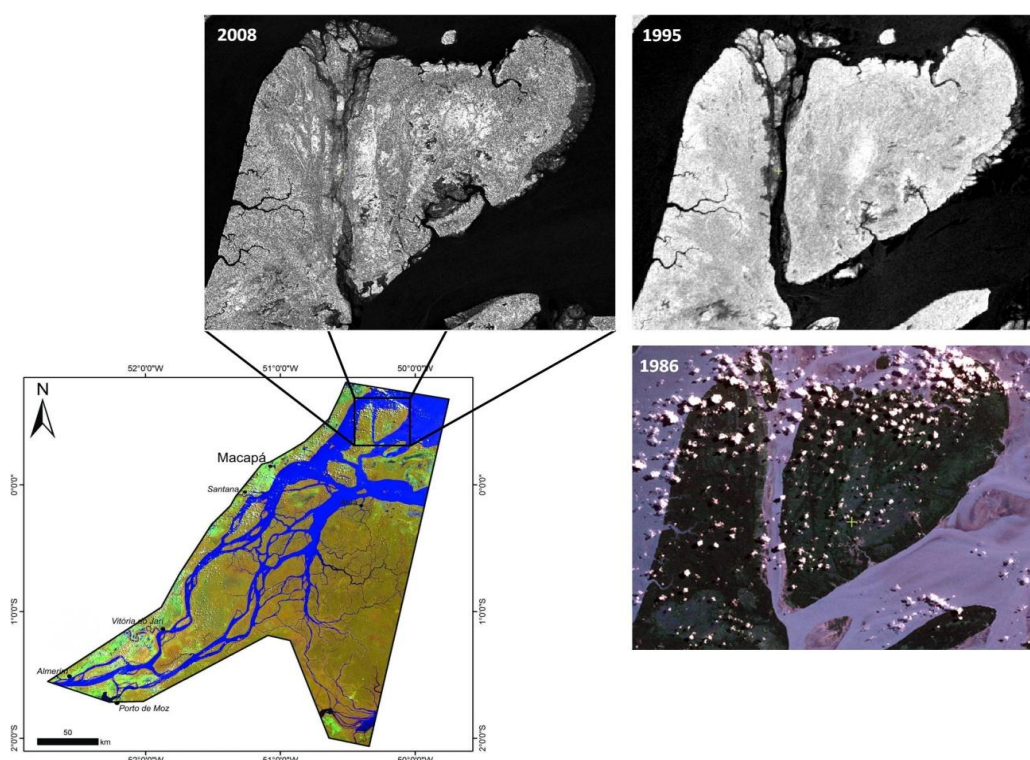
Próximo a Almerim. A área onde se evidenciou uma das altas taxas de acreção (5km²) está situada onde encontra-se um canal que divide a ilha menor na parte de oeste, da parte leste (porção maior). É uma região de alta dinâmica, sendo principalmente influenciada pela ação da descarga fluvial (vazão do rio) recebendo pouca ação de maré.

6.5. ASPECTOS MORFODINÂMICOS E CONDIÇÕES SAZONAIS

Os processos de erosão, transporte e deposição de sedimentos são interligados, sendo distintas fases de uma mesma dinâmica, resultando dos diferentes fluxos presentes nos canais do rio Amazonas. Assim como a erosão, a deposição de sedimentos traz características proporcionais a hidrodinâmica de um rio, ou seja, extensas áreas deposicionais. A deposição de sedimentos se manifesta nos períodos de vazante do rio, onde se tornam visíveis inúmeras unidades morfológicas resultantes da acreção de sedimentos dentro do canal, nas margens e na planície.

Ao longo do canal norte do rio Amazonas margeando a costa do Amapá é comum também a presença de bancos lamosos vegetados. Esses bancos, em geral rasos, podem representar falsas áreas acrecionais, uma vez que podem encontrar-se emersos ou submersos dependendo do estágio de maré quando comparados entre períodos distintos. A figura 14 evidencia duas ilhas, a de Janaucu (a leste) e a ilha Caviana (a oeste) próximas a foz do rio Amazonas, onde apresentavam-se separadas por um canal. A partir do ano de 1995 foi possível perceber um estreitamento deste canal e a formação de um aglomerado de sedimento na parte norte aumentando o tamanho da ilha.

