



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA  
ÁREA DE GEOLOGIA MARINHA, COSTEIRA E SEDIMENTAR**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**ANÁLISE DAS MUDANÇAS DA LINHA DE COSTA DAS PRINCIPAIS  
DESEMBOCADURAS DO ESTADO DE SERGIPE, COM ÊNFASE NO RIO  
SERGIPE**

**TAIS KALIL RODRIGUES**

**SETEMBRO – 2008  
SALVADOR - BA**

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

**ANÁLISE DAS MUDANÇAS DA LINHA DE COSTA DAS PRINCIPAIS  
DESEMBOCADURAS DO ESTADO DE SERGIPE, COM ÊNFASE NO RIO  
SERGIPE**

Por

**TAIS KALIL RODRIGUES**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Submetida em satisfação parcial dos requisitos ao grau de

**MESTRE EM CIÊNCIAS  
GEOLOGIA**

à

Câmara de Ensino de Pós-Graduação e Pesquisa  
da  
Universidade Federal da Bahia

Aprovado:

.....  
.....  
.....  
.....

Comissão Examinadora:

Dr. José Maria Landim Dminguez (orientador)

Dra. Ana Claudia da Silva Andrade (co-orientadora)

Msc. Abílio Carlos da Silva Bittencourt - UFBA

Dra. Tereza Cristina Medeiros de Araújo - UFPE

Data da Aprovação: ...../...../.....

Grau conferido em: ..../...../.....

## RESUMO

O objetivo deste trabalho consistiu em identificar e analisar mudanças de médio prazo e de longo prazo na linha de costa nas desembocaduras dos rios Sergipe, Vaza Barris e Piauí/Real, localizadas entre as coordenadas geográficas 11°25' e 10°30'S e 37°20' e 36°25'W. As principais técnicas usadas envolveram o mapeamento da linha de costa, talvegue dos rios, cordões litorâneos e truncamento destes, com base em imagens fotográficas (1955-2003), sensoriamento remoto e Sistema de Informações Geográficas (SIG). Os achados deste estudo evidenciam que nos últimos 50 anos o litoral sergipano apresentou um intenso processo de urbanização. As regiões adjacentes às desembocaduras fluviais, caracterizadas por manguezais e dunas nas décadas de 1950/60, foram ocupadas sem considerar a dinâmica costeira. No caso do rio Sergipe, o canal aproximou-se muito da sua margem direita, causando forte erosão das praias adjacentes, com recuo de até 503 m. Nas vizinhanças do rio Vaza Barris ocorreu progradação na margem esquerda, seguida de erosão. Entre 1965 e 1985 o pontal arenoso progradou cerca de 1,7 Km para SW. De 1985 a 2003 ocorreu um recuo erosivo da linha de costa, com o pontal migrando no sentido do interior do estuário. A desembocadura do rio Vaza Barris migrou para SW ao longo do período de estudo, com conseqüente recuo constante de sua margem interna. Comparações da linha de costa nas adjacências dos rios Piauí/Real no período de 1965-2003 evidenciam destruição total do pontal arenoso previamente existente na margem esquerda, devido à migração do talvegue fluvial para NE. A integração dos resultados no SIG possibilitou correlacionar os processos de mudanças morfológicas da linha de costa nas áreas estudadas com os modelos esquemáticos de “bypass” (passagem) de sedimentos, a partir da migração de bancos arenosos descritos na literatura. Foram identificadas áreas de risco devido à ocupação antrópica e áreas vulneráveis ainda não ocupadas, mas sujeitas à erosão costeira. As áreas de risco incluem trechos adjacentes à desembocadura do rio Sergipe e às margens do lado esquerdo do rio Vaza Barris e Piauí/Real. A linha de costa nas vizinhanças da margem direita da desembocadura do rio Vaza Barris foi classificada como vulnerável. Propõe-se uma faixa de recuo mínima de 300 m nos trechos mais críticos e remoção de construções existentes, a exemplo da praia da Orlinha da Coroa do Meio e da Praça de Eventos, na Praia de Atalaia. Para trechos não urbanizados ou com intervenção antrópica incipiente, propõe-se uma faixa de segurança mínima de 500 m.

**Palavras-chave:** erosão costeira, Rio Sergipe, Rio Vaza Barris, Rio Piauí/Real, SIG, desembocaduras, migração do canal, faixas de recuo.

## ABSTRACT

The objective of this study consisted in identify and analyze medium-term and long-term modifications of coastline at the mouths of rivers Sergipe, Vaza Barris and Piauí/Real, located between the geographical coordinates 11°25' and 10°30'S and 37°20' e 36°25'W. The main techniques applied included mapping of coastline, fluvial thalwegs, beach ridges and their truncation, based on photographs (1955-2003), remote sensing and Geographical Information System (GIS). The findings of this study indicate that along the last 50 years the coastline of the Sergipe state was submitted to intensive urbanization process. Regions surrounding the fluvial mouths, characterized by mangrove and dunes areas in 1950/60, have been occupied without taking into consideration the coastal dynamics. In regards to the Sergipe river the canal became excessively close to its right margin, causing important erosion in the adjacent beaches, retreating up to 503 m. In the surroundings of the Vaza Barris river an important progradation took place on its left margin, followed by erosion. Between 1965 and 1985 the spit prograded approximately 1,7 Km towards SW. From 1985 through 2003 an erosive retreat was recorded on the coastline and the spit migrated toward the inner area of the estuary. The Vaza Barris migrated towards SW along the timeframe studied, with subsequent constant retreat of its internal margin. Coastline comparisons for the surroundings of the rivers Piauí/Real along 1965-2003 evidenced total destruction of the spit previously existing in the left margin, due to migration of the fluvial thalweg towards NE. Results achieved were integrated using GIS, thus allowing the correlation of morphological modifications along the coastline of the study area with schematic models of sediment bypass due to migration of sand banks described on the literature. Areas under risk due to anthropic occupation were identified, as well as vulnerable areas not currently occupied, however subject to coastal erosion. The risk areas include segments of coast adjacent to the mouth of the Sergipe river and the left margin of the Vaza Barris and Piauí/Rio Real rivers. The coastline surrounding the right margin of the mouth of the Vaza Barris river was classified as vulnerable. The author proposes a 300-meter minimum set-back along the most critical segments and removal of the existing constructions, as for instance at the beaches Orlinha of Coroa do Meio and Praça de Eventos at the Atalaia beach. A 500-m minimal set-back is proposed for those areas not urbanized or with incipient anthropic intervention.

**Keywords:** coastal erosion, Sergipe river, Vaza Barris river, Piauí/Real rivers, GIS, fluvial mouths, migration of channel, set back.

Vivi e ainda vivo!  
Não passo pela vida....  
E você também não deveria passar!  
Viva!  
Bom mesmo é ir a luta com determinação,  
abraçar a vida com paixão,  
perder com classe  
e vencer com ousadia,  
porque o mundo pertence a quem se atreve  
e a vida é “muito” para ser insignificante.  
(Charles Chaplin)

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser o início de tudo, por dar-me força nesta caminhada para que concluísse mais esta fase de minha vida.

A o professor José Maria Landim Dominguez, por dispor do seu tempo com dedicação e paciência, bem como pelos “puxões de orelha”, quando necessário, o que contribuíram para o meu crescimento pessoal e amadurecimento científico.

À minha co-orientadora e “mãe” Dra. Ana Cláudia da Silva Andrade, pela sua amizade e pelas dicas dadas que foram de grande valia para este trabalho.

Aos meus pais Marinaldo Gomes Rodrigues e Marta de Brito Kalil, e ao meu irmão Tarciso, por acreditarem em meus ideais e pelo apoio constante, apesar da distancia física.

À Soraia Conceição Bispo pela nossa amizade que foi crescendo aos poucos, pelos tantos momentos de estresse, pressão, paciência, entusiasmo, risadas e muitos “micos”. Pelas muitas horas de sol, trabalho e descontração nas saídas de campo.

À Junia, pela amizade e pelas sugestões.

A todos os colegas do Laboratório de Estudos Costeiros II e III, pela colaboração, amizade e paciência.

A todos os professores do curso que tiveram direta ou indiretamente contribuição na realização deste trabalho.

Aos funcionários da secretaria de pós-graduação Nilton e Gil, pela paciência e atenção.

Ao professor Pacheco da Universidade Federal de Sergipe, pelo fornecimento de algumas fotografias aéreas.

Aos funcionários do INPH, pela atenção e disponibilização dos mapas históricos.

A FAPESB, pela concessão de bolsa de mestrado.

## SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

AGRADECIMENTOS

SUMÁRIO.....vii

ÍNDICE DE FIGURAS .....ix

ÍNDICE DE TABELAS .....xii

1. INTRODUÇÃO ..... 1

1.2 Justificativa .....3

2. OBJETIVOS.....4

2.1 Objetivo Geral .....4

2.2 Objetivos Específicos.....4

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS .....5

3.1 Localização .....5

3.2. Evolução Histórica da Urbanização no Litoral Sergipano .....7

3.3. Características climáticas .....8

3.4.Características oceanográficas .....9

3.4.1. Ondas e deriva litorânea .....9

3.4.2. Marés ..... 10

3.5. Hidrografia .....12

3.5.1 Rio Sergipe..... 13

3.5.2 Rio Vaza Barris ..... 14

3.5.3 Rio Piauí..... 14

3.5.2 Rio Real..... 15

3.6. Geologia e Geomorfologia ..... 16

3.6.1. Depósitos sedimentares do Pleistoceno ..... 16

3.6.2. Depósitos sedimentares do Holoceno ..... 17

3.7. Erosão costeira na área de estudo: trabalhos anteriores ..... 19

4. MÉTODOS DE TRABALHO .....21

4.1. Levantamento Bibliográfica.....21

4.2. Trabalhos de Campo.....21

4.3. Mapeamento da Linha de Costa.....22

4.3.1 Mapeamento da posição da linha de costa em Documentos Cartográficos .....22

4.3.2. Mapeamento da posição da linha de costa em Imagens e Fotografias aéreas....	22
4.3.3 Mapeamento dos truncamentos dos Cordões Litorâneos.....	23
4.4. Integração dos Dados .....	24
5. VARIAÇÕES MORFOLÓGICAS EM ÁREAS ADJACENTES A DESEMBOCADURAS DOMINADAS POR ONDAS E CANAIS DE MARÉ.....	27
5.1. Desenvolvimento de Bancos Arenosos .....	29
5.2. Interferências Antrópicas .....	32
6. INTERVENÇÕES ANTRÓPICAS ATUANTES NA ÁREA DE ESTUDO.....	34
7. EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA NAS REGIÕES ADJACENTES AS DESEMBOCADURAS DOS RIOS: SERGIPE, VAZA BARRIS E PIAUÍ/REAL.....	36
7.1. Evolução da linha de costa a médio prazo das regiões adjacentes as desembocaduras dos rios Sergipe, Vaza Barris e Piauí/Real .....	37
7.1.1. Desembocadura do rio Sergipe .....	37
7.1.2. Desembocadura do rio Vaza Barris .....	44
7.1.3. Desembocadura dos rios Piauí/Real.....	48
7.2. Evolução da Linha de Costa em Tempos Históricos nas Regiões Adjacentes a Desembocaduras do Rio Sergipe .....	52
7.3 Evolução da linha de costa a longo prazo das regiões adjacentes as desembocaduras dos rios Sergipe, Vaza Barris e Piauí/Real .....	55
7.4. Aplicações dos Modelos Propostos por Fitzgerald <i>et al</i> (1978) para as Desembocaduras Estudadas .....	60
8. ÁREAS DE VULNERABILIDADE E/OU RISCO POTENCIAL NAS DESEMBOCADURAS DOS RIOS SERGIPE, VAZA BARRIS E PIAUÍ/REAL .....	65
9. DISCIPLINAMENTO PARA USO DO SOLO NAS ADJACÊNCIAS DAS DESEMBOCADURAS INVESTIGADAS .....	68
10. CONCLUSÕES.....	71
11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	73



## LISTA DE FIGURAS

**Figura 01** – Localização da Área de Estudo (modificado do Atlas de Sergipe, SEPLANTEC, 1979).

**Figura 02** – Divisão climática e Precipitação anual em mm para o Estado de Sergipe (Fonte: Atlas de Sergipe, SEPLANTEC, 1979).

**Figura 03** – Deriva efetiva potencial para o Estado de Sergipe, calculada por Oliveira (2003).

**Figura 04** – Localização das bacias hidrográficas dos principais rios da área de estudo no Estado de Sergipe (modificado do Atlas de Sergipe, 1979).

**Figura 05** – Mapa Geológico-Geomorfológico Simplificado da área estudada (modificado de Bittencourt *et al* 1983).

**Figura 06** – Mapa Histórico da desembocadura do Rio Sergipe de 1823 (modificado do mapa da Capitania dos Portos de Sergipe). Fonte: Cunha (1980).

**Figura 07** – Fotografia aérea de 1971 mostrando os cordões litorâneos e linhas de truncamentos registrados na superfície do Terraço Marinho Holocênico.

**Figura 08**- Modelo esquemático de canais de maré e desenvolvimento de deltas de vazante e de enchente. (fonte: Boothroyd, 1980).

**Figura 09**- Modelo do comportamento do canal e o transporte de sedimentos: (a) migração de canal; (b) ruptura do delta de maré vazante e (c) canal estável (fonte: FitzGerald 1988)

**Figura 10** – Limites da faixa de proteção estabelecidos pelo Projeto Orla, proposto por Muehe. (Fonte: Projeto Orla, 2002).

**Figura 11** – Ilustração de atuações antrópicas, presente ao longo da área de estudo: (A e B) molhe construído na margem esquerda do rio Sergipe; (C) linha de costa totalmente revestida com obras de contenção (espigões), na margem direita do rio Sergipe; (D) muro de contenção, destruído, na margem esquerda do rio Vaza Barris; (E) rodovia José Sarney parcialmente destruída na margem esquerda do Vaza Barris, a qual encontrava-se na retaguarda do muro de contenção; e (F) linha de costa com obras de contenção na margem esquerda da desembocadura dos rios Piauí/Real.

**Figura 12** - Escala espaço-temporal envolvidas no estudo de praias e processos relativos à dinâmica costeira. (Fonte: Short, 2000).

**Figura 13** – Variação na posição da linha de costa entre 1955 e 2003 na desembocadura do rio Sergipe.

**Figura 14** – Áreas consumidas pela erosão de 1955 a 2003 na margem direita do rio Sergipe e vizinhanças; (A) espigões construídos no bairro da Coroa do Meio; (B) molhe construído na Barra dos Coqueiros; (C e D) trecho progradado no período de 1955 a 2003; (E e F) evidências de erosão no trecho entre a Coroa do Meio e a Atalaia.

**Figura 15** – Comparação da posição da linha de costa do trecho a SW da margem direita do rio Sergipe no período de 1975 a 2008: (a) ponto de referencia e (b) posição da linha de costa. (Foto de 2008: Fabio Martins)

**Figura 16** – Área associada ao deslocamento para SW da foz rio Sergipe; fotos (A,B,C,D,E e F) erosão ocorrida em 2007 no trecho entre as praias da Coroa do Meio e a Atalaia, sob atuação de eventos de médio prazo (Fotos: Fabio Martins 2007).

**Figura 17** - Posição do talvegue do canal do rio Sergipe nos anos de 1955, 1965, 1971 e 2003.

**Figura 18** – Variação na posição da linha de costa entre 1965 e 2003 para a desembocadura do Vaza-Barris

**Figura 19** – Áreas afetadas pela Erosão entre 1965 e 2003; As fotos tiradas em dezembro de 2005 (A,B,C,D,E e F) ilustram a ocorrência de erosão severa erosão na margem esquerda da desembocadura do rio Vaza-Barris.

**Figura 20**- Posição do talvegue do canal do rio Vaza Barris nos anos de 1965, 1971, 1984 e 2003.

**Figura 21** – Variação na posição da linha de costa entre 1965 e 2003 para as desembocaduras dos rios Piauí/Real

**Figura 22** – Áreas erodidas no período 1965 - 2003; fotos (A e B) erosão na região a NE da desembocadura ; e (C) erosão na margem esquerda da desembocadura dos rios Piauí/Real.

**Figura 23** - Posição do talvegue do canal dos rios Piauí/Real nos anos de 1965, 1971, 1984 e 2003.

**Figura 24** – Evolução esquemática da linha de costa na desembocadura do rio Sergipe no período de 1894 a 1946 (Modificado dos mapas históricos do INPH).

**Figura 25** – Orientação dos cordões litorâneos e linhas de truncamentos, na desembocadura do rio Sergipe (fotografia aérea de 1971).

**Figura 26** – Orientação dos cordões litorâneos e linhas de truncamentos, na desembocadura do rio Vaza-Barris (fotografia aérea de 1971).

**Figura 27** – Orientação dos cordões litorâneos e linhas de truncamentos, na margem esquerda da desembocadura dos rios Piauí/Real (fotografia aérea de 1971).

**Figura 28** – Modelo esquemático explicativo das mudanças morfológicas na desembocadura do rio Sergipe, adaptado do modelo de FitzGerald et al (1978).

**Figura 29**- (A) fotografia aérea de 1984 : erosão a barlamar e progradação a sotamar e (B) “bypass” dos bancos arenosos defletindo o canal para SW e ocasionando erosão na margem direita interna do rio Sergipe(Foto: Oliveira 2003).

**Figura 30** – (A) “bypass” dos bancos arenosos para sotamar e desvio do canal principal (modificado do Google Earth, 2008); e (B e C) erosão a barlamar da desembocadura do rio Vaza Barris (Foto B: Edvaldo Oliveira;e foto C: Fabio Martins).

**Figura 31** – (A) crescimento do pontal arenoso para NE, ocasionando a migração do canal principal e erosão a sotamar (modificado do Google Earth, 2008); e (B) muro de proteção para conter a erosão na margem esquerda da desembocadura dos rios Piauí/ Real (Foto: Fabio Martins 2007).

**Figura 32** – Mapa dos trechos da linha de costa nas adjacências das desembocaduras dos rios Sergipe, Vaza Barris e Piauí/Real em Vulnerabilidade e/ou Risco potencial.

**Figura 33** - Erosão da Orla da Coroa do Meio: (A) posição da linha de costa em 2005 (Foto: Edvaldo Oliveira) e (B e C) atual posição da linha de costa (destruição de barracas de praia, quiosques e de parte da praça de eventos) (Fotos: Fabio Martins 2008).