Figura 15: Alterações morfológicas próximo a foz do rio Amazonas durante o intervalo estudado.



Uma das explicações para este fechamento pode ser em decorrência da grande quantidade de sedimentos enviados a foz do rio Amazonas e depositados nas ilhas e costas adjacentes, assim como a baixa profundidade nestas áreas, facilitando a acumulação de sedimentos.

A investigação dos níveis de água e as condições hidrodinâmicas geralmente são pertinentes, uma vez que o estudo da hidrologia local contribui para as taxas de erosão e controle de sedimentos. Uma grande cheia pode significar uma abundante quantidade de material sólido em suspensão carregado pelo rio, de modo que em uma grande estiagem a concentração de sedimentos tende a elevar-se bruscamente.

Torna-se pertinente destacar que houve uma diferenciação sazonal entre os períodos analisados. As imagens Landsat-5/TM correspondem ao mês de julho, JERS-1/SAR e ALOS/PALSAR foram adquiridas ambas durante o mês outubro que compreende o período menos chuvoso, enquanto a cena Landsat-5/TM representa a transição do chuvoso para o menos chuvoso. Variações na sazonalidade podem comprometer a precisão de detecção de mudanças devido a diferentes estágios de maré e níveis de água, todavia não houve grandes discrepâncias nos dados observados por não se tratar de períodos extremos.

Condições climáticas, especificamente a pluviosidade, geram modificações no fluxo das águas. Isso significa que o aumento da intensidade e duração das chuvas contribui positivamente para o escoamento da bacia do Amazonas, de modo a gerar consideráveis alterações na morfologia costeira. Somado a isso, a identidade sedimentológica de seus canais, em geral compostos por sedimentos finos (areia e lama) geram a presença de uma grande concentração de lamas fluidas e móveis, o que pode gerar uma alta instabilidade nos depósitos sedimentares próximos a costa, gerando alterações significativas e facilmente detectáveis através de sensores remotos.

A decantação da água turva acontece sobretudo durante os períodos em que se dá a sua imobilização, que coincidem sobretudo com as marés altas. A capacidade de aderência de partículas finas faz com que, uma vez depositadas seja difícil remobilizá-las. Esse fato permite que as acumulações vasosas se repitam em cada ciclo de maré e, por isso, elas acabam por ser um traço dominante da sedimentação estuarina.

Em seu estado natural, a forma de equilíbrio de um curso d'água tende a ajustar-se a uma conformação espacial que está condicionada a uma série de fatores físicos que regem a dinâmica local, como por exemplo, vazão e precipitação.

A seqüência de vazões líquidas (impostas pelo processo chuva-vazão) e de vazões sólidas provenientes da bacia e do próprio curso d'água compromete a susceptibilidade de suas margens acarretando processos de erosão ou deposição de sedimentos.

Séries históricas entre os anos de 1986 e 2005 a partir de médias mensais evidenciaram a correlação negativa entre os dados de maré oriundas dos oceanos em relação a vazão proveniente da descarga fluvial (figura 14). A análise estatística demonstrou uma correlação positiva e linear entre os dados de vazão e precipitação nas ultimas décadas para bacia do Amazonas (figura 15) onde essas forçantes geraram maior modificação a jusante do rio. Enquanto dados de maré apresentaram uma correlação negativa linear com dados de vazão que representa o fluxo de descarga do rio, ambas com correlação acima de 95%.

Figura 16: Correlação entre dados de vazão e precipitação.

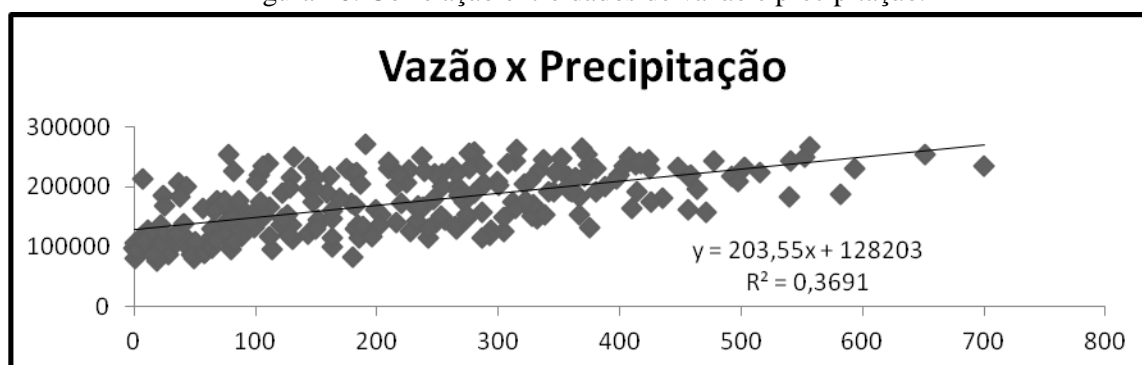
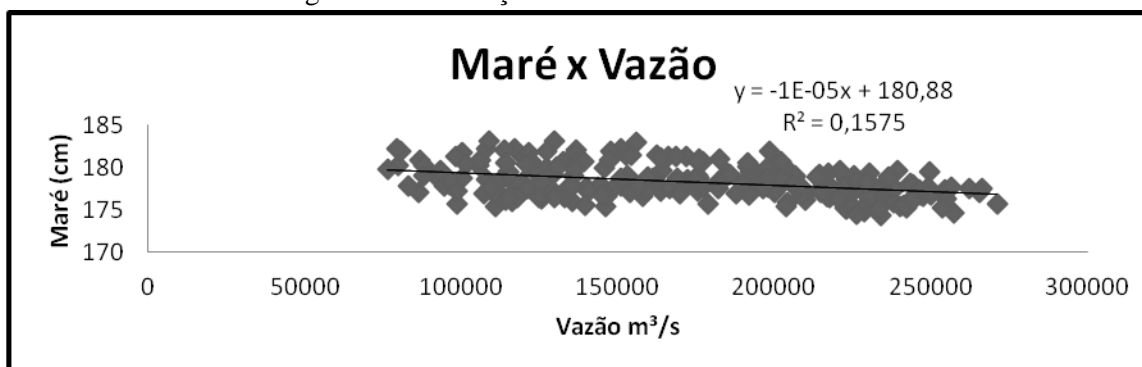


Figura 17: Correlação entre dados de maré e vazão.



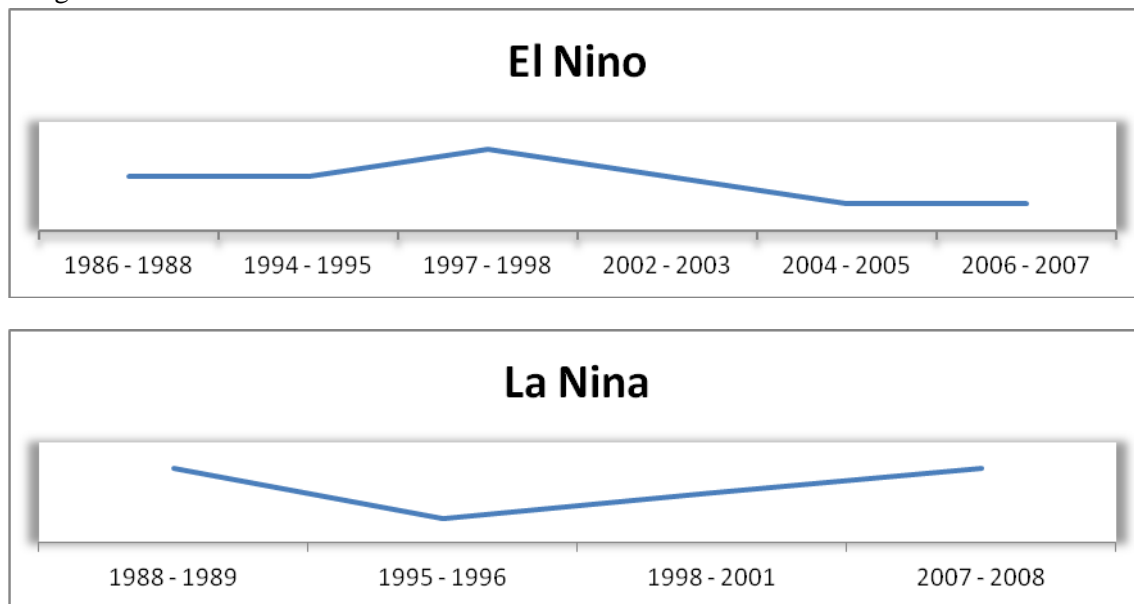
6.5. OCORRÊNCIAS DE *EL NINO* E *LA NINA*