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 01** – Áreas de abrangência e vazão média das desembocaduras estudadas (Modificado de [www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br)).

**Tabela 02** – Fotografias aéreas utilizadas para análise histórica da área em estudo.

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Colocação do problema

A linha de costa associada a desembocaduras fluviais dominadas por ondas é extremamente instável, apresentando grande variabilidade. São ambientes altamente susceptíveis a mudanças uma vez que variações na descarga fluvial (sólida e líquida) e na energia de ondas e marés resultam em variações na posição da linha de costa.

A dinâmica costeira é a principal responsável pelos processos de erosão e/ou deposição em áreas litorâneas. Os ventos, as ondas e as correntes atuam ininterruptamente sobre os materiais inconsolidados, erodindo-os, transportando-os e depositando-os (Villwock *et al.*, 2005).

A erosão da linha de costa pode ser um processo natural ou induzido pelo homem, que resulta na remoção do material sedimentar das praias ou de qualquer outro tipo de material exposto em falésias. Normalmente o processo é resultado da ação física dos agentes que atuam sobre a linha de costa, mas fenômenos como a dissolução associada ao intemperismo químico, podem auxiliar neste recuo. O processo oposto, o avanço da linha de costa é chamado de progradação (Krueger *et al.* 1999, p.61).

Tentando explicar o processo de erosão costeira ao longo de praias arenosas, Pitombeiras (1996) considera como principais fatores: (i) variação do nível do mar, da energia das ondas, das marés e das correntes, (ii) diminuição do suprimento de sedimentos e (iii) alteração na efetividade do efeito de molhe hidráulico de desembocaduras fluviais em função da ação antrópica nas bacias hidrográficas.

Nas desembocaduras fluviais a descarga sólida e líquida dá origem a um efeito de molhe hidráulico, retendo à barlamar os sedimentos transportados pela deriva litorânea, produzida pela aproximação oblíqua das frentes de ondas e provocando, deste modo a progradação da linha de costa (Dominguez *et al.*, 1983).

Diversos estudos voltados para os processos e dinâmica costeira demonstram que o problema de

erosão vem sendo observado em diferentes costas do mundo, sendo considerado atualmente um fenômeno global. Segundo Bird (1993) ocorre erosão em 70% das costas sedimentares do mundo. Menos de 10% estão em progradação, enquanto 20-30% encontram-se estáveis.

Ao longo do extenso litoral brasileiro, os estudos recentes voltados para este tema também têm mostrado em diversos estados uma tendência à erosão costeira, como Esteves *et al.* (2003) para o litoral do Rio Grande do Sul; Souza e Suguio (2003) para o litoral de São Paulo; Diniz (2002) para o litoral do Rio Grande do Norte; Bittencourt *et al.* (2001), e Andrade (1994) para o Estado da Bahia; Bittencourt *et al.* (2007), Cunha (1980), e Oliveira (2003) para o Estado de Sergipe; Muehe *et al.* (2001) para o litoral do Rio de Janeiro.

Muehe (2004) apresenta uma revisão dos estudos sobre a erosão costeira no litoral de todo o Brasil afirmando que, do total dos 75% de ocorrências relatadas, 40% se referem à erosão de praias arenosas, 20% dizem respeito à erosão de escarpas sedimentares e 15% estão relacionadas à erosão em desembocaduras de rios e estuários.

Este fenômeno de erosão costeira é freqüentemente associado à subida do nível do mar, o que poderia estar relacionado a uma nova oscilação deste no período Quaternário por efeito de mudanças climáticas provocadas pelas emissões de dióxido de carbono derivados da queima de combustíveis fósseis. As mudanças climáticas podem implicar ainda em uma mudança no regime de tempestades, aumentando a freqüência das ondas de maior energia o que, por sua vez, pode resultar em uma mudança significativa no aporte e transporte de sedimentos (Lins de Barros, 2005).

As zonas costeiras concentram 60% da população mundial que a utiliza para diversos fins (habitação, alimentação, economia e lazer). Com o crescimento da urbanização da orla marítima e à partir de meados do século XX, geralmente de forma desordenada, a preocupação com a erosão costeira tornou-se cada vez maior, uma vez que este fenômeno pode resultar em prejuízos econômicos e danos em construções situadas no espaço dinâmico da praia.

No litoral Sergipano trabalhos realizados por Monteiro (1963), Cunha (1980), Fontes (2003), Oliveira (2003) e Bittencourt, *et al.* (2003) mostram que, as áreas adjacentes às desembocaduras dos

rios Sergipe, Vaza Barris e Piauí/Real apresentam registros de erosão. Entretanto, apenas para a região do rio Sergipe existem séries históricas de documentos cartográficos que permitem que a posição da linha de costa seja reconstruída em longo prazo.

Oliveira *et al.* (2006) no Atlas de Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro, produzido pelo Ministério do Meio Ambiente, mostram que 57% da costa Sergipana encontra-se em equilíbrio, 21% em processo de erosão, 20% exibem elevada variabilidade e 2% em progradação. A categoria de “elevada variabilidade” está associada às desembocaduras fluviais, com fases alternadas de progradação e erosão de linha de costa.

## **1.2 JUSTIFICATIVA**

Tendo em vista que os processos de erosão continuam ocorrendo nas desembocaduras dos rios Sergipe, Vaza Barris e Piauí/Real, reveste-se de suma importância a realização de um trabalho que documente estas mudanças e compreenda seus fatores controladores.

Na presente proposta de trabalho, a análise da variação da posição da linha de costa foi realizada em escalas temporais que se estendem de décadas a séculos e milênios, de modo a permitir um melhor entendimento da dinâmica da linha de costa nas vizinhanças das desembocaduras, o que constitui um aspecto importante para a tomada de decisões, no que diz respeito à implementação de projetos de expansão urbana e obras costeiras. Ao identificar as áreas de risco geológico e caracterizar o comportamento da linha de costa, este trabalho servirá como auxílio para o planejamento da ocupação mais racional da zona costeira.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

O objetivo desta pesquisa é estudar o fenômeno de erosão da linha de costa associada às desembocaduras fluviais dos rios Sergipe, Vaza Barris e Piauí/Real, com ênfase no rio Sergipe (SE), através da análise multitemporal de documentos cartográficos, imagens de satélite e fotografias aéreas de diferentes períodos.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Comparar a posição da linha de costa nas vizinhanças da desembocadura do rio Sergipe, através de mapas históricos de diferentes datas (1894, 1914, 1927, e 1946);
- Comparar a posição da linha de costa nas vizinhanças das desembocaduras dos rios Sergipe, Vaza Barris e Piauí/Real em diferentes datas (1955, 1965, 1971, 1984 e 2003);
- Avaliar os principais mecanismos responsáveis pelas alterações na configuração da linha de costa nas vizinhanças da desembocadura dos rios Sergipe, Vaza Barris e Piauí/ Real.
- Analisar a tendência à erosão e à progradação da linha de costa nas últimas décadas;
- Indicar os trechos da Linha de Costa em Risco e/ ou Vulnerabilidade Potencial;
- Propor orientação para disciplinamento do uso do solo nas vizinhanças das desembocaduras investigadas.



### **3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

#### **3.1. Localização da área de Estudo**

O litoral Sergipano localizado entre as coordenadas geográficas 11°25' e 10°30'S e 37°20' e 36°25'W, apresenta uma linha de costa de cerca de 168 km de extensão entre os rios São Francisco, ao norte e o Piauí/Real, ao sul. A linha de costa é caracterizada pela presença de extensos arcos praias separados por amplos estuários, na qual estão inseridas as desembocaduras dos rios Sergipe, Vaza Barris e Piauí/Real, objeto deste estudo (Figura 01).

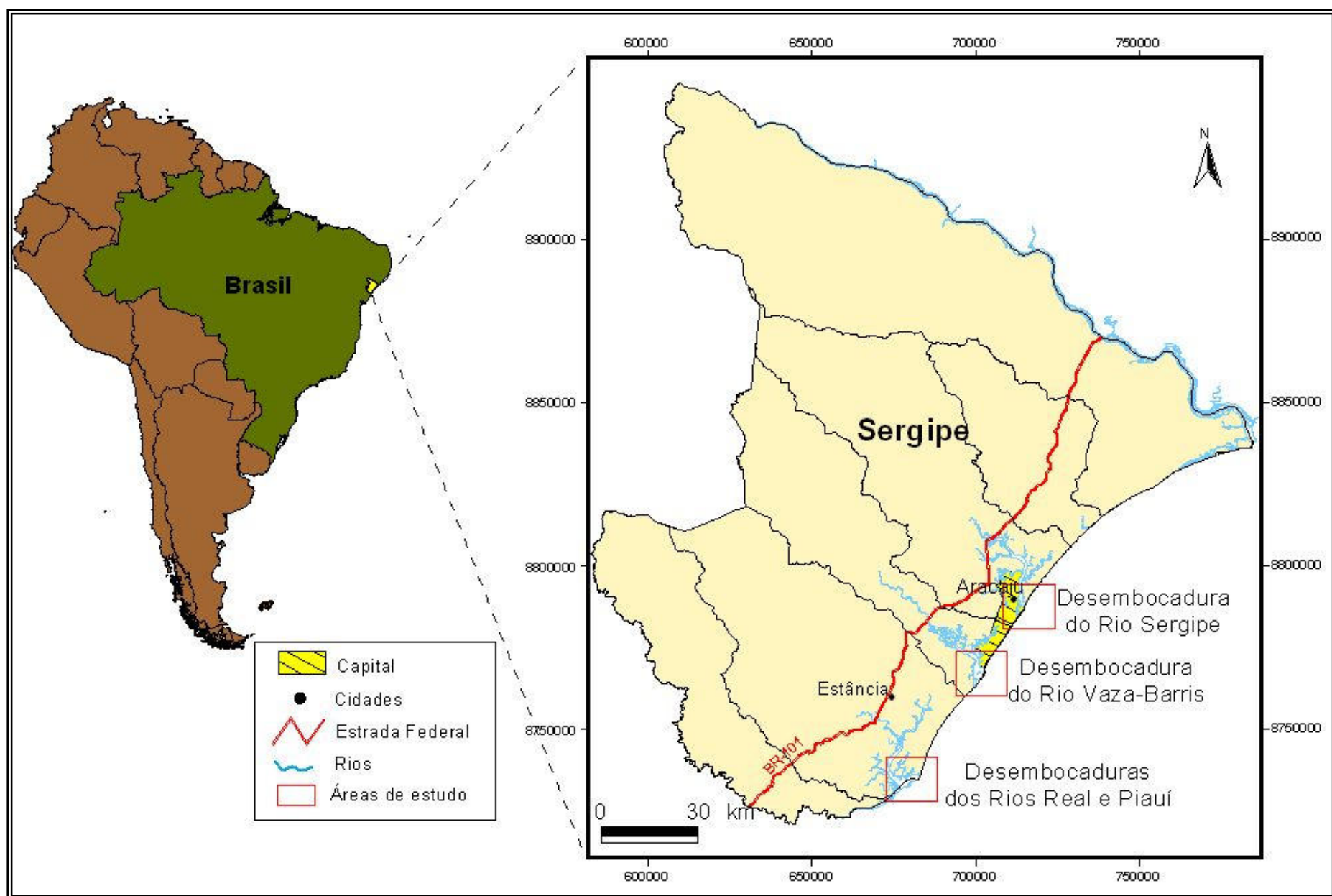


Figura 01 – Localização da Área de Estudo (modificado do Atlas de Sergipe, SEPLANTEC, 1979)

### **3.2 Evolução Histórica da Urbanização no Litoral de Sergipe**

A palavra “Aracaju” deriva da expressão indígena “ará acaju”, que em Tupi- Guarani significa “cajueiro dos papagaios”.

Os municípios do Estado de Sergipe originaram-se da subdivisão do território sob a jurisdição da cidade de São Cristovão de Sergipe del Rey ou Nossa Senhora de São Cristovão, fundada em 1590, constituindo-se no início da colonização brasileira, numa das 5 cidades mais importantes do Brasil colonial (Mott, 1986).

Como ocorreu nos demais estados nordestinos, o litoral de Sergipe também foi freqüentado por corsários franceses interessados no escambo de pau-brasil com os índios. A madeira foi o principal produto econômico da região até o início do século XVII. Entre o final do século XVI e as primeiras décadas do século XVII, a atuação dos missionários e de algumas expedições militares afastou os franceses e venceu a resistência indígena. Os primeiros povoados, como o arraial de São Cristóvão, e engenhos de açúcar surgiram nesse momento (Mott, 1986).

Em 1823, depois da independência, Sergipe recuperou sua autonomia. O progresso da província foi pequeno, no entanto, durante o Império, com exceção de um breve surto algodoeiro na segunda metade do século XIX.

A história da cidade de Aracaju está fortemente relacionada à cidade de São Cristovão, pois era esta a antiga capital da capitania de Sergipe. São Cristovão estava tendo dificuldades com relação aos portos. Como a capital ficava no interior do Estado, a navegação até os portos era somente fluvial, o que era um inconveniente, uma vez que os navios maiores não tinham passagem por conta do tamanho, fazendo os portos sergipanos servirem apenas para pequenas embarcações (Freire, 1977).

A província necessitava de um porto de um porte maior para seu progresso. No dia 2 de março de 1855 foi decidido, em sessão na Assembléia Legislativa situada na Praia de Atalaia, que a capital de Sergipe situada em São Cristovão seria transferida para a cidade portuária que seria erguida ali (Wanderley, 2006).

A partir de 1855, a região que hoje é território do município de Aracaju, perto da foz do rio Sergipe, despertou grande interesse do governo da Província de Sergipe, que transferiu a alfândega para aquele local. O porto então foi construído na margem direita do rio, na porção mais interna do estuário.

Como Aracaju surgiu com o objetivo de sediar a Província de Sergipe del Rey, que até este momento se localizava na cidade de São Cristovão, a mesma foi idealizada com “planejamento urbano”, pois as primeiras ruas estão organizadas de forma a lembrar um tabuleiro de xadrez.

No final do século XX a valorização das zonas costeiras para o turismo e lazer, levou a um processo rápido e intenso de ocupação do litoral sergipano, que até então era predominantemente urbano e agrícola. A ocupação desordenada e a utilização dos recursos costeiros tem sido os responsáveis pela degradação ambiental.

### **3.3 Características climáticas**

O clima da região é quente e úmido, caracterizado como Af (superúmido) segundo a classificação de Köpper de 1936 e denominado de Litoral úmido pela SEPLANTEC (1979). A média das temperaturas máximas é superior a 26° C e a média das temperaturas mínimas é de 23° C. Os meses mais quentes ocorrem de fevereiro a março e os meses com temperaturas mais amenas ocorrem de julho a agosto. A precipitação total varia de 1.500 a 1.800 mm durante o ano (Figura 02).

Dominam nesta região os ventos provenientes do quadrante leste (NE, E, SE). Os ventos de SE são coincidentes com o período chuvoso, enquanto que os ventos de NE e E com o período seco (Barbosa & Dominguez, 2004).

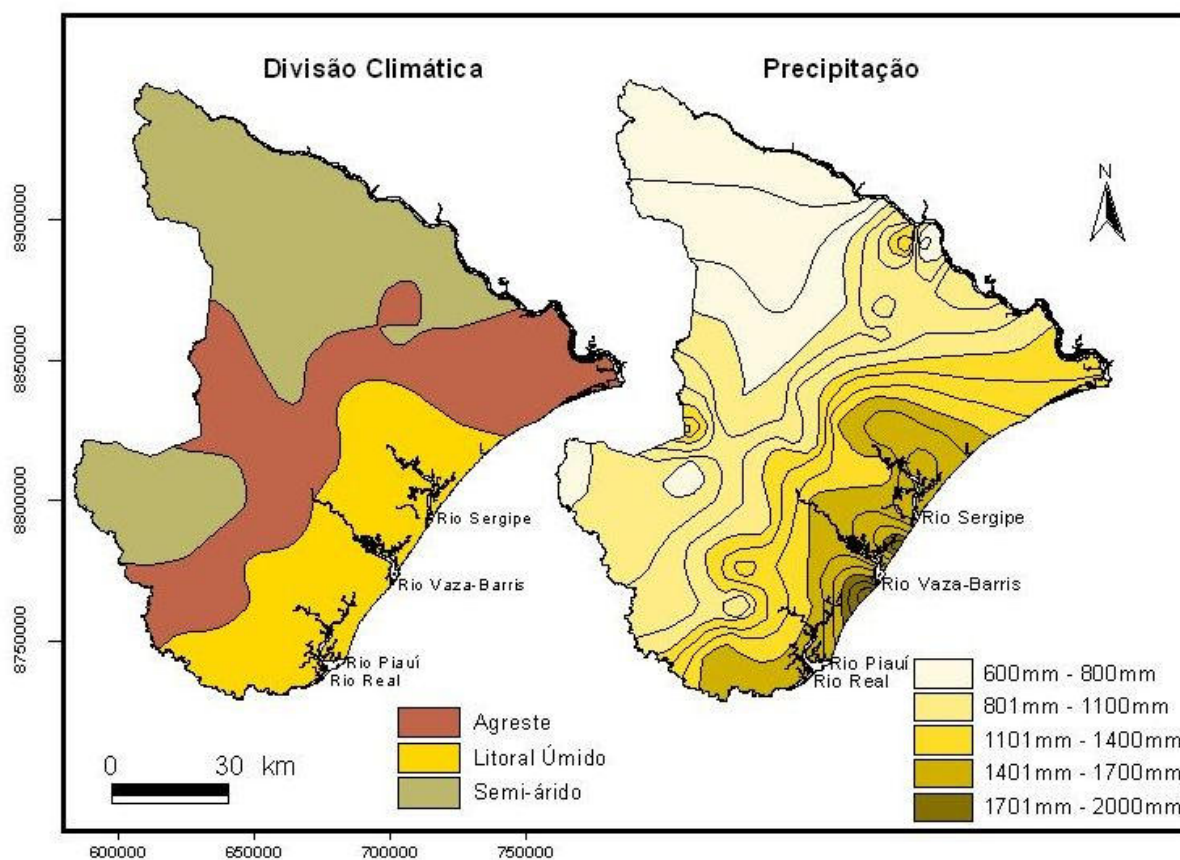


Figura 02 – Divisão climática e Precipitação anual em mm para o Estado de Sergipe (Fonte: Atlas de Sergipe, SEPLANTEC, 1979)

### 3.4 Características oceanográficas locais

#### 3.4.1 Ondas e deriva litorânea

Os processos morfodinâmicos que atuam na linha de costa representados por ações naturais físicas são basicamente gerados pela ação das ondas, correntes costeiras e marés, que exercem influência na modelagem costeira. Nesta pesquisa utilizou-se a análise de Oliveira (2003) referente aos dados de ondas e de deriva litorânea.

De acordo com os dados apresentados por Oliveira (2003), na região costeira do Estado de Sergipe as ondas têm a direção dominante de E (leste), seguidas pelas direções de SE (sudeste) e NE

(nordeste). Predominam ondas com altura variando de 0,5m a 1,4m. As ocorrências de ondas com mais de 2m são provenientes de ondas do quadrante sudeste.

Tendo a linha de costa sergipana orientação de NE/SW e a direção predominante das ondas incidirem sendo de E, o transporte litorâneo efetivo dominante de sedimentos obtido por Oliveira (2003) através da modelagem da deriva litorânea foi de NE para SW (Figura 03).

Segundo trabalhos realizados por Viana (1972), o transporte de sedimentos litorâneos ao longo da costa sergipana é de  $790.000\text{m}^3/\text{ano}$ , com cerca de  $658.000\text{m}^3/\text{ano}$  no sentido NE/SW e  $132.000\text{m}^3/\text{ano}$  no sentido inverso, medida para linha de costa defronte a cidade de Aracaju.

#### 3.4.2 Marés

As marés do litoral de Sergipe são do tipo mesomarés, com alturas entre 2 e 4m, e características semidiurnas, amplitude de 2m, com dois picos de marés altas e baixas (DHN, 2001). Segundo Fontes (2003) as cotas verticais das marés têm influência sobre o transporte frontal dos sedimentos litorâneos, uma vez que a posição da zona de arrebenção varia conforme o nível instantâneo.

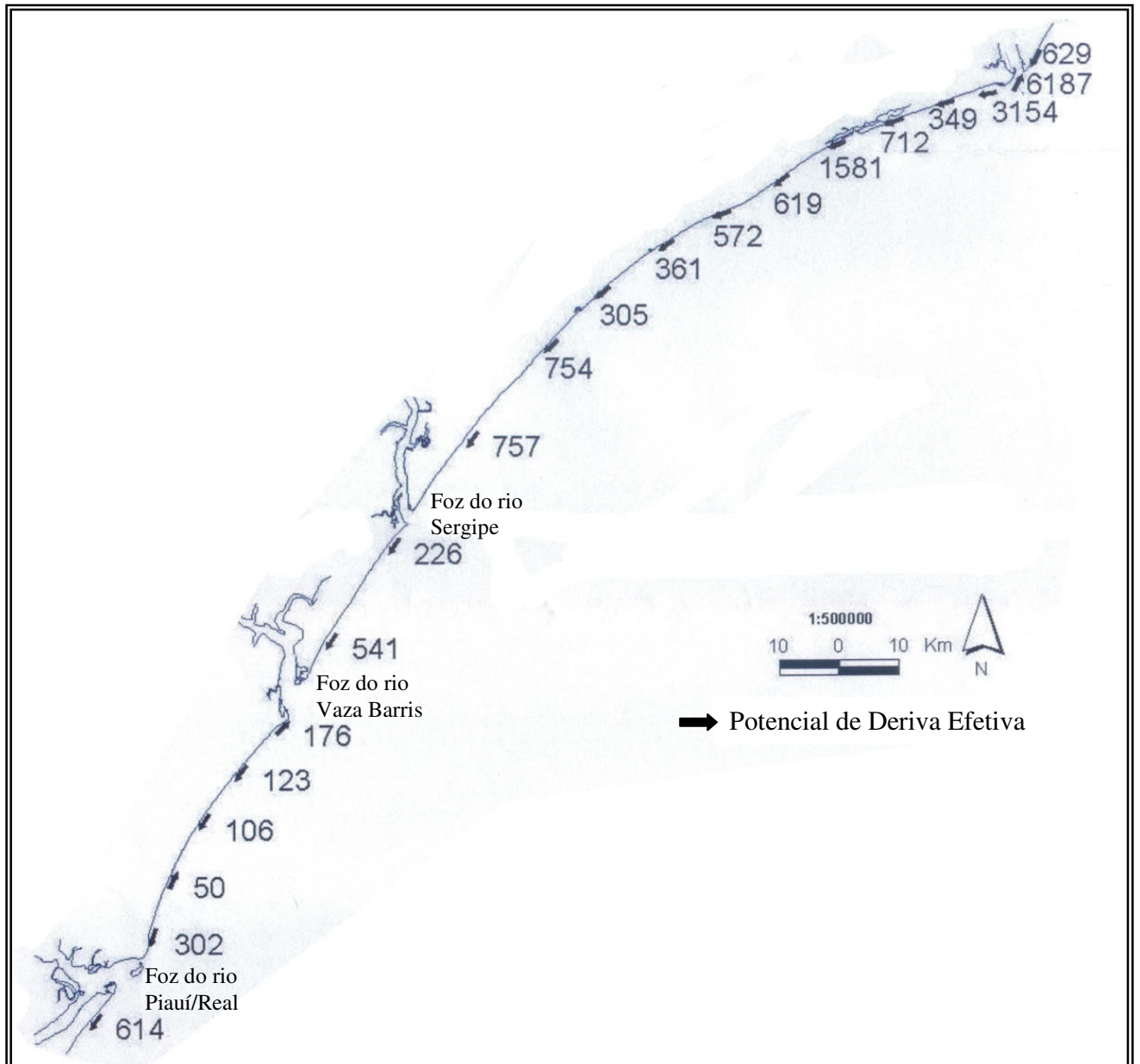


Figura 03- Ilustração da deriva efetiva potencial para o Estado de Sergipe calculada por Oliveira,2003 (Fonte: Oliveira, 2003).

### 3.5 Hidrografia

No Estado de Sergipe existem 06 (seis) Bacias Hidrográficas, que são as bacias do rio São Francisco, Japaratuba, Sergipe, Vaza Barris, Piauí e Real. Neste trabalho serão abordadas somente quatro destas bacias (Figura 04): do rio Sergipe, Vaza Barris, Piauí e Real.

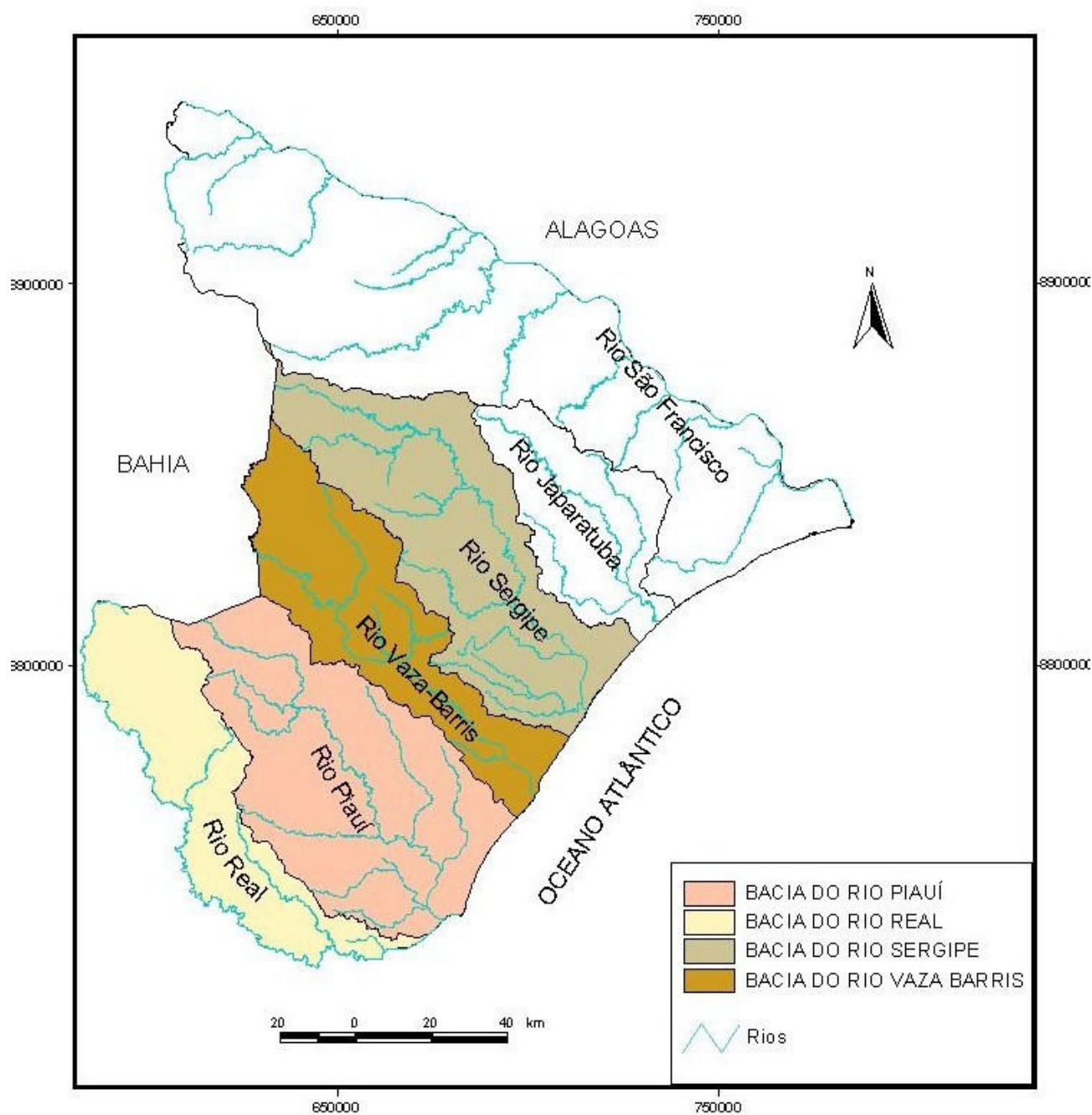


Figura 04 – Localização das bacias hidrográficas dos principais rios da área de estudo no Estado de Sergipe (modificado do Atlas de Sergipe, 1979)



### 3.5.1 Rio Sergipe

Com uma extensão de 210 km, o rio Sergipe nasce na Serra Negra, divisa com o Estado da Bahia, atravessando Sergipe no sentido oeste/leste até desaguar no Oceano Atlântico, entre os municípios de Aracaju e Barra dos Coqueiros. Sua bacia hidrográfica totaliza 3.673 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 16,70% do território sergipano. Entre os principais afluentes que compõem a bacia hidrográfica, destacam-se pela margem direita os rios Vermelho, Jacarecica, Pitanga e Poxim e pela margem esquerda os rios Salgado, Parnamirim e Pomomba (Moreira *et al.* 1969). A vazão líquida deste rio é de 13,84m<sup>3</sup>/seg ([www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br)) (Tabela 01).

Ao longo da bacia hidrográfica predomina a ocupação das terras com pastagem, correspondendo a 46% da área da bacia. As matas pouco densas ocupam 22,6% da área, enquanto 18,5% estão ocupadas pelas lavouras, 5,1% por florestas, 2,2% por mangues, 2% por áreas urbanas, 1,6% por vegetação de dunas, 1,3% por áreas alagadas e 0,7% por áreas expostas (SEPLANTEC, 2002).

Essa bacia hidrográfica apresenta o maior número de empreendimentos de carcinicultura do estado, com 21 unidades produtoras de camarão cultivado, seguida pela bacia do rio São Francisco, com 17 unidades produtivas CODISE (2004).

De acordo com Carvalho (2004) os estuários do estado de Sergipe possuem condições ambientais propícias ao desenvolvimento da carcinicultura, que se utilizados de maneira sustentável, possivelmente poderão destacá-lo no contexto regional como novo produtor em potencial de camarão cultivado.

Porém, a carcinicultura utilizada de forma intensa e sem planejamento poderá causar impactos negativos no meio ambiente de sua área de influência. Os manguezais são as áreas mais impactadas com a implantação dos empreendimentos de carcinicultura, devido a ocorrência da derrubada da vegetação e alteração do padrão de circulação das águas em função da construção dos diques que represam água para os viveiros (DPA/MA, 2001).

O crescimento urbano e o desmatamento industrial atuam de forma negativa, submetendo a bacia à intensa poluição, resultante dos afluentes domésticos e industriais.

### 3.5.2 Rio Vaza-Barris

O rio Vaza Barris nasce no município de Uauá, no Estado da Bahia, numa elevação de aproximadamente 500 m. A área total da bacia hidrográfica é de 17.000 km<sup>2</sup>, sua maior parte está no Estado da Bahia, apenas 15% ou seja, 2.559 km<sup>2</sup> localiza-se no Estado de Sergipe, cobrindo 11,6% da área do Estado. Apesar da significativa área da bacia hidrográfica, o regime fluvial no Estado da Bahia é intermitente e é apenas no Estado de Sergipe que o Vaza Barris se torna um rio perene (Moreira *et al.* 1969).

Os principais tributários em Sergipe são os rios Salgado e Traíras, ambos desaguando no rio Vaza Barris em sua margem esquerda. A vazão líquida deste rio é de 15,64m<sup>3</sup>/seg ([www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br)) (Tabela 01).

Dentre as atividades antrópicas verificadas no sistema estuarino, chama à atenção a existência de viveiros e tanques para o cultivo de camarão nas franjas dos mangues e os desmatamentos ao longo das margens, relacionados com os empreendimentos imobiliários e construção de acessos.

### 3.5.3 Rio Piauí

O rio Piauí nasce perto da fronteira com o Estado da Bahia numa elevação de aproximadamente 460m. O rio Piauí tem um comprimento de 150 km e uma bacia hidrográfica com área de 4.262 km<sup>2</sup>, ou seja, cerca de 19,3% da área total do Estado. Este rio desagua entre os municípios de Estância (Sergipe) e Jandaíra (povoado Mangue Seco/ Bahia), após a confluência com os rios Fundo, pela margem esquerda, e Real, pela margem direita (Moreira *et al.* 1969). Com uma vazão líquida de 22,92m<sup>3</sup>/seg ([www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br)) (Tabela 01).

Os diversos usos das águas na Bacia Hidrográfica incluem: irrigação, mineração, indústrias, consumo humano e animal, pesca, turismo e lazer. Os problemas ambientais são: lixeira, esgoto a céu

aberto, assoreamento de rios e riachos, pesca predatória, uso indiscriminado de agrotóxicos, extração inadequada de minerais, desmatamento.

Os principais tributários são os rios Arauá, na margem direita e o Piautinga, na margem esquerda.

### 3.5.4 Rio Real

O rio Real nasce no Estado da Bahia e faz divisa com o Estado de Sergipe. A área de drenagem do rio Real perfaz um total de aproximadamente 2.558 km<sup>2</sup> no estado de Sergipe. Os principais usos da água na bacia do rio Real são: abastecimento público, irrigação, recreação, pesca, e corpo receptor de esgotos domésticos e industriais em alguns pontos da bacia hidrográfica (Moreira *et al.* 1969). A vazão líquida deste rio é de 20,46m<sup>3</sup>/seg ([www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br)) (Tabela 01)

Na bacia do rio Real o desenvolvimento das atividades agrícolas vem provocando impactos como a desertificação em algumas localidades. Os plantios de culturas de subsistência encontram-se disseminados por toda a região com cultivos semi-intensivos. As principais fontes de poluição dos recursos hídricos da bacia do rio Real encontram-se associadas as atividades de agricultura e pastagem as quais são responsáveis pelo desenvolvimento de processos erosivos, com ênfase para o assoreamento das drenagens. Por outro lado as atividades urbanas e industriais lançam substâncias que podem alterar a sua qualidade através da introdução de elementos nocivos ao meio (Chagas, 2002).

De acordo com a ADEMA (1984), os estuários dos rios Piauí e Real podem ser analisados em conjunto, pois se apresentam geograficamente próximos e com características ambientais semelhantes. Estes estuários são os mais ricos em termos de manguezais e produção pesqueira de peixes no Estado de Sergipe.

A tabela 02 lista a área de abrangência dentro do Estado de Sergipe das desembocaduras descritas anteriormente, e suas respectivas vazões médias (m<sup>3</sup>/seg).

Tabela 01 – Áreas de abrangência e vazão média das desembocaduras estudadas( Modificado de [www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br) ).

Bacia do Rio	Área (km <sup>2</sup> ) no Estado de Sergipe	Vazão Média (m <sup>3</sup> /seg)
Sergipe	3.673	13,84
Vaza Barris	2.559	15,64
Piauí	4.262	22,92
Real	2.558	20,46

### 3.6 Geologia e Geomorfologia

A planície costeira do Estado de Sergipe segue o modelo clássico das costas que avançam em direção ao oceano, em decorrência do acréscimo de sedimentos mais novos, em que cada cordão litorâneo representa depósitos individuais associados a uma antiga linha de praia (Dominguez, *et.al*, 1992)

A área investigada inclui sedimentos quaternários de idades pleistocênica e holocênica, depositados em ambientes marinho, flúviomarinho, lacustre e eólico (Bittencourt *et. al*, 1983) (Figura 05).

#### 3.6.1 Depósitos Sedimentares do Pleistoceno

- **Terraços Marinheiros:** São depósitos de areias litorâneas, que ocupam a parte mais interna da planície costeira, associados a um importante episódio transgressivo e regressivo subsequente do mar, denominado por Martin *et. al* (1980) de Penúltima Transgressão (120.000 anos AP). Esses terraços apresentam topos variando entre 8 e 10 m acima do nível da preamar atual, e em suas superfícies são encontrados vestígios de cordões litorâneos, remanescentes de antigas cristas de praia, parcialmente retrabalhadas pela ação eólica ou semifixadas pela vegetação.

- **Depósitos Eólicos:** Constituem as dunas antigas do tipo parabólica de provável idade pleistocênica, já fixas pela vegetação. São encontradas na área estudada sobre alguns terraços marinhos pleistocênicos, como por exemplo entre Aracaju e a foz do rio Vaza Barris.