Trabalhos recentes que discutem a natureza das forças envolvidas em mudanças climáticas e alterações morfológicas têm colocado em evidência a associação entre períodos relativamente longos e recorrentes dos episódios de El Niño e La Nina. Nas regiões sul e sudeste do Brasil já foram constatados a influencia do fenômeno El Nino em processos de erosão em regiões litorâneas e estuarinas, uma vez que se verifica a precipitação pluvial em volume superior ao normal.

No entanto, para Região Norte, o efeito do El Nino é inverso ocorrendo diminuição das chuvas no nordeste e leste da Amazônia, sendo portanto a La Nina a responsável pelo aumento de precipitação e vazões dos rios.

Nos últimos 10 anos ocorrências de El Nino tem se manifestado de forma moderada ou fraca, a se notar por períodos de alta pluviosidade, de modo que ocorrências de grande representatividade do fenômeno La Nina podem tem contribuído para os altas taxas de deposição e acreção encontrados entre os anos de 1996 e 2008.

Figura 18: Intensidade dos fenômenos de El Nino e La Nina durante seus anos de ocorrência.



7. CONCLUSÕES

No que se refere à quantificação das alterações mediante o uso de dados de sensores remotos ópticos, fica evidente que estes apresentam limitações referentes a intensa cobertura de nuvens, comuns em regiões tropicais úmidas, como é o caso da Amazônia, que, no entanto podem ser sanados com o emprego de imagens de radar, a partir dos sensores PALSAR e SAR, permitindo a realização do monitoramento costeiro com melhor precisão, considerando a versatilidade da faixa das microondas em ambientes tropicais por não apresentarem interferência causada por fatores atmosféricos. Torna-se relevante mencionar que por não haver dados SAR disponíveis para os anos de 1986, adotou a utilização de dados ópticos do Landsat-5/TM.

As contribuições físicas, hidrológicas e meteorológicas, explicaram algumas relações destas mudanças ao longo da área estudada, pois entendendo o funcionamento, e a hidrodinâmica do rio Amazonas, entende-se a proveniência ou ausência dos sedimentos responsáveis por estas alterações, assim como os fenômenos climáticos podem atenuar ou não, juntamente com os dados das séries temporais de vazão, maré e pluviosidade.

Constatou-se então que os 64% da acreção em um intervalo de 22 anos é explicado pelo grande aporte de sedimentos liberados pela alta pluviosidade na região amazônica, diretamente associada à vazão e inversamente associada a maré. A morfologia da área é outro importantíssimo fator, pois em áreas como os da ilha Janaucu e Caviana onde as profundidades são mais rasas, a deposição de sedimentos é muito mais evidente corroborando para a união das duas ilhas como explicados nos resultados.

Assim, concluímos que a utilização de imagens de multisensores, associados às técnicas de processamento digital de imagens como a classificação orientada a objeto e a construção de árvores de processos para análise de detecção de mudanças ao longo do rio Amazonas, forneceram bons resultados para a identificação e quantificação de alterações. Relatando mais uma vez que o sensoriamento remoto é uma ferramenta importante, e nos últimos anos essencial e eficaz para a análise de áreas de grande porte com intuito de analisar as variações de linha de costa ao longo de um determinado período estipulado.

REFERÊNCIAS

- ALLISON, M.; NITTROUER, C.A.; FARIA JÚNIOR, L.E.C. Rates and mechanisms of shoreface progradation and retreat downdrift of the Amazon river mouth. **Marine Geology**, n.125, p. 373-392. 1994.
- ALLISON, M.A.; LEE M.T.; OGSTON A.S.; ALLER R.C. Origin of Amazon mudbanks along the northeastern coast of South America. **Marine Geology**, n.163, p241–256. 2000.
- ALOS Systematic Observation Strategy. EORC/JAXA. 2008. Disponível em: <http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/obs/overview.htm>. Acesso em: outubro de 2011.
- AYRES NETO, A. **Avaliação das condições de estabilidade de fundo marinho na região do delta submarino do rio Amazonas**. 1994. 82f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal Fluminense. Rio de Janeiro, 1994.
- AZEVEDO, R.P. Evolução tectônica da margem continental equatorial brasileira. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 37, 1992, São Paulo. **Boletim de resumos expandidos**, São Paulo: SBG, 1992. p. 565 – 568.
- BRANDÃO, J.A.S.L. ; FEIJÓ, F.J. Bacia da Foz do Amazonas. **Boletim de Geociências da Petrobrás**. In.1, p.91-99. 1994.
- BRANDÃO, J.A.S.L. **Revisão e atualização estratigráfica das bacias da foz do Amazonas e Pará**. (Relatório interno da Petrobrás). Maranhão, 1990.
- BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAM. **Folha NA/NB. 22 – Macapá**: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1974. v.6.
- CACHIONE, D.A.; DRAKE, D.E.; KAYEN, R.W.; STERNBERG, R.W.; KINEKE, G.C.; TAYLE, G.B. Measurements in the Bottom boundary layer on the Amazon subaqueous delta. **Marine Geology**, n125, p235-239. 1995.
- CARVALHO, J. A. L. **Terras caídas e conseqüências sociais: Costa do Miracauera-Paraná da Trindade, município de Itacoatiara-AM, Brasil**. 2006. 141f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Amazonas, Manaus. 2006.
- COHEN, J. A coefficient of agreement for nominal scales. **Educational and Psychological Measurement**, n.20, p.37–46. 1995.
- CONGALTON, R. G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote sensing of environment**, u.49, n.12, p.1671-1678, 1991.
- CONGALTON, R. G.; GREEN, K. Assessing the accuracy of remote sensed data: principle and practices. New York. **Lewis publishers**, 123p. 1999.
- COSTA, E.A. **Caracterização de Ecofácies e Processos Sedimentares da Plataforma Continental Amazônica**. 1996. 138f. Dissertação (mestrado). Universidade Federal Fluminense. Rio de Janeiro. 1996.

COSTA, J.B., HASUI, Y., BEMERGUY, R.L., SOARES JUNIOR, A.V. and VILLEGAS, J. Tectonics and paleogeography of the Marajo Basin, northern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. n.74, p.519–531. 2002.

COSTA, H. K. S.; SANTOS, V. F., SILVEIRA, O. F. M. Banco de Dados Geográficos para Armazenamento e Recuperação de Dados Geológicos e Geofísicos da Planície Costeira do Amapá, Cabo Norte. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 15. **Anais...** Curitiba, PR. p. 8796. 2011.

CPRM. Geological Information System. Brazilian Geological Service. Online data set, Folhas NA/SA-22 23 MB, Disponível em: <http://geobank.sa.cprm.gov.br>. 2010. Acesso em: novembro de 2011.

DIEGUES, F.M.F. Introdução à Oceanografia do estuário Amazônico. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 26. Belém, PA. 1972. v.2, p. 301-317.

Earth Observation Research Center. EORC. Daichi (ALOS). Disponível em: <http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS>. Acesso em 27 de out. de 2011.

FEMAR, Catálogo de estações maregráficas Brasileiras. 1º ed., Rio de Janeiro, FEMAR, p. 280. 2000.

FERREIRA DA COSTA, R.; FEITOSA, J.R.P.; Fisch, G.; SOUZA; S.S.; NOBRE, C.A. Variabilidade diária da precipitação em regiões de floresta e pastagem na Amazônia. **Acta Amazônica**, v28, n.4, p. 395-408. 1998.

FIGUEIREDO JUNIOR., A.G. Modelo de sedimentação atual da Plataforma Amazônica. Universidade Federal Fluminense, Tese para concurso de professor titular do Departamento de Geologia, 42f. 1995.

FIGUEIREDO, A.G.; GAMBOA, L.A.P.; GORINI, M.A.; ALVES, E.C. Natureza da sedimentação atual do Rio Amazonas testemunhos e geomorfologia submarina, canyon Amazonas testemunhos submarinos. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 26., 1972. Belém, Pará. **Anais...**, Belém: SBG, 1972. v.2, p.51-56.