### 3.6.2 Depósitos Sedimentares do Holoceno

- **Terraços Marinheiros:** São encontradas, ao longo de toda a costa, largas faixas de terraços marinhos arenosos mais baixos, com altitudes variando de 4 m a poucos centímetros acima da preamar atual, formados durante a regressão subsequente à Última Transgressão (5.100 anos AP). Estes terraços sempre apresentam na superfície contínuas e bem marcadas cristas de cordões litorâneos, estreitamente próximos e paralelos entre si, interrompidas apenas nas desembocaduras dos rios e riachos que drenam a planície costeira.

Depósitos Eólicos: Compreendem as dunas mais recentes que 5.100 anos A P, posto que se posicionam sobre os terraços marinhos holocênicos. Subdividem-se em dois conjuntos: (i) o mais antigo, de dunas parabólicas e já fixados pela vegetação, ocupando a parte mais interna dos terraços holocênicos e (ii) o mais recente, de dunas do tipo barcana, posicionadas de uma maneira praticamente contínua, bordejando todo o litoral.

- **Depósitos de Mangue:** Estão localizados nas partes inferiores dos vales entalhados na Formação Barreiras e em algumas zonas baixas entre os terraços marinhos pleistocênicos e holocênicos. Apresentam substratos constituídos predominantemente de materiais argilo-siltosos ricos em matéria orgânica.

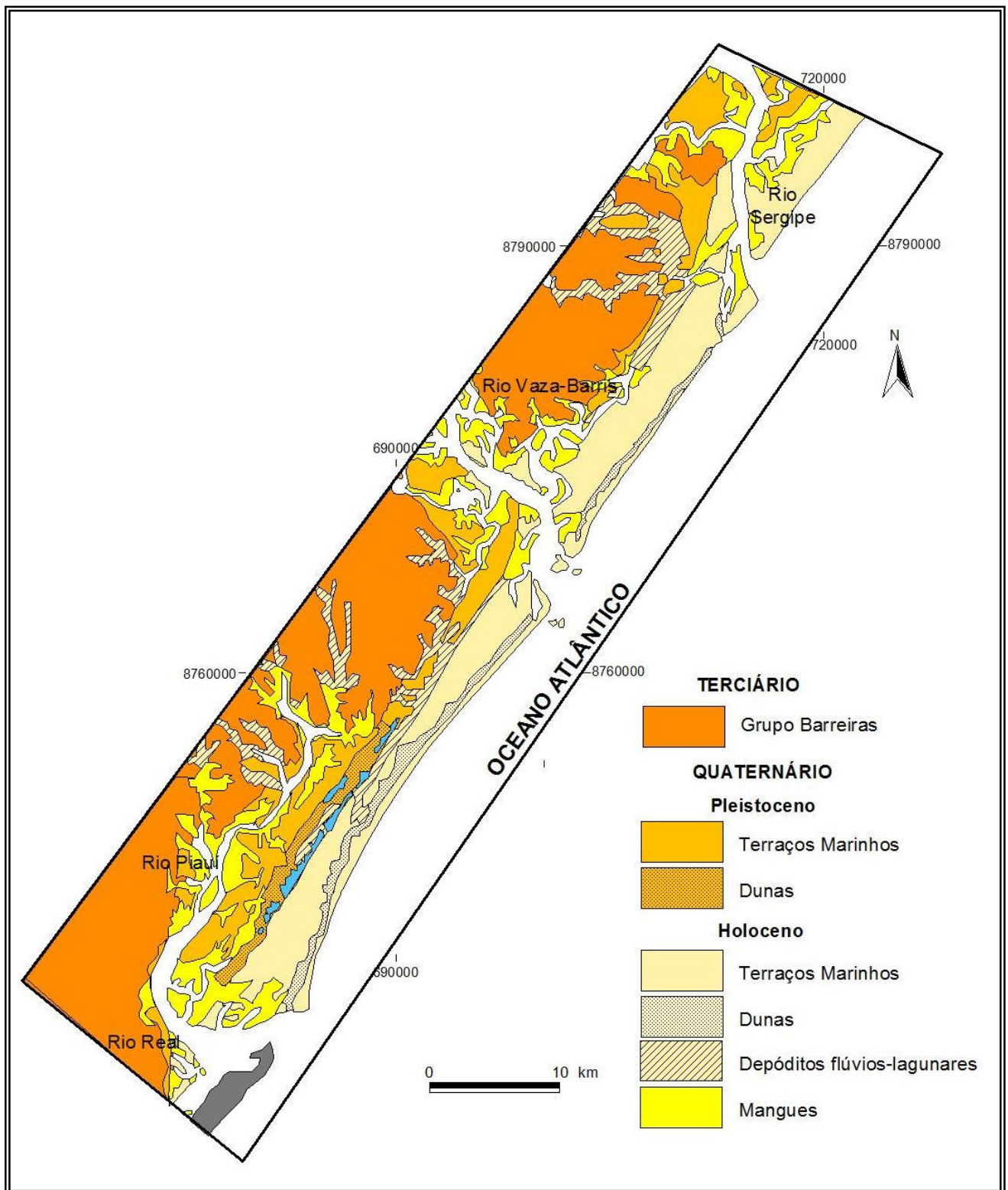


Figura 05 – Mapa Geológico-Geomorfológico Simplificado da área estudada (modificado de Bittencourt *et al*, 1983)

### 3.7 Erosão Costeira na Área de Estudo: Trabalhos Anteriores

Monteiro (1963) buscando analisar os processos de formação do pontal arenoso presente na desembocadura do rio Sergipe, utilizou a planta hidrográfica da Barra e Porto de Aracaju do ano de 1894 para descrever cenários anteriores. Neste trabalho, a autora se deteve ao processo de formação dos bancos arenosos e como os mesmos se uniram a linha de costa, em decorrência da interação entre a disponibilidade de sedimentos e as correntes fluviais.

Cunha (1980) descreveu a morfologia observada nas fotos aéreas de 1950/60 e no mapa da Barra do rio Cotinguiba (atual rio Sergipe) datado de 1823 mostrando a antiga morfologia da foz (Figura 06). O autor constatou que o processo de erosão é ativo ao longo da praia de Atalaia.

Fontes (2003) objetivando determinar o comportamento dos sedimentos face a dinâmica costeira, apresentou em seu estudo uma série de dados dos agentes dinâmicos atuantes no litoral sergipano (ondas, marés e correntes litorâneas), assim como realizou um breve relato sobre a formação da península da Coroa do Meio. Esta autora mostrou que a desembocadura do rio Sergipe sofreu alterações morfológicas ao longo do tempo, em decorrência de processos naturais e antrópicos que culminaram em erosão na sua margem direita.

Oliveira (2003) em seu trabalho sobre o litoral sergipano contribuiu para uma melhor compreensão da erosão nesta região em escala temporal de médio prazo. O estudo dos padrões de refração de ondas e da análise multitemporal de fotografias aéreas indicou que os locais onde ocorrem as maiores variações da linha de costa estão associados às desembocaduras fluviais. Esta autora associou os trechos em erosão aos fatores naturais (padrões de dispersão e acumulação de sedimentos) e antrópicos (obras de engenharia).

Bittencourt *et al.* (2006) no Atlas de Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro mostram que o trecho sob erosão mais severa em Sergipe ocorre na porção sul do rio São Francisco e está relacionada à retenção de sedimentos fluviais pelas barragens ao longo do rio. Por outro lado, a erosão observada na Atalaia Nova, na margem esquerda do rio Sergipe, é difícil de ser explicada e provavelmente está relacionada à dinâmica da desembocadura do rio Sergipe. A linha de costa associadas às

desembocaduras dos rios Vaza Barris, Piauí/Real e a margem direita do rio Sergipe foram classificadas como de “Elevada Variabilidade” por apresentarem trechos experimentado erosão e trechos experimentando progradação.

Wanderley (2006) descreveu a evolução da Coroa do Meio baseada em observações empíricas e análise de mapas históricos. A autora concluiu que os fatores naturais, acentuados pelas ações antrópicas, são os responsáveis pelo processo de erosão que se originou após a conclusão do processo construtivo da embocadura.

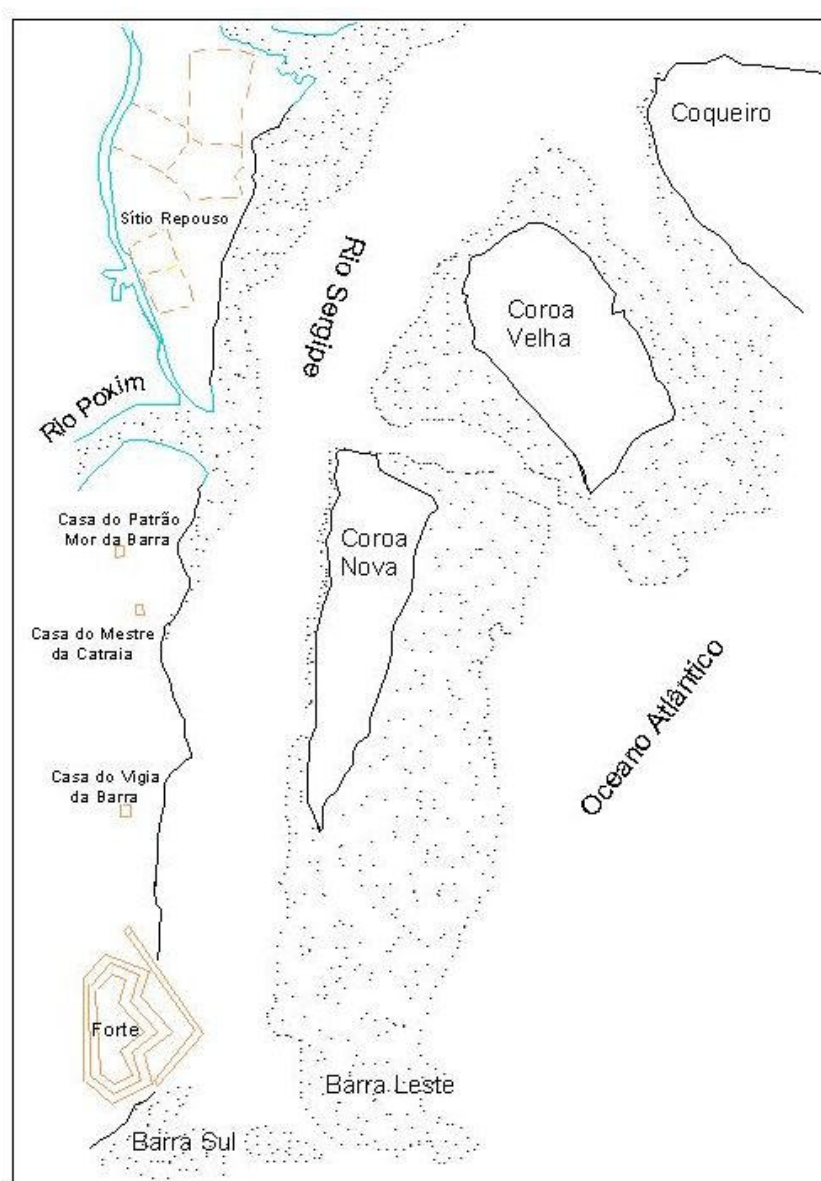


Figura 06 – Mapa Histórico da desembocadura do Rio Sergipe de 1823 (modificado do mapa da Capitania dos Portos de Sergipe). Fonte: Cunha (1980).



## **4. MÉTODOS DE TRABALHO**

As etapas de trabalho necessárias para o cumprimento dos objetivos propostos foram as seguintes:

### **4.1 Levantamento Bibliográfico**

Esta etapa consistiu no levantamento de artigos científicos, publicações e livros referentes ao tema principal do trabalho, bem como temas correlatos. Esta etapa incluiu a obtenção de mapas, cartas náuticas da DHN, fotografias aéreas de diferentes épocas e imagens de satélite.

### **4.2 Trabalho de Campo**

A etapa de campo foi realizada entre os dias 11 e 16 de Dezembro de 2005, na qual foram obtidos os seguintes dados: (i) posicionamento da linha de costa (limite da preamar máxima) nas vizinhanças das desembocaduras dos rios Sergipe, Vaza Barris e Piauí/Real, através da utilização de um receptor GPS de navegação (acurácia  $\pm 10\text{m}$ ); (ii) aquisição de coordenadas de pontos de controle (cruzamento de estradas, confluência de rios etc), para o georeferenciamento das fotos aéreas, imagens de satélite e mapas históricos; (iii) delimitação dos trechos de linha de costa apresentando evidências de erosão (representados por raízes expostas, coqueiros caídos, muros derrubados etc.), progradação (representado por bermas recém vegetados) e equilíbrio (representados por falésias e escarpas recobertas por vegetação ou quando os indicativos de acumulação são bastante incipientes).

Em função da severa erosão verificada na orla de Atalaia nas vizinhanças da desembocadura do rio Sergipe desde Julho de 2007, foi efetuado um novo posicionamento da linha de costa neste setor do litoral com o GPS em 28 de Junho de 2008. Registros fotográficos documentaram estes novos episódios de erosão.

Em função destes eventos expressivos considerou-se necessário a documentação e inclusão dos mesmos neste trabalho.

### 4.3 Mapeamento da Linha de Costa

Neste trabalho o mapeamento da posição da linha de costa utilizou 3 abordagens: a) dados históricos correspondentes aos 2 últimos séculos, com documentos cartográficos da desembocadura do rio Sergipe; b) escala de tempo correspondente às últimas 5 décadas (médio prazo), com fotografias aéreas e c) de longo prazo através da geometria e dos padrões de truncamento dos cordões litorâneos presentes na superfície dos terraços marinhos holocênicos observados em fotografias.

#### 4.3.1 Mapeamento da Posição da Linha de Costa em Documentos Cartográficos

Os mapas históricos de diferentes datas (1894, 1914, 1927 e 1946) da desembocadura do rio Cotinguiba (atual rio Sergipe) foram cedidas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Hidrográficas (INPH). Os mapas originais são imprecisos e sem escala, porém de grande valor, pois permitiu analisar e documentar através de um modelo de evolução esquemático as alterações daquela localidade.

Neste trabalho, apesar da imprecisão dos mapas históricos, realizou-se o georreferenciamento com poucos pontos de controle visando melhor esquematizá-los e compará-los.

#### 4.3.2. Mapeamento da Posição da Linha de Costa em Imagens em Fotografias Aéreas

As posições ocupadas pela linha de costa durante os últimos 50 anos foram traçadas em fotografias de diferentes datas.

A tabela 02 lista as datas das fotografias aéreas disponíveis para a área investigada.

Tabela 02 – Fotografias aéreas utilizadas para análise histórica da área em estudo.

<b>Data</b>	<b>Escala foto</b>	<b>Executor</b>
1955	1: 20.000	SACS/PETROBRAS
1965	1: 60.000	SACS
1971	1: 70.000	TERRAFOTO
1984	1: 25.000	FAB/SEPLANTEC
2003	1: 25.000	FAB/SEPLANTEC

Em laboratório, os pontos de controle coletados durante os trabalhos de campo foram plotados no aplicativo ArcView 3.2®, e utilizados para georreferenciar as fotografias listadas na tabela acima. O traçado da linha de costa foi realizado diretamente no monitor a partir das fotografias aéreas georreferenciadas. O geoindicador escolhido para a vetorização foi a da linha deixada pela última maré alta, que pode ser facilmente visualizado como sendo o limite entre a areia seca e a areia úmida (Pajak & Leatherman, 2002).

A sobreposição do traçado da linha de costa para diferentes datas em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica) permitiu reconstruir a posição da linha de costa nos trechos de interesse para as últimas cinco décadas. As medições das distâncias entre as diferentes linhas de costas mapeadas foi realizada no ArcView 3.2®.

Nesta etapa foram também mapeados os talwegues dos rios em diferentes datas 1955, 1965, 1971, 1984 e 2003.

### **4.3.3. Mapeamento dos Truncamentos dos Cordões Litorâneos**

As fotografias aéreas georreferenciadas executadas pela TERRAFOTO (1971) foram utilizadas no mapeamento da geometria dos feixes de cordões litorâneos presentes na superfície dos terraços marinhos holocênicos, enfatizando sua orientação e seus padrões de truncamento (Figura 07). Este mapeamento permitiu reconstruir uma cronologia relativa da posição da desembocadura dos rios estudados.

A escolha das fotografias aéreas de 1971 em detrimento às demais fotos se deu pelos seguintes motivos:

- a fotografia de 1971 recobre todas as desembocaduras;
- a baixa urbanização em 1971 não mascara as características dos cordões litorâneos nesta data;
- as mudanças de médio prazo foram determinadas pela superposição das fotografias aéreas no período entre 1955 e 2003, o que tornou desnecessária a utilização da foto mais recente (2003).

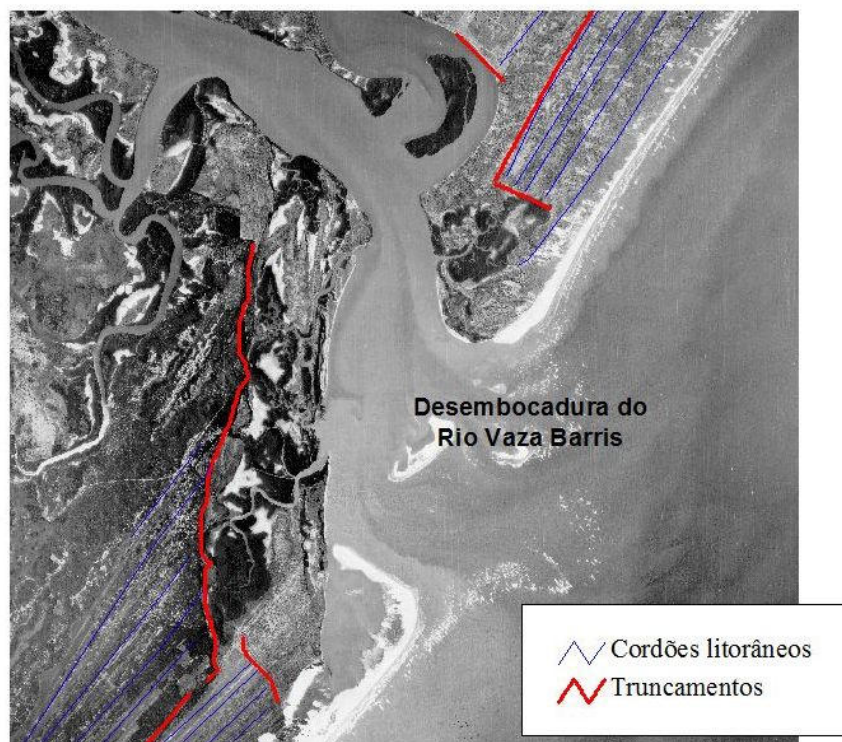


Figura 07 – Fotografia aérea de 1971 mostrando os cordões litorâneos e linhas de truncamentos registrados na superfície do Terraço Marinho Holocênico.

#### 4.4. Integração e Interpretação dos dados

As informações obtidas nas etapas anteriores foram integradas e analisadas, dando origem a um mapa de Vulnerabilidade Potencial e/ou Risco à Erosão, o qual foi obtido através da correlação das taxas de variação da linha de costa e a influência/modificação antrópica. Este mapa representa as tendências de mudanças de médio prazo na posição da linha de costa, de acordo com as seguintes definições conceituais sobre risco e vulnerabilidade costeira à erosão.

Dal Cin e Simeoni (1994) colocam que o termo vulnerabilidade costeira pode apresentar-se como um arranjo de atributos que caracterizam maior fragilidade, fraqueza ou passividade para com a incidência de um evento/fenômeno de alta energia ou de potencial destrutivo.

Para Lins de Barros (2005), o risco deve ser uma combinação entre o grau de vulnerabilidade física que revela a fragilidade e a distribuição espacial da ocupação humana. Uma determinada orla

pode apresentar elevado grau de vulnerabilidade física devido à grande fragilidade natural à eventos erosivos de curta a longa duração. Porém a mesma pode não representar nenhum risco caso não exista ocupação humana.

Associados aos riscos antrópicos estão os riscos naturais, que causam transformações rápidas e potentes nessas regiões. Os riscos associados à dinâmica costeira se fazem sentir pelo modelamento do litoral em função da ação das correntes, ondas, marés e pela atuação dos ventos que constroem ou destroem ambientes litorâneos, como praias, dunas e falésias.

A erosão costeira, os riscos e os danos associados devem ser entendidos como uma questão humana, mais especificamente relacionada às formas de ocupação e de valorização das zonas costeiras a partir do século XX.

A população litorânea disputa um mesmo espaço geográfico para as mais diversas atividades e finalidades, entre elas, a habitação, a indústria, o comércio, o transporte, a agricultura, a pesca, o lazer e o turismo. A ocupação desse espaço concorrido está entre as principais causas de riscos ambientais na zona costeira (Rodrigues *et al.* 2004)

A identificação das áreas de vulnerabilidade e/ou risco potencial ao longo do litoral apresenta-se como um instrumento fundamental para a determinação de áreas críticas e prioritárias para o planejamento. Neste trabalho para a determinação destas áreas, foi utilizado o estudo de Esteves (2003) sobre o litoral do Rio Grande do Sul, no qual foram definidas quatro classes que apresentam diferentes necessidades de manejo:

(1) “**Áreas críticas.** São áreas que requerem medidas de gerenciamento costeiro corretivo. Apresentam urbanização intensa e/ou crescente ocupação e uso do solo, tendência à erosão e/ou destruição de estruturas costeiras durante eventos de alta energia, magnitudes de deslocamento da linha de costa que excedem a largura média da praia emersa, dunas primárias ausentes ou muito alteradas.

(2) **Áreas de ação prioritária.** São áreas sob pressão crescente em que urge a aplicação de medidas de gerenciamento preventivo. Apresentam urbanização moderada ou baixa, taxas de crescimento populacional acima da média do estado, recente intensificação do uso (turismo, valorização

*imobiliária, conflitos de interesses), tendência à estabilidade ou erosão no curto ou longo-termo e grandes magnitudes de deslocamento da linha de costa.*

*(3) **Áreas latentes.** São áreas que atualmente não se encontram sob grande pressão de uso, mas que num futuro próximo podem se tornar áreas de ação prioritária, portanto é aconselhável a implementação de medidas reguladoras de ocupação e uso. Apresentam sistema praia/duna preservado ou pouco alterado, urbanização moderada a baixa, e tendência à erosão ou estabilidade/acresção com grandes magnitudes de deslocamento da linha de costa. Em geral, ocorrem nas proximidades de áreas críticas ou prioritárias, ou são áreas não urbanizadas que recentemente tiveram vias de acesso ampliadas ou criadas.*

*(4) **Áreas naturais.** São as áreas que têm suas características naturais preservadas, não são urbanizadas, apresentam pouca pressão de uso e sem indícios de que essas condições serão alteradas em um futuro próximo. Podem apresentar tendência à erosão, estabilidade ou acresção”.*

## **5. VARIAÇÕES MORFOLÓGICAS EM ÁREAS ADJACENTES A DESEMBOCADURAS DOMINADOS POR ONDAS E CANAIS DE MARÉ**

Segundo FitzGerald (1984) padrões de erosão e deposição na linha de costa situada nas vizinhanças das desembocaduras fluviais e canais de maré são fortemente influenciados pelos processos associados a deltas de maré vazante.

Deltas de maré vazante são acumulações de areia defronte a canais de maré e desembocaduras fluviais, que foram formados pela interação de correntes de maré, correntes geradas pelas ondas e descarga fluvial (FitzGerald, 1984), podendo apresentar-se de várias formas dependendo do retrabalhamento dos sedimentos por correntes geradas por ondas e marés (Hayes, 1975; Davis e Gibeaut, 1993; Oertel, 1975). A dinâmica destes deltas exercem significativa influência na morfodinâmica das linhas de costas adjacentes (FitzGerald, 1988)

Outros fatores ligados à dinâmica de canais de maré e foz de rios, envolvem a inversão no sentido do transporte litorâneo e do crescimento de pontais arenosos, que também desempenham um papel relevante nas mudanças morfológicas observadas ao longo da linha de costa (Andrade, 2000).

A morfologia dos bancos arenosos de desembocaduras fluviais em ambientes dominados por ondas e a dinâmica de sedimentos assemelham-se muito a dos deltas de maré vazante (Dominguez *et al*, 1999)

O modelo morfológico simplificado de um delta de maré vazante proposto por Boothroyd (1980) é mostrado na figura 08. Este delta é formado pela combinação de sedimentos erodidos do talvegue do canal de maré e sedimentos fornecidos por correntes longitudinais geradas pela ação das ondas. Este modelo inclui os principais componentes de um delta de maré vazante: canal principal, barras, lobo terminal e canais marginais de enchente.

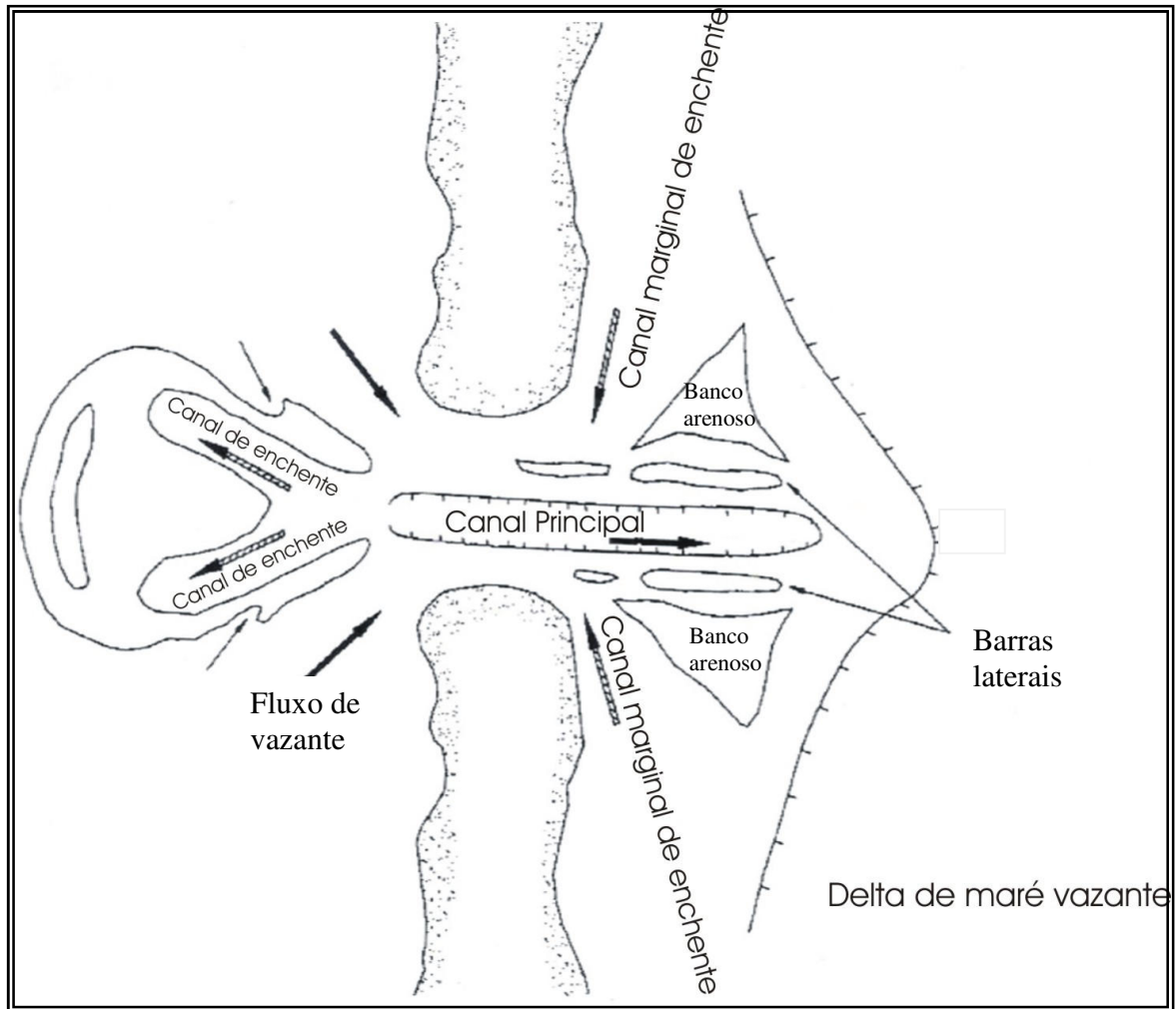


Figura 08- Modelo esquemático de canais de maré e desenvolvimento de deltas de vazante e de enchente.  
(fonte: Boothroyd, 1980)

No litoral sergipano os rios Sergipe, Vaza Barris e Piauí/Real apresentam em seu baixo curso extensas áreas com canais meandantes, associadas às quais ocorrem expressivos manguezais e amplas desembocaduras. Estas três desembocaduras apresentam peculiaridades, o que faz com que elas se diferenciem um pouco das desembocaduras encontradas nos grandes rios brasileiros, por apresentarem em seu baixo curso grandes áreas intermareais, correspondentes às planícies de maré, vegetadas com manguezais.



De acordo com Fontes (1999b) a área ocupada por manguezais nos estuários sergipanos, correspondem a 54,96km<sup>2</sup> no rio Sergipe, 59,37km<sup>2</sup> no rio Vaza Barris e de 75,53km<sup>2</sup> ao longo da bacia estuarina Piauí/Fundo/Real.

Deste modo desenvolvem-se prismas de maré expressivos que terminam por influenciar a dinâmica destas desembocaduras, as quais apresentam um comportamento semelhante ao dos deltas de maré vazante.

Ajustes na configuração da linha de costa ocorrem em resposta à atuação de diversos fatores controladores o que conseqüentemente resulta em modificações na morfologia do delta de maré vazante, através da movimentação dos bancos arenosos, e na orientação dos canais de maré vazante e enchente.

### 5.1 Desenvolvimento de Bancos arenosos

Mikhailov (1964) *apud* ZEE (2005) sugere que a formação de bancos arenosos e ilhas são características da maioria das desembocaduras dos rios, e sua formação é predeterminada principalmente, pela dinâmica do fluxo do rio e pelo volume da descarga de sedimentos.

A morfologia dos bancos arenosos em constante mudança nas desembocaduras, afeta a refração e difração das ondas e portanto a orientação final e os níveis de energia das ondas que chegam à linha de costa (Dominguez *et al.* 1999).

FitzGerald, Hubbard e Nummedal (1978) propuseram um modelo esquemático de “bypass” de sedimentos (em canais de maré). Neste modelo são propostos 3 casos que contemplam diferentes graus de mobilidade do canal de maré:

**a) Migração do Canal** - A deriva litorânea é o principal processo responsável pela migração lateral das desembocaduras fluviais ao longo da costa. Quando as correntes de deriva litorânea são mais intensas do que o fluxo fluvial os sedimentos erodidos são deslocados para sotamar, originando um pontal arenoso que obstrui parcialmente a desembocadura. Quando o novo curso do rio tornar-se

ineficiente, ou caso ocorra um período de vazão acima da normal, o rio romperá o pontal arenoso (Figura 9A). No entanto, Dominguez *et al.*(1983) coloca que nos casos em que a migração da desembocadura e a formação do pontal arenoso ocorrem em virtude da alternância entre épocas de vazão normal e épocas de estiagem (vazão reduzida), se a mesma for prolongada, o pontal arenoso irá consolidar-se e não poderá ser mais erodido na próxima cheia.

**b) Ruptura do delta de maré vazante** – Neste modelo os sedimentos trazidos pela deriva litorânea são acumulados a barlamar do delta de maré vazante, o que resulta em desvio do canal principal. Quando esta orientação do canal se torna hidráulicamente ineficiente, o seu fluxo é desviado para uma rota mais curta em direção ao mar (Figura 9B), com o subsequente transporte de um significado volume de sedimentos que vão se soldar ao lado de sotamar do canal.

**c) Canal estável** – Neste modelo os bancos arenosos se desenvolvem e migram rumo a linha de costa, fundindo-se finalmente em um grande complexo de bancos arenosos. (Figura 9C).

Diversos outros trabalhos corroboram e utilizam os modelos descritos acima (Boothoyd,1980; CERC,1984; Cleary, 2002; Bhattacharya e Giosan, 2003; Bruun, 2005) para explicar os processos erosivos em desembocaduras fluviais e áreas adjacentes.

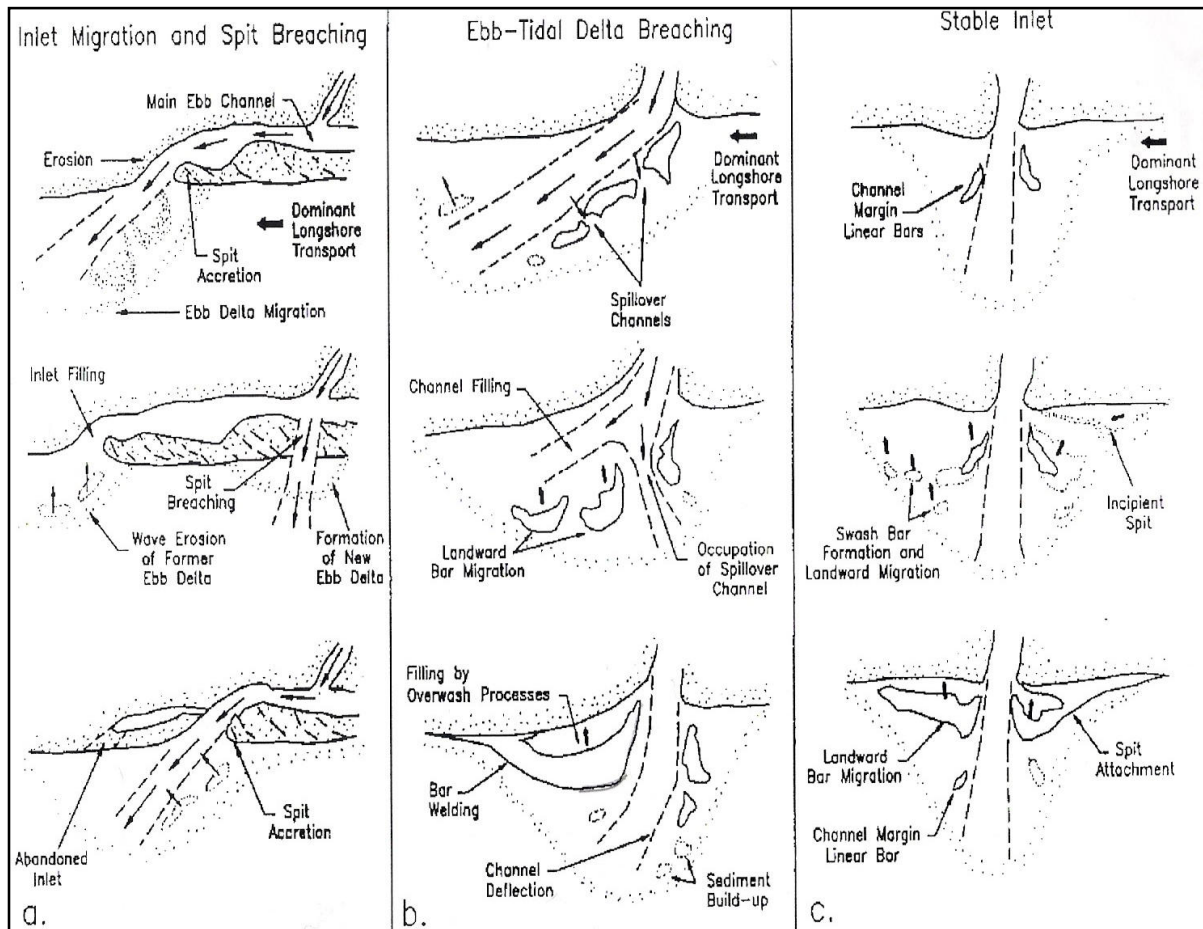


Figura 09- Modelo do comportamento do canal e o transporte de sedimentos: (a) migração de canal; (b) ruptura do delta de maré vazante e (c) canal estável (fonte: FitzGerald 1988)

## 5.2 Interferências Antrópicas

Além dos fenômenos naturais citados anteriormente, também devem ser considerados os fatores antrópicos, como o crescimento urbano e as atividades de carcinicultura como agentes atuantes nas variações morfológicas das áreas costeiras.

A zona costeira das cidades tem sua dinâmica ambiental fortemente alterada pela ocupação antrópica, a partir da metade do século XX. Os campos de dunas são ocupados, a vegetação original é totalmente devastada, as margens dos rios são tomadas e a poluição do solo e dos recursos hídricos é uma constante neste novo ambiente litorâneo.