FIGUEIREDO, G. C. **Exatidão posicional e temática de imagens orbitais**. 2007. 87f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, MG. 2007.

FLAGG, C.N, GORDON, R.L. and McDOWELL, S. “Hydrographic and current observations on the continental slope and shelf of the western equatorial Atlantic”, **Journal of Physical Oceanography**, v. 16, p. 1412-1429. 1986,

FORBES, D.L.; LIVERMAN, D.G.E. Geological indicators in the coastal zone. In: BERGER, A.R.; IAMS, W.J. (Ed.). *Geoindicators: assessing rapid environmental changes in Earth systems*. A.A. Balkema, Rotterdam, p. 175–192. 1996.

GEYER, W.R.; BEARDSLEY, R.C.; LENTZ, S.J.; CANDELA, J.; LIMEBURNER, R.; JOHNS, B.M.; CASTRO, B.M.; SOARES, I.D. Physical oceanography of the Amazon shelf. **Continental Shelf Research**, v.16, n.5/6, p. 575-616. 1996.

GEYER, W.R.; BEARDSLEY, R.C.; CANDELA, J.; CASTRO, B.M.; LEGECKIS, R.V.; LENTZ, S.J.; LIMEBURNER, R., MIRANDA, L.B.; TROWBRIDG, J.H. The physical oceanographic of the Amazon outflow. **Oceanography**. 1991. v.4, p.8-14.

GEYER, W.R., KINEKE, G.C. "Observations of currents and water properties in the Amazon frontal zone", **Journal of Geophysical Research**. 1995. v. 100, n. C2 (Feb), p. 2321-2339.

GIBBS, R. J. Water chemistry of the Amazon River. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 36, 1061-1066. 1972.

GIBBS, R.J. Amazon river sediment transport in the Atlantic Ocean. **Geology**, v.4, p.45-48. 1976.

GREEN, EP; CLARK, CD; MUMBY, PJ; EDWARDS, AJ; ELLIS, AC. Remote Sensing techniques for mangrove mapping. **International journal of remote sensing**. n.19, p.935-956, 1999.

INMET. 2004. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: www.inmet.gov.br. Acesso em 23 de novembro de 2011.

JAEGER, J.M. ; NITTROUER, C.A. Tidal controls on the formation of fine scale sedimentary strata near the Amazon River mouth. **Marine Geology**, v.125, 259-281. 1995.

KOWSMANN, R.O.; COSTA, M.P.A. **Sedimentação quaternária da Margem Continental Brasileira e das áreas oceânicas adjacentes**. 1979. v.8, p.13-22. (Série Projeto REMAC).

KUEHL, S.A.; De MASTER, D.J.; NITTROUER, C.A. Nature of sediment accumulation on the Amazon continental shelf. **Continental Shelf Research**, v.6, n.1/2, p.209-226. 1986.

KUEHL, S.A., NITTROUER, C.A., ALLISON, M.A., FARIA, L.E.C., DUKAT, D.A., JAEGER, J.M., PACIONI, T.D., FIGUEIREDO A.G.; UNDERKOFFLERT, E.C. Sediment deposition, accumulation, and seabed dynamics in a energetic fine-grained coastal environment. **Continental Shelf Research**. 1996. n. 516, v.16, p.787-815.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. São Paulo: Oficina de Texto, 2009. 424p.

LIMA M.I.C.; BEZERRA P.E.; ARAUJO H.J.T. Sistematização da Geologia do Estado do Amapá. In: SIMPOSIO DE GEOLOGIA DA AMAZONIA, vol. 3, Belém. **Anais**. SBG. Belém. p. 322-335. 1991.

LIMA, C.A.; SILVA, E. T. J. B.; SANO, E. E. Análise de imagens do ALOS/PALSAR para a discriminação da cobertura vegetal da Amazônia. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. **Anais...** Natal, Brasil, 2009, Natal: INPE, p. 7315-7321.

LISITZIN, A.P. Ocean Sedimentation. Lithology and Geochemistry. American Geophysical Union, 1996. Washington, 400f.

MARINHO, R. R., MELO, E. Análise multitemporal da geomorfologia fluvial do rio Solimões entre dois períodos hidrológicos (cheia de 1999 e a vazante 2005). SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. **Anais...** Natal, Brasil, 2009, Natal: INPE, p. 4765-4772.

MARTINS, A.C.S. ; DA LUZ, M.S.F.C. **Cenário climático atuante no litoral Norte da Amazônia Brasileira**. Monografia do III Curso de Especialização em Oceanografia/UFGA, 64p. 2004.

MASSON, S.; DELECLUSE, P. Influence of the Amazon River Runoff on the Tropical Atlantic. **Physical Chemical Earth (B)**, v.26, n.2, p.137-142. 2001.

MEAD, R.H.; DUNNE, T.; RICHEY, J.E.; SANTOS, U.M.; SALATI, E. Storage and remobilization of suspended sediment in the lower Amazon river of Brazil. **Science**, v. 228, p.488-490. 1985.

MILLIMAN, J.D.; SUMMERHAYES, C.P.; BARRETO, H.T. Quaternary sedimentation on the Amazon continental margin: a model. **Geological Society of America bulletin**, n.86, p.610-614. 1975.

MUEHE, D. Geomorfologia costeira. In: CUNHA S.B.; GUERRA A.J.T. **Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p: 191–238. 1996.

MÜLLER-KARGER, F.E.; MCCLAIN, C.R.; RICHARDSON, P. The dispersal of Amazon's water. **Nature**, n. 333, p. 56-59. 1988.

NASCIMENTO JUNIOR, W. R. **Deteção de Mudanças na Costa De Manguezais da Amazônia a partir da Classificação de Imagens Multisensores Orientada a Objetos. 2011**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, 2011.

NIMER, E. Clima. In: **Geografia do Brasil**. Região Norte. Rio de Janeiro, IBGE. 3: p. 61-72. 1991.

NITTROUER, C.A., CURTIN, T.B., DEMASTER, D.J. Concentration and flux of suspended sediment on the Amazon continental shelf. **Continental Shelf Research** v.6, n.1–2, 151–174. 1986.

NITTROUER, C. A.; KUEHL, S. A. Geological significance of sediment transport and accumulation on the Amazon Continental shelf. **Marine Geology**, n.125, p.175-399. 1995.

NITTROUER, C.A.; DEMASTER, D.J. ; RINE, J.M.; FIGUEIREDO JUNIOR., A.G. A multidisciplinary amazon shelf sediment study. **EOS Transactions – American Geophysical Union**, Estados Unidos, v. 71, n. 45, p.1771-1777. 1990.

NORDSTROM, K.F. Cyclic and seasonal beach response: a comparison of ocean side and bayside beaches. **Physical Geography**, n.1-2, p.177–196. 1980.

OLIVEIRA, M.E.T. **Análise sismoestratigráfica da Plataforma Rasa da Bacia da Foz do Amazonas, Mesomioceno a Plioceno**. 1996. 149f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal Fluminense. Rio de Janeiro. 1996.

OLTMAN, R.E. Reconnaissance investigations of the discharge and water quality of the Amazon River. U.S. **Geol. Surv. Circ.**, 552, Washington, DC: 16p. 1968.

PALMA, J.J.C. **Geomorfologia da Plataforma Continental Norte Brasileira**. n.7, p.25-51. 1979. (Série Projeto REMAC).

PARADELLA, W. R.; SANTOS, A. R.; VENEZIANI, P.; CUNHA, E. S. P. Radars imageadores nas geociências: estado da arte e perspectivas. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.1, n. 57, p. 56-62, 2005.

QUEIROZ, J. E. R.; H. M. GOMEZ. Introdução ao Processamento Digital de Imagens. **Revista RITA: Instruções para preparação de documentos em Word**. v.8, n1. p. 1-31. 2001.

RICHEY, J. E., J. T. BROCK, R. J. NAIMAN, R. C. WISSMAR, AND R. F. STALLARD. Water discharge and suspended sediment concentrations in the Amazon River: A sampling procedure and distributions. **Water Res.** v.22, p.756-764. 1986.

RODARTE, J.B.M.; BRANDÃO, J.A.S.L. **Arcabouço estrutural, estratigrafia e perspectivas exploratórias da área de Caciporé, porção noroeste da Bacia da Foz do Amazonas**. Rio de Janeiro, 1988. (Relatório interno da Petrobrás).