As atividades antrópicas exigem a construção de obras costeiras como portos e marinas que alteram profundamente o equilíbrio dos processos do transporte de sedimentos na zona litorânea. É comum encontrar nos grandes centros urbanos, praias completamente erodidas contendo um elevado número de estruturas de engenharia pesada perpendiculares à linha de costa como molhes, enrocamentos e espigões para solucionar o problema local da erosão (Dias, 1990).

Procurando amenizar os efeitos das atividades antrópicas alguns projetos governamentais foram criados, a exemplo do Projeto Orla que apresenta como meta principal promover o disciplinamento de usos e de ocupação na orla marítima brasileira.

Este projeto indica a necessidade da criação de uma faixa de proteção, proposto por Muehe (2001), de no mínimo 50 metros para áreas urbanizadas e de 200 metros para áreas desocupadas, levando em consideração a geomorfologia e a urbanização da zona costeira. Estas áreas devem ser demarcadas na direção do continente a partir da linha de preamar (Figura 10). Em áreas próximas a desembocaduras fluviais, que correspondem a áreas de alta instabilidade, deve ser executado um levantamento de eventos erosivos pretéritos para a definição da extensão da faixa emersa da orla marítima.

Desta forma os valores propostos poderão ser flexíveis, desde que amparados em estudos que comprovem a adequação local da adoção de um outro valor em função da grande variedade das condições oceanográficas e geomorfológicas da orla brasileira.

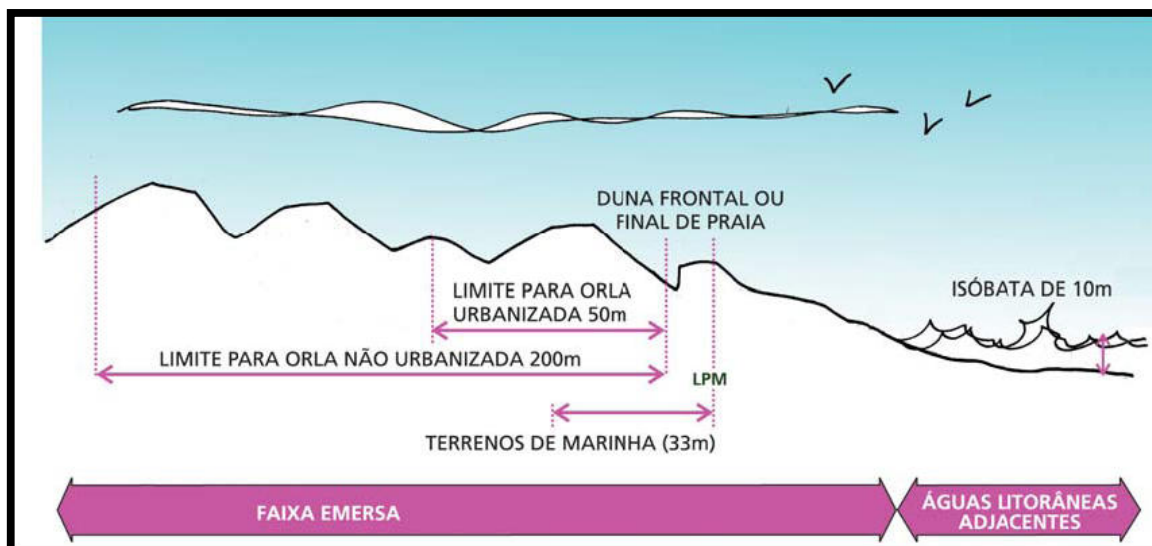


Figura 10 – Limites da faixa de proteção estabelecidos pelo Projeto Orla, proposto por Muehe. (Fonte: Projeto Orla, 2002).

## 6. INTERVENÇÕES ANTRÓPICOS ATUANTES NA ÁREA DE ESTUDO

Alguns tipos de interferências antrópicas atuam como agentes modificadores das feições morfológicas das áreas costeiras. Na área em estudo, em especial a região da desembocadura do rio Sergipe, são encontradas um elevado número de obras de engenharia.

O desvio do canal principal do rio Sergipe foi um dos principais impactos que influenciaram diretamente no balanço sedimentar das regiões adjacentes a desembocadura. Este desvio foi seguido por dragagens, descritas em relatórios da Planave S.A. (1992), para a manutenção do canal artificial.

Visando atenuar as conseqüências provocadas pela interferência antrópica na dinâmica natural da desembocadura do rio Sergipe, foram realizadas obras de contenção através da construção de estruturas fixas, as quais foram observadas no trabalho de campo.

O molhe na margem esquerda da desembocadura do rio Sergipe, no município de Barra dos Coqueiros (Figura 11 A e B), construído em 1990, vem aprisionando os sedimentos à montante do molhe, causando uma interrupção da deriva litorânea e conseqüentemente déficit sedimentar a jusante. Na margem direita do rio Sergipe, no bairro da Coroa do Meio, em Aracaju, foram construídos espigões (Figura 11C), com o início das obras em 1990 e sua total conclusão em 2000, visando reter os sedimentos naquela região, ameaçadas de erosão em virtude da tentativa de migração do canal para sua antiga posição a SW. Esta erosão pode estar associada ao déficit de sedimentos causado pela construção do molhe na margem esquerda.

Na desembocadura do rio Vaza Barris foram observados apenas vestígios de um muro de contenção na margem esquerda (Figura 11D), o qual já havia sido destruído, assim como parte da rodovia pavimentada (Figura 13E).

Na parte interna da margem esquerda da desembocadura do rio Piauí/Real, também foram encontrados vestígios de um muro de contenção, no entanto diferentemente do Vaza Barris este trecho encontra-se em boa parte urbanizado (Figura 11F).



Figura 11 – Ilustração de atuações antrópicas, presente ao longo da área de estudo: (A e B) molhe construído na margem esquerda do rio Sergipe; (C) linha de costa totalmente revestida com obras de contenção (espigões), na margem direita do rio Sergipe; (D) muro de contenção, destruído, na margem esquerda do rio Vaza Barris; (E) rodovia José Sarney parcialmente destruída na margem esquerda do Vaza Barris, a qual encontrava-se na retaguarda do muro de contenção; e (F) linha de costa com obras de contenção na margem esquerda da desembocadura dos rios Piauí/Real

**7. EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA NAS REGIÕES ADJACENTES AS DESEMBOCADURAS DOS RIOS: SERGIPE, VAZA BARRIS E PIAUÍ/REAL**

A dinâmica dos ambientes costeiros é determinada por vários fatores tais como: regime de ondas, marés e correntes litorâneas, variações do nível do mar, balanço sedimentar, arcabouço geológico e geomorfológico. A interação destes fatores modificam constantemente a morfologia da praia e da linha de costa. Estas variações na morfologia costeira podem ocorrer em escala de tempo instantânea (segundos, horas e dias), em escala de eventos (dias, meses, estações e anos), em macro-escala (anos, décadas e séculos) ou em escala geológica (décadas, séculos e milênios) (Short 2000). Este autor relaciona os processos envolvidos nas mudanças morfológicas das praias e as diferentes escalas espaço-temporais (Figura 12).

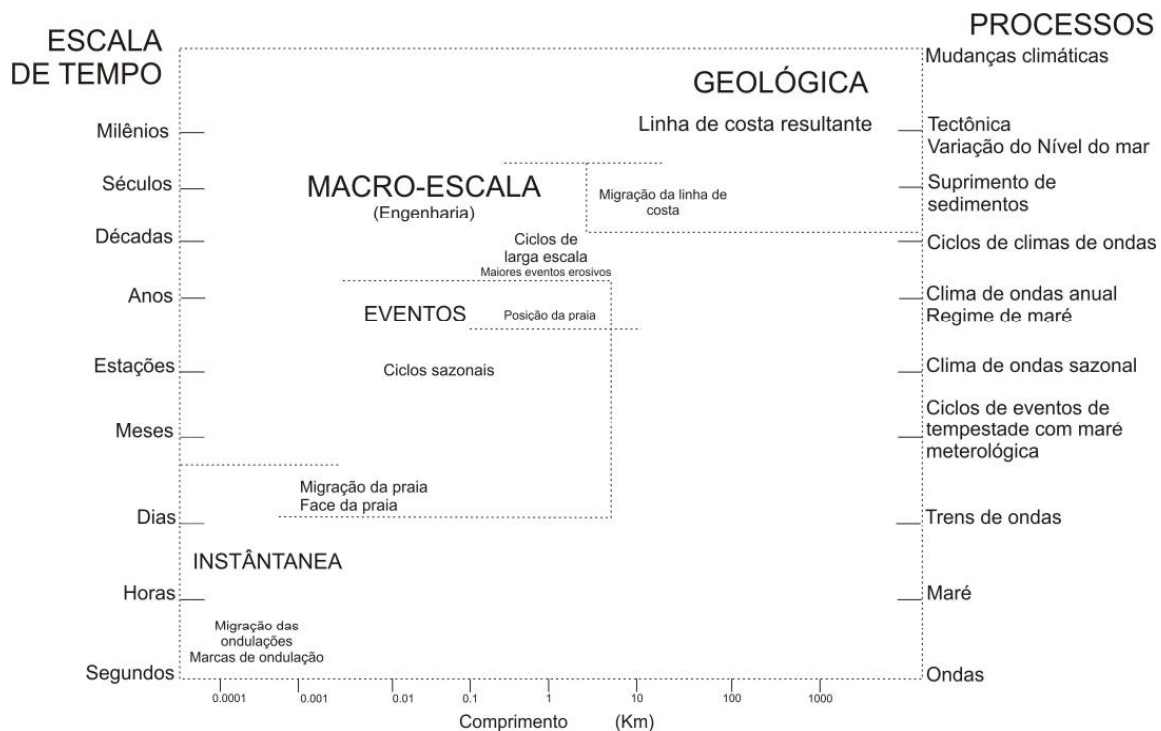


Figura 12 - Escala espaço-temporal envolvidas no estudo de praias e processos relativos à dinâmica costeira. (Fonte: Short, 2000)

Neste trabalho os termos escala geológica e macro-escala foram substituídos por longo prazo e médio prazo respectivamente.



### **7.1 EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA A MÉDIO PRAZO DAS REGIÕES ADJACENTES AS DESEMBOCADURAS DOS RIOS SERGIPE, VAZA BARRIS E PIAUÍ - REAL**

Visando determinar a evolução da linha de costa nos últimos 50 anos, nas regiões adjacentes as desembocaduras dos rios Sergipe, Vaza Barris e Piauí/Real, foram utilizadas fotografias aéreas dos anos de 1955, 1965, 1971, 1984 e 2003. No entanto a análise do posicionamento da linha de costa nas fotografias de 1955 foi realizada apenas para a desembocadura do rio Sergipe, em virtude da indisponibilidade das mesmas para as demais desembocaduras.

A superposição das linhas de costa para diferentes datas evidenciou trechos experimentando recuo da linha de costa em todas as desembocaduras analisadas, desde alguns metros até cerca de 1 km, assim como trechos que experimentaram progradação.

#### **7.1.1 Desembocadura do rio Sergipe**

Na desembocadura do rio Sergipe (Figura 13) verificou-se que na margem esquerda, entre 1955-1971, ocorreu uma progradação da linha de costa no sentido SW. Entre 1971-1984 este mesmo trecho sofreu erosão retornando praticamente à mesma posição em que se encontrava em 1955. No período de 1984-2003, a margem esquerda voltou a experimentar progradação de até 600m junto ao espigão, construído em 1990.

Enquanto isto, no período de 1955 – 2003, a margem direita interna do rio Sergipe experimentou uma erosão ao longo de uma extensão de aproximadamente 2km e que variou de uns poucos metros até 503m (Figura 14, fotos A,B,C,D,E e F).

Os sedimentos assim erodidos associados aos bancos arenosos que realizam o “bypass” (passagem de sedimentos), de barlarmar para sotamar, contribuíram para uma rápida progradação na linha de costa imediatamente a SW da margem direita do rio (Figura 15). Esta região acrescida tem se deslocado continuamente para SW (Figura 16), tornando este trecho entre o bairro da Coroa do Meio

e o início da Atalaia, em um local onde a linha de costa apresenta-se bastante instável, como pode ser visto nos registros fotográficos realizados em Setembro de 2007 (Figura 16 A, B, C, D, E e F).

O mapeamento da orientação do talvegue do canal, nos últimos 50 anos, mostra uma tendência do mesmo em desloca-se para SW (Figura 17). Corroborando com os resultados da sobreposição das fotografias aéreas, as quais apontam intensos processos erosivos na margem direita do rio Sergipe, durante o mesmo período.

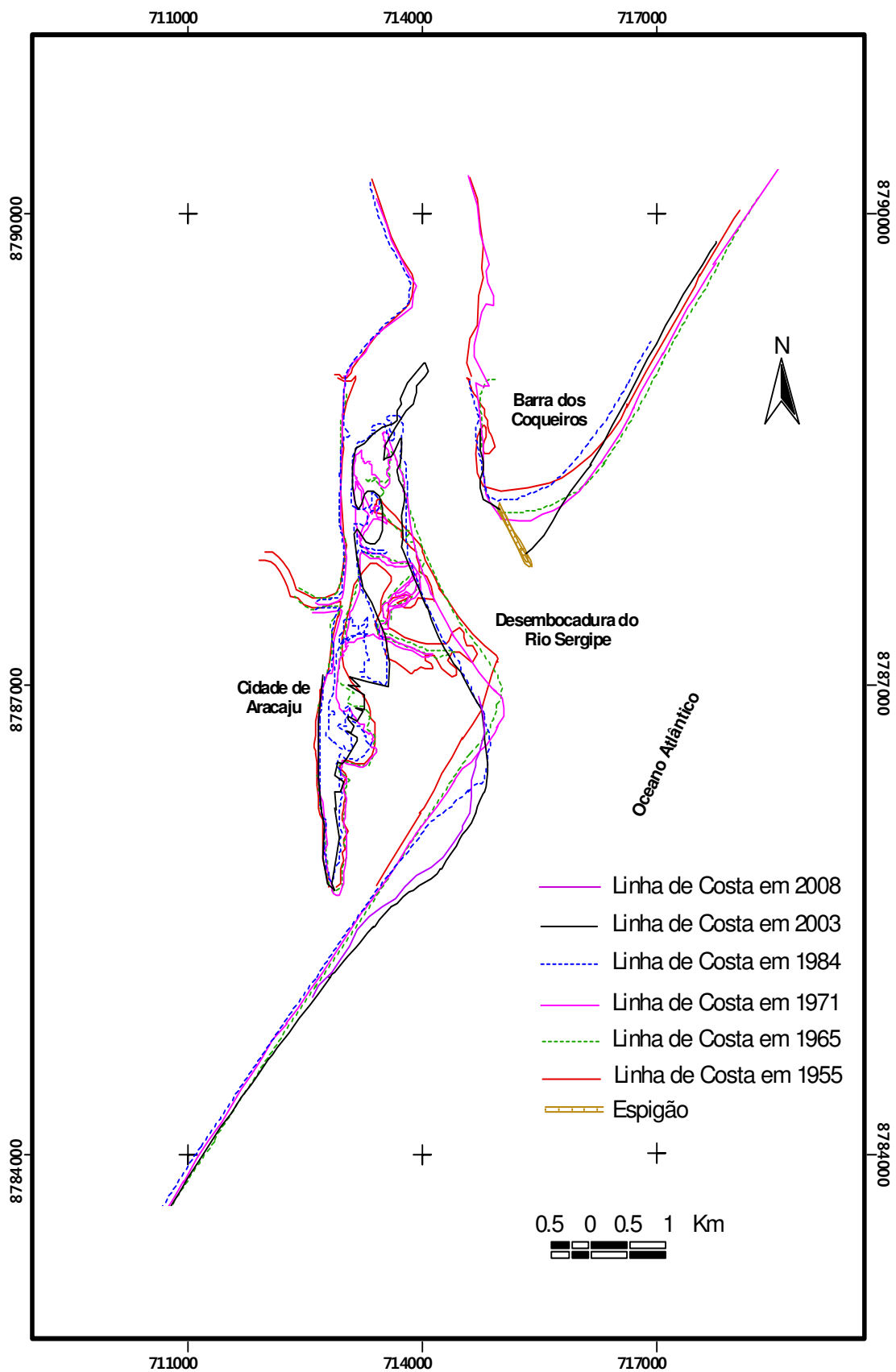


Figura 13 – Variação na posição da linha de costa entre 1955 e 2003 na desembocadura do Rio Sergipe

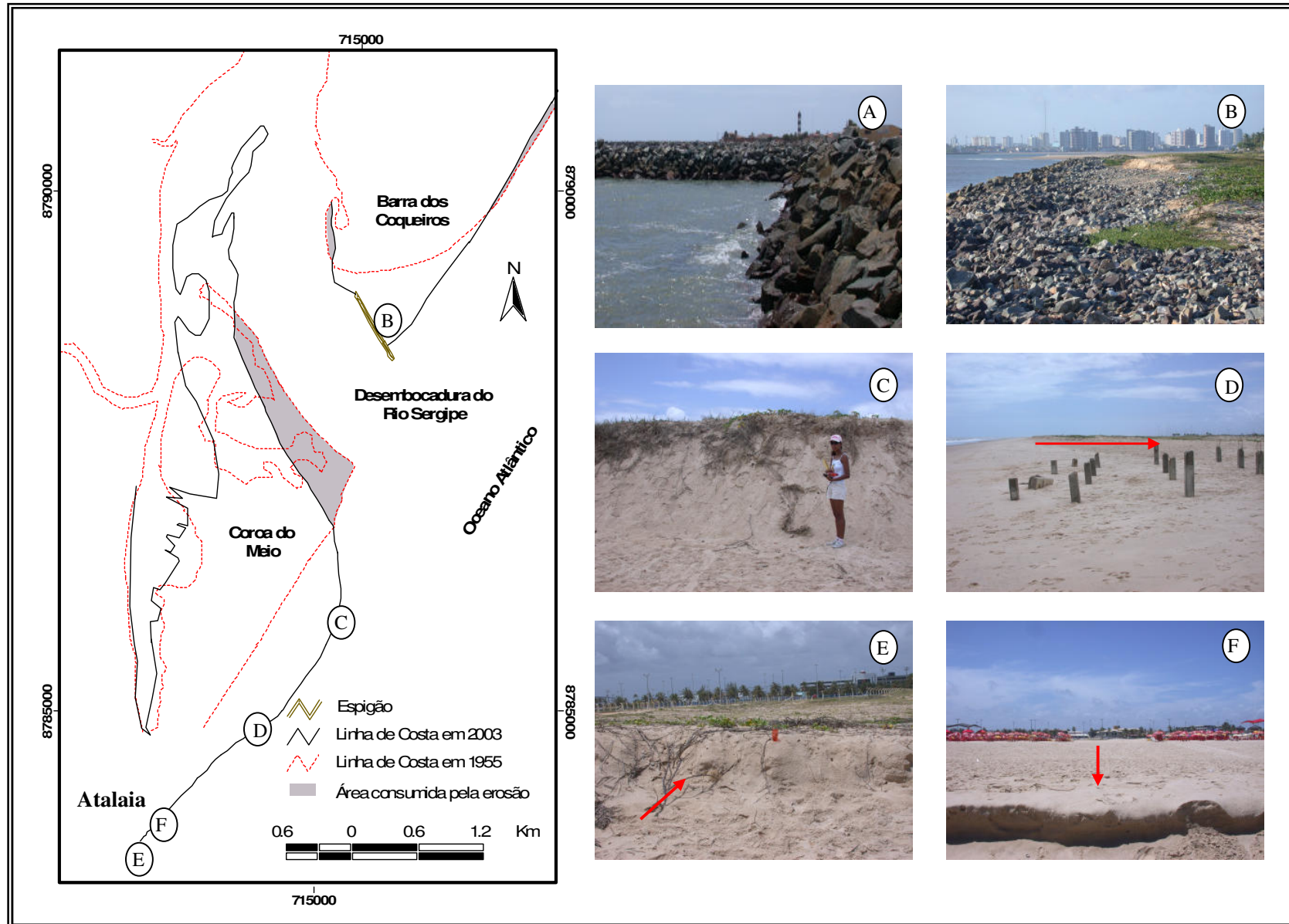


Figura 14 – Áreas consumidas pela erosão de 1955 a 2003 na margem direita do rio Sergipe e vizinhanças; (A) espigões construídos no bairro da Coroa do Meio; (B) molhe construído na Barra dos Coqueiros; (C e D) trecho progradado no período de 1955 a 2003; (E e F) evidências de erosão no trecho entre a Coroa do Meio e a Atalaia.



Figura 15 – Comparação da posição da linha de costa do trecho a SW da margem direita do rio Sergipe no período de 1975 a 2008: (a) ponto de referencia e (b) posição da linha de costa. (Foto de 2008: Fabio Martins)

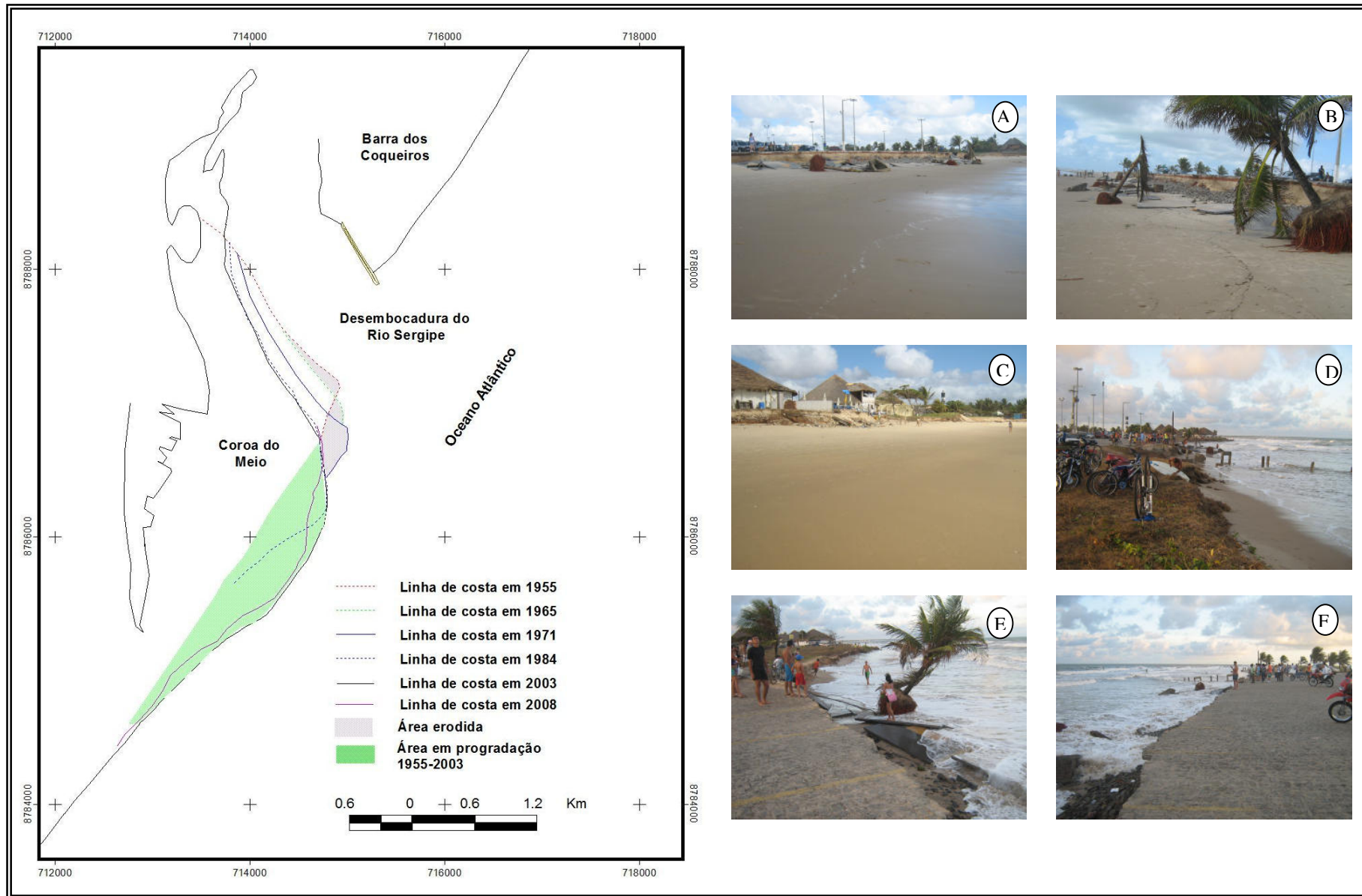


Figura 16 – Área associada ao deslocamento para SW da foz rio Sergipe; fotos (A,B,C,D,E e F) erosão ocorrida em 2007 no trecho entre as praias da Coroa do Meio e a Atalaia, sob atuação de eventos de médio prazo (Fotos: Fabio Martins 2007).

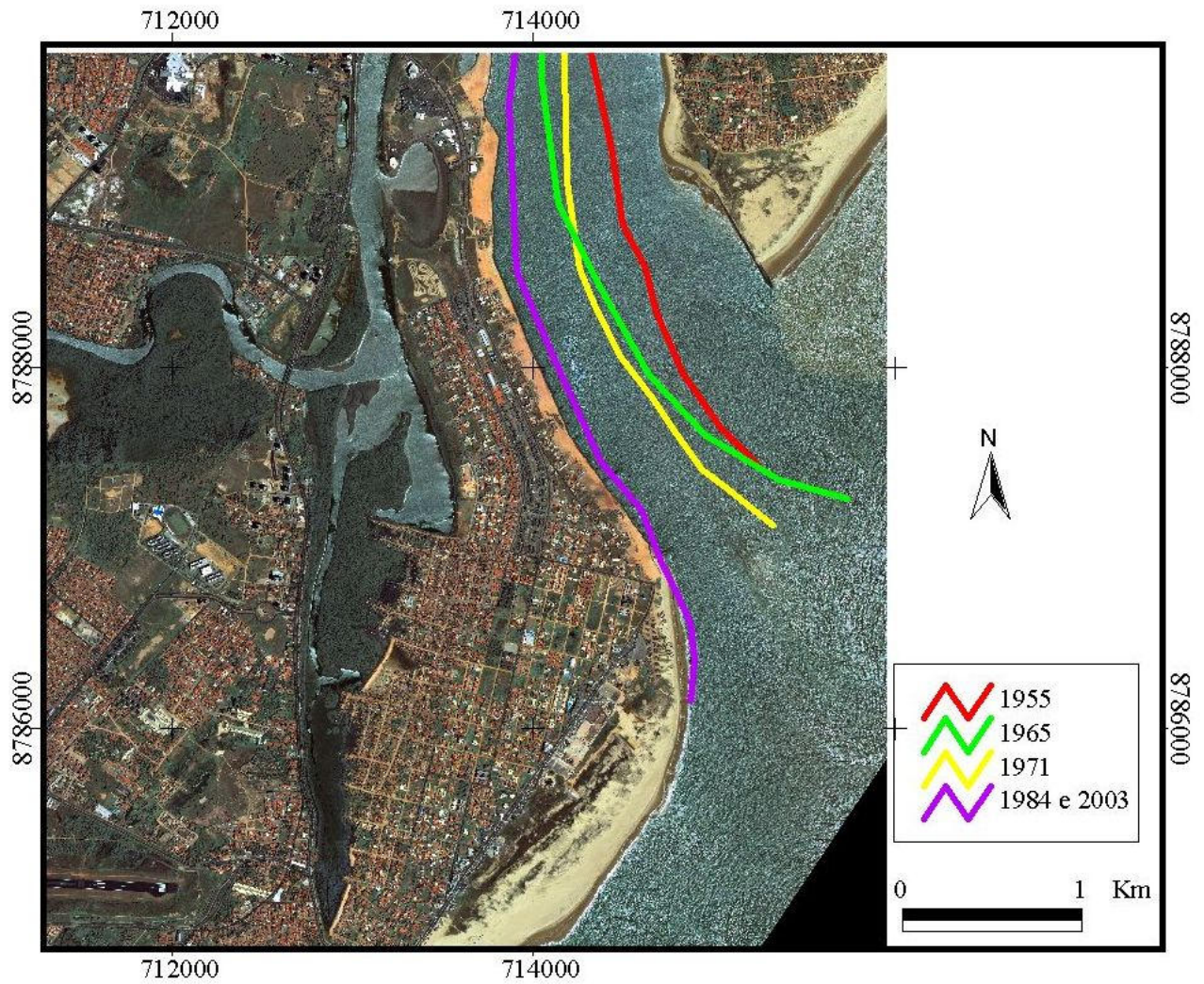


Figura 17 - Posição do talvegue do canal do rio Sergipe nos anos de 1955, 1965, 1971 e 2003.

### 7.1.2. Desembocadura do rio Vaza-Barris

Nas praias adjacentes à desembocadura do rio Vaza-Barris a comparação das diferentes posições da linha de costa (Figura 18) mostrou que na margem esquerda do rio, ocorreu progradação seguida de erosão. Entre 1965 e 1984 o pontal arenoso progradou no sentido de SW cerca de 1,7km de extensão. De 1985 a 2003 ocorreu um recuo erosivo da linha de costa com o pontal migrando no sentido do interior do estuário, não sofrendo pois alteração no seu comprimento ao longo do trecho confrontante com o mar aberto (Figura 19, fotos A,B,C,D,E e F).

A desembocadura do rio Vaza-Barris tem migrado para SW ao longo do período de estudo. Consequentemente a margem direita do rio tem apresentado recuo constante de sua margem interna totalizando 1,2km nas últimas 5 décadas (Figura 18). A linha de costa imediatamente a sul da margem direita do rio sofreu no período de 1965-1984 erosão em uma extensão de aproximadamente 3,8 km com recuo variando de 7m a 240m (Figura 19). Posteriormente entre 1984 e 2003 uma porção deste mesmo trecho de linha de costa experimentou progradação.



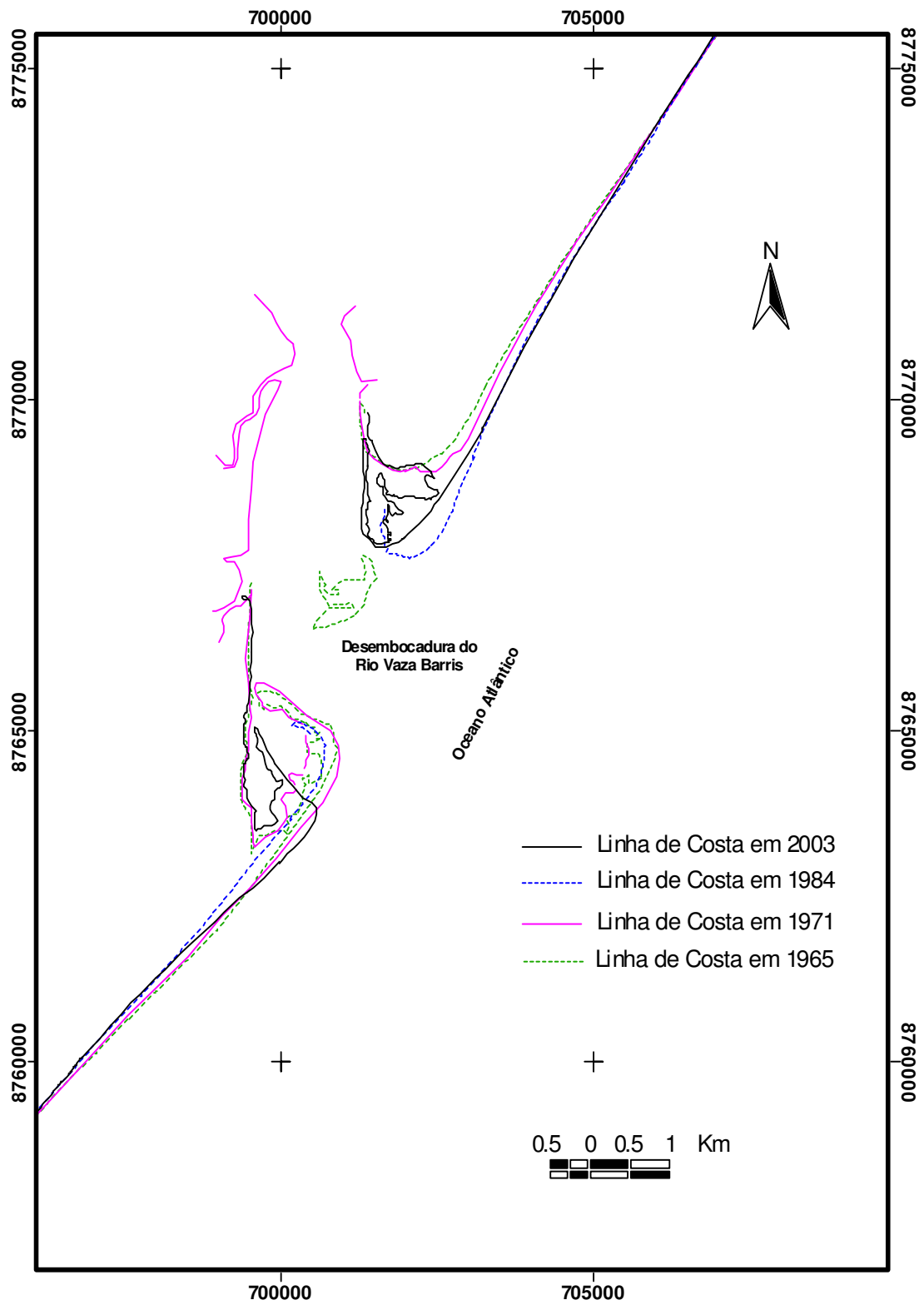


Figura 18 – Variação na posição da linha de costa entre 1965 e 2003 para a desembocadura do Vaza-Barris

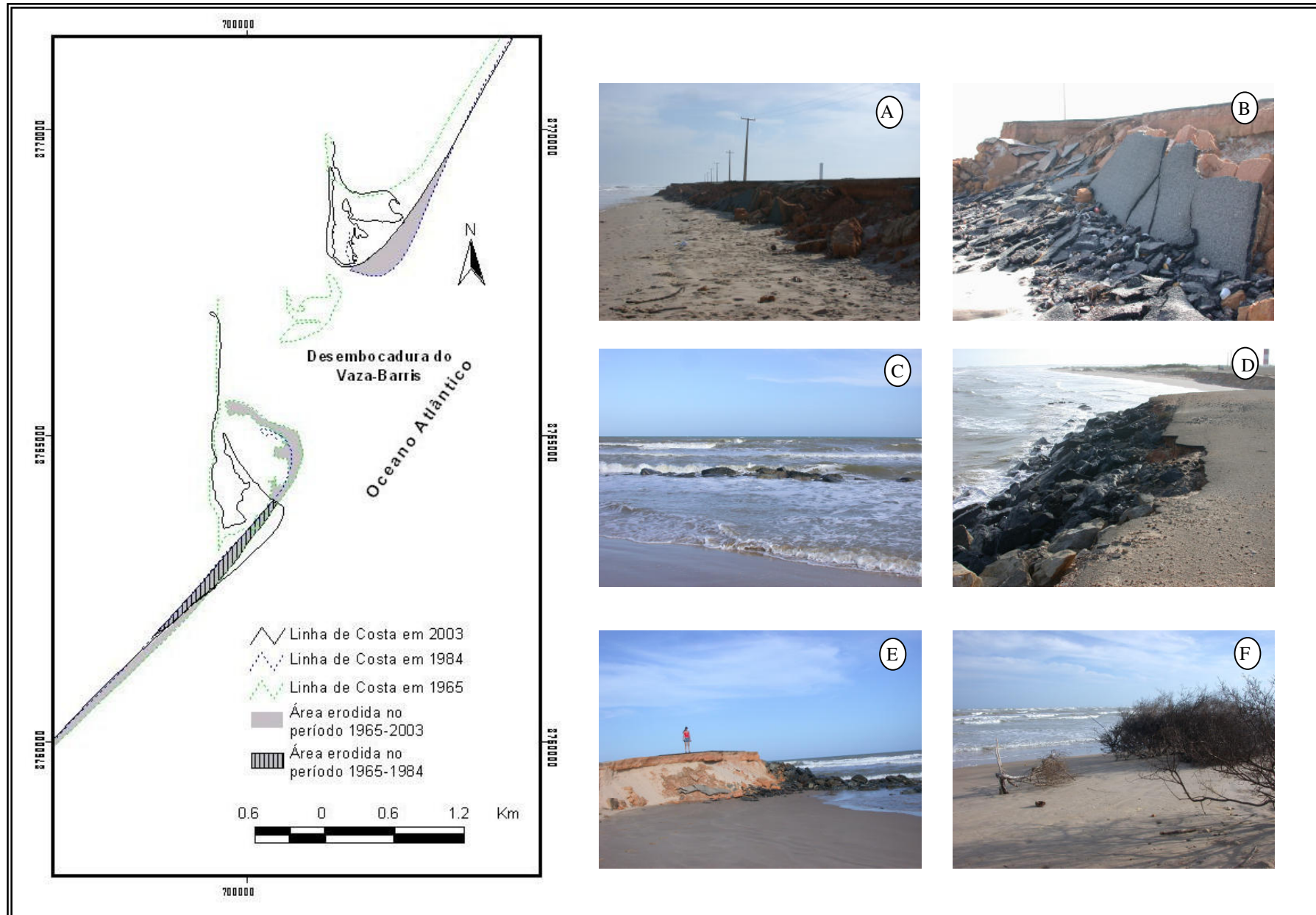


Figura 19 – Áreas afetadas pela Erosão entre 1965 e 2003; As fotos tiradas em dezembro de 2005 (A,B,C,D,E e F) ilustram a ocorrência de erosão severa erosão na margem esquerda da desembocadura do rio Vaza-Barris.

O mapeamento da orientação do talvegue do canal, nos últimos 50 anos, mostra uma tendência do mesmo em desloca-se para SW (Figura 20), assim como o observado para o rio Sergipe.

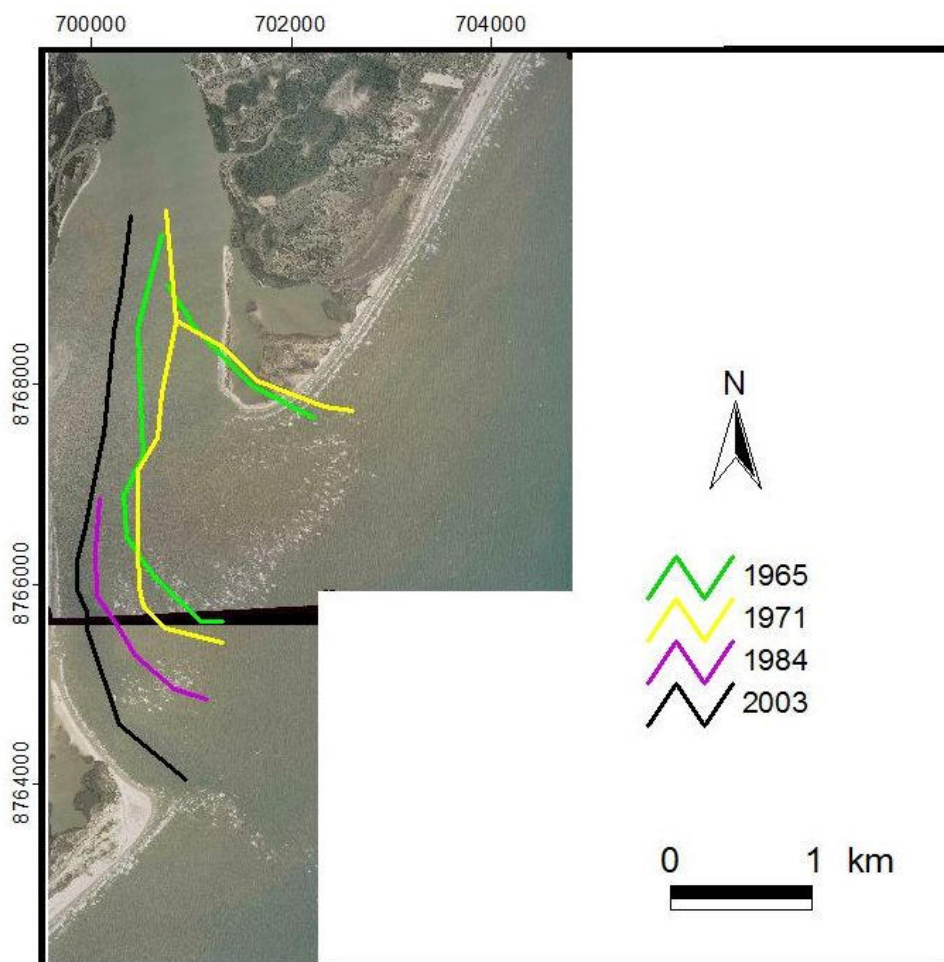


Figura 20- Posição do talvegue do canal do rio Vaza Barris nos anos de 1965, 1971, 1984 e 2003.

### 7.1.3 Desembocaduras dos rios Piauí/Real

A análise da evolução da linha de costa nas regiões adjacentes as desembocaduras dos rios Piauí/Real, foi realizada apenas na região do Estado de Sergipe, ou seja, na margem esquerda (Figura 21). A comparação das diferentes posições da linha de costa para o período de 1965-2003 mostra que o pontal arenoso que existia na margem esquerda foi totalmente destruído neste período, em decorrência da migração do talvegue do rio para NE (Figura 22). Este episódio provocou erosão severa na margem interna do lado esquerdo do rio, estando esta atualmente protegida por muros de contenção (Figura 22, fotos A,B e C).

Em contra partida a linha de costa imediatamente a NE da desembocadura, num trecho de aproximadamente 3 km, sofreu progradação, seguida por um novo trecho em erosão.

## EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA E EFEITOS EROSIVOS

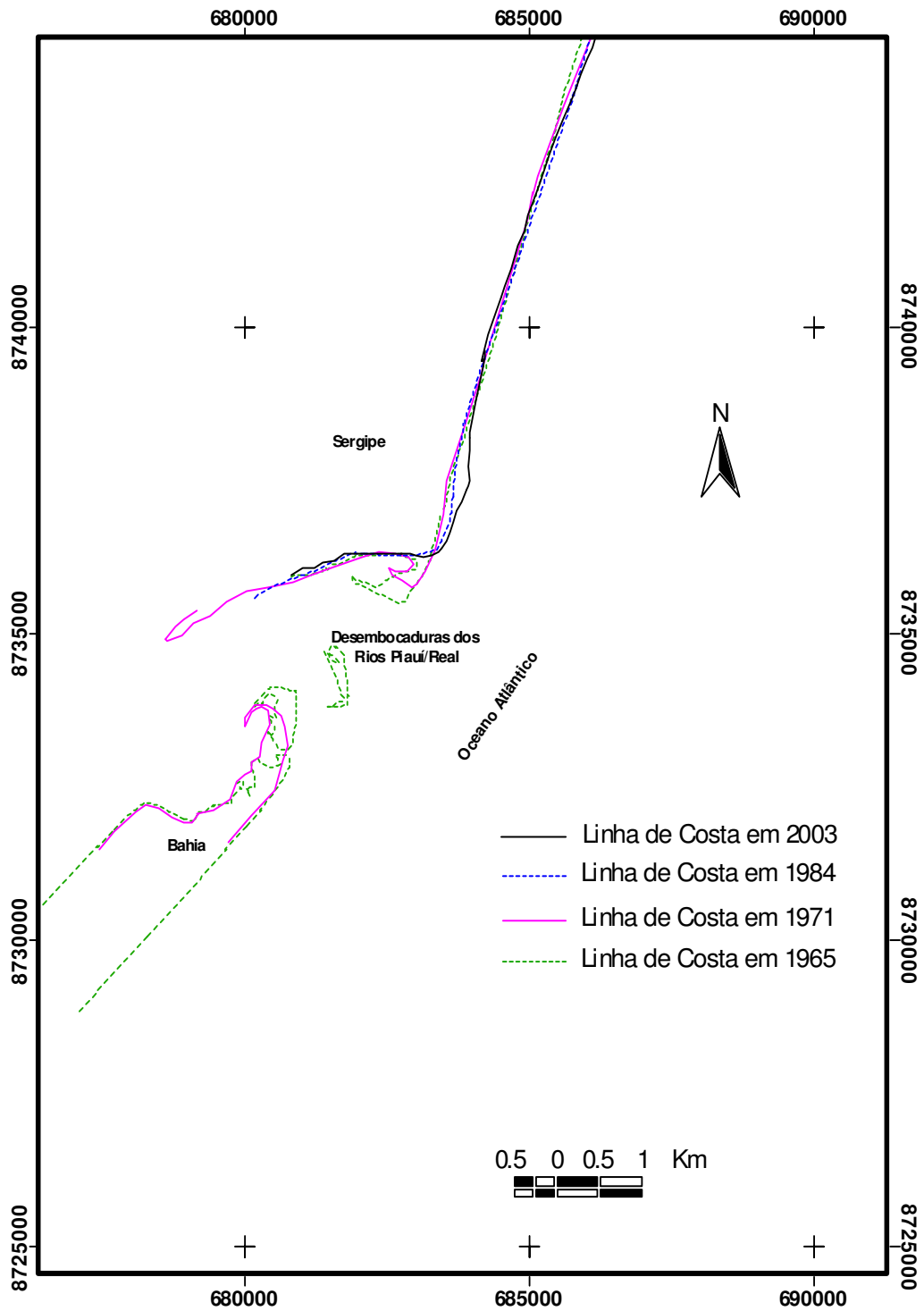


Figura 21 – Variação na posição da linha de costa entre 1965 e 2003 para as desembocaduras dos rios Piauí/Real

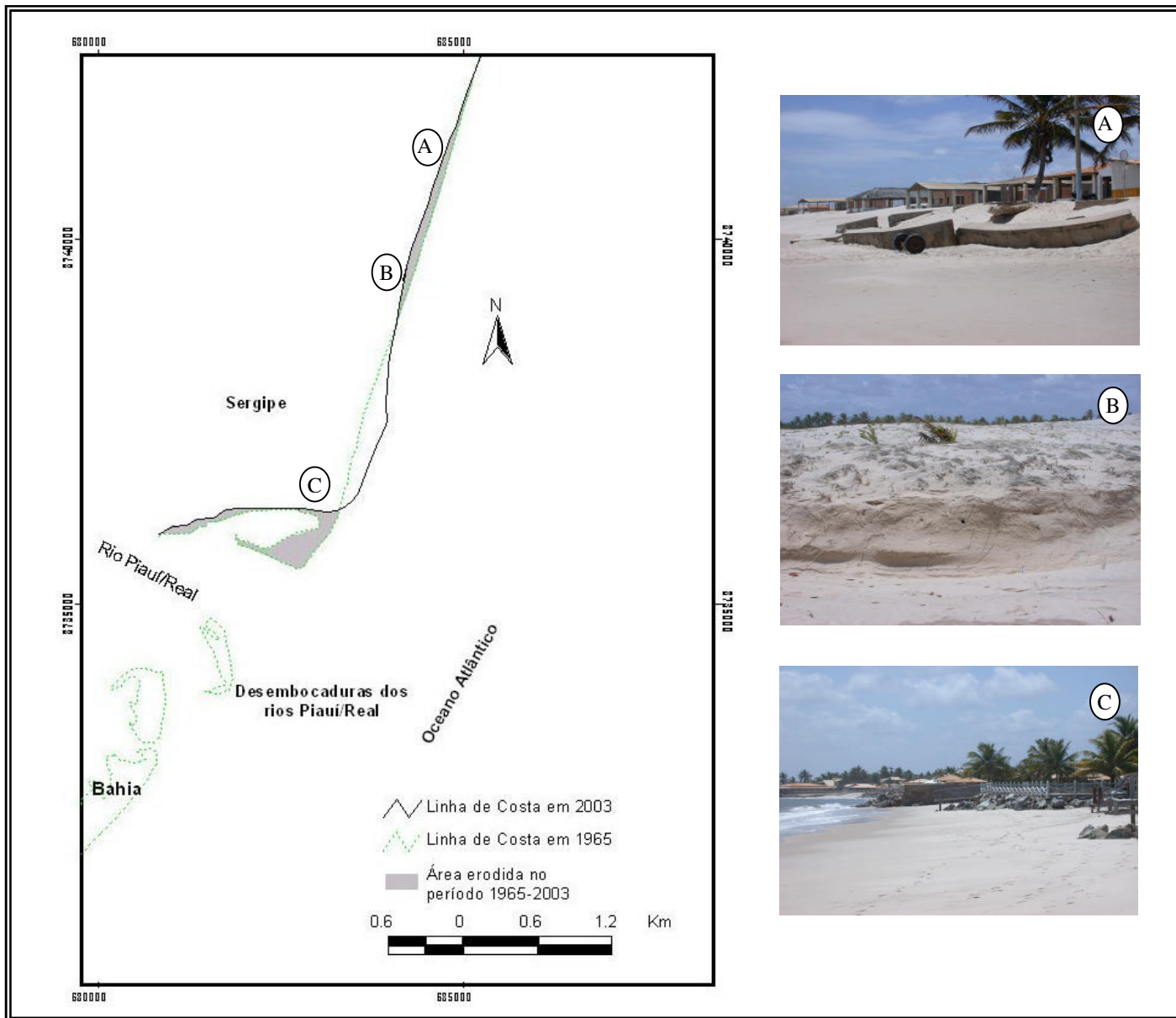


Figura 22 – Áreas erodidas no período 1965 - 2003; fotos (A e B) erosão na região a NE da desembocadura ; e (C) erosão na margem esquerda da desembocadura dos rios Piauí/Real.

## EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA E EFEITOS EROSIVOS

O mapeamento da orientação do talvegue do canal, nos últimos 50 anos, mostra uma tendência do mesmo em desloca-se para NE (Figura 23). Corroborando com os resultados da sobreposição das fotografias aéreas, as quais apontam intensos processos erosivos na margem esquerda dos rios Piauí/Real, durante o mesmo período.

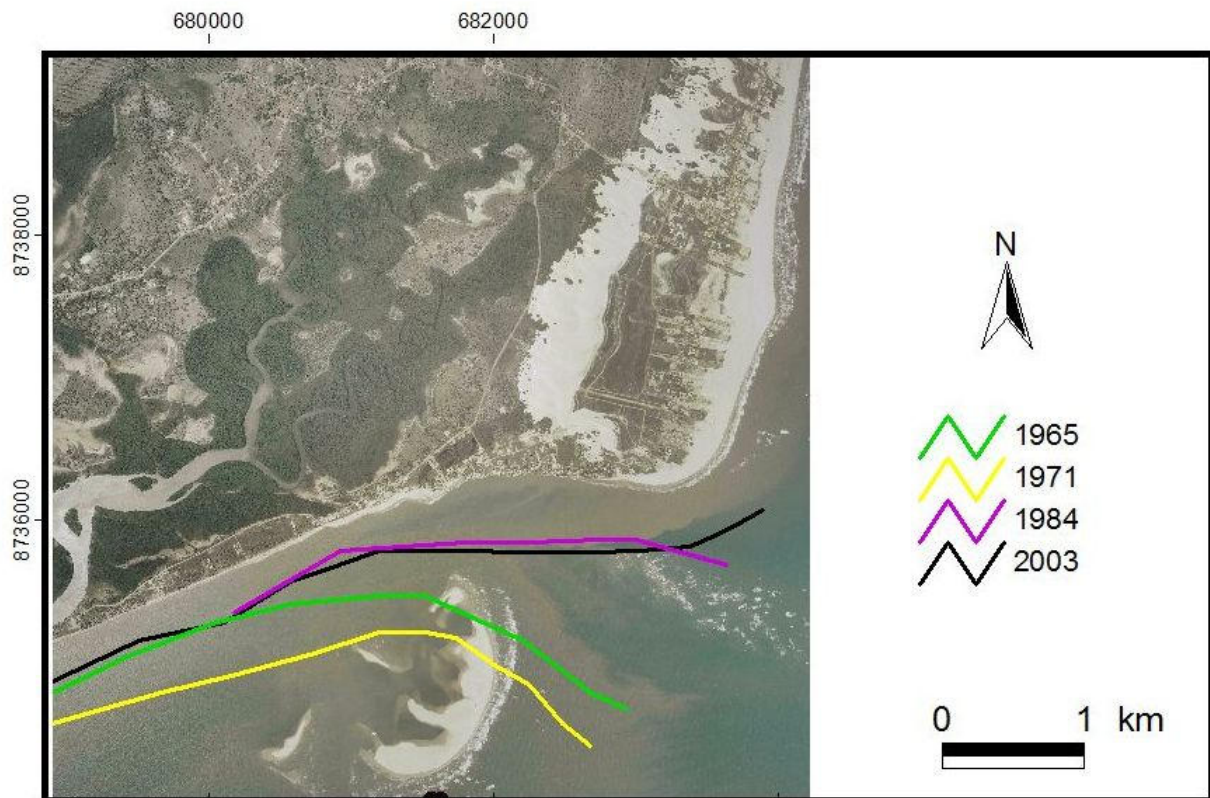


Figura 23 - Posição do talvegue do canal dos rios Piauí/Real nos anos de 1965, 1971, 1984 e 2003

## 7.2 EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA EM TEMPOS HISTÓRICOS NAS REGIÕES ADJACENTES A DESEMBOCADURA DO RIO SERGIPE

A primeira carta náutica brasileira mostrando o acesso ao porto de Aracaju e informações sobre a Barra datam de 1884, no levantamento efetuado pelo Capitão de Mar-e-Guerra Francisco da Graça. Desde então, uma série de estudos e levantamentos tem se sucedido (Monteiro 1963; IPH 1965; Cunha 1980; INPH 1987; Planave S.A. 1992; Fontes 2003; Oliveira 2003; MMA 2006) e o acervo de informações sobre a evolução da Barra do rio Sergipe é bastante rico.

A partir da análise de mapas históricos foi possível caracterizar o processo de evolução dos bancos arenosos e das mudanças morfológicas na desembocadura do rio Sergipe. Nos anos anteriores a 1894, a desembocadura do rio Sergipe tinha se deslocado de NE para SW. Em 1894, o talvegue do rio Sergipe encontrava-se na sua posição mais a sul (Figura 24 A).

Entre 1894 e 1914, foi realizado o alargamento e o aprofundamento da entrada norte, que possuía profundidades reduzidas (Fontes, 2003). Este aprofundamento resultou no fechamento da entrada sul, pelos bancos arenosos que soldaram-se ao continente, passando