SCHALLER, H. Estratigrafia preliminar da Bacia Sedimentar da Foz do Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., 1971, São Paulo. **Anais...**São Paulo: SBG, 1971. p.189 -202.

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. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 15. **Anais...** Curitiba, PR. P. 8614. 2011.

SILVA, M.G.L.; SOUZA FILHO, P.W.M.; TOZZI, H.A.M. ; EL-ROBRINI, M., Shoreline changes in the Pescadores Estuarine beach, Bragança Coastal Plain, Northern Brazil. In: Simpósio Brasileiro de Praias Arenosas, 1. Itajaí, 2000. **Anais...** Itajaí: ABEQUA: 184-185. 2000.

SILVEIRA, O. F. M.; SANTOS, V. F.; FIGUEIRA, Z. R.; AGUIAR, J. S. S.; SILVA, L. M. A.; COSTA NETO, S. V.; TARDIN, A. T.; MONTEIRO, C. J. F.; MELO, C. C. S.; RODRIGUES, A. A. F. **Estudo de Criação de Unidade de Conservação na Foz do Rio Amazonas**. Macapá: PROECOTUR, 2002.

SILVEIRA, O. F.; SANTOS, V. F. 2006. **Aspectos Geológicos-Geomorfológicos da Região Costeira entre o Rio Amapá Grande e a Região dos Lagos do Amapá**. In: Projeto de conservação e utilização sustentável da diversidade biológica brasileira – PROBIO. Macapá, AP. Relatório Técnico-Científico Meio Físico. 196p.

SILVEIRA, O. F.; SANTOS, V. F.; MARTINS, M. H. A.; MONTEIRO, C. J. Dinâmica Morfológica na Foz do Rio Amazonas através de análises multitemporais de imagens de satélites. In: WORKSHOP ECOLAB: Ecossistemas Costeiros Amazônicos, 6., 2002, Belém. **Resumos...** Belém: IRD/UFPA/MPEG/IEPA, 2002. p.1-10.

SOUZA FILHO, P.W.M.; PARADELLA, W.R., 2001. Synthetic Aperture Radar for Coastal Erosion Mapping, and Land-Use Assessment in the Moist Tropics: Bragança Coastal Plain Case Study. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10. **Anais...** Foz do Iguacu, 2001, INPE, Sessão Técnica Oral - Workshop: 339-347.

STERNBERG, R.W.; CACCHIONE, D.A.; PAULSON, B., G.C.; DRAKE, D.E. Observations of sediment transport on the Amazon subaqueous delta. **Continental Shelf Research**, v.16, n.5/6, p.697-715. 1996.

TORRES, A.M. **Sedimentology of the Amazon Mouth: North and South Channels, Brazil.** 1997. 145f. Tese (Doutorado) - Universidade Christian-Albrechts, Kiel, Alemanha, 1997.

TORRES, A.M.; EL-ROBRINI, M. Amapá, In: MUEHE, D. (Org.) **Erosão e progradação do litoral brasileiro.** Brasília, DF: MMA, 2006. 11-40.

VINZON, B.S., VILELA, C.P.X., PEREIRA, L.C.C. **Processos físicos na Plataforma Continental Amazônica.** Rio de Janeiro. Petrobras, Brasil, 2008. 31 p. (Relatório-Técnico, Potenciais Impactos Ambientais do Transporte de Petróleo e Derivados na Zona Costeira Amazônica).

VITAL, H; STATTEGGER, K; GARBE-SCHONBERG. C. Composition and trace-element geochemistry of detrital clay and heavy-mineral suites of the lowermost Amazon River: a provenance study. **Jour of sedimentary Research.** v.69, n.3, p.563-575. 1999.

WRIGHT, L.D.; SHORT, A.D. **Morphodynamics of beach and surf zone in Australia.** In: **C.R.C. Handbook of coastal processes and erosion.** P.D. Komar (ed.), C.R.C. Press., London, p.35-64. 1983.

ZEE/AP. **Zoneamento ecológico econômico da área Sul do Estado do Amapá – Atlas.** Macapá: IEPA/GEA/AP, 2000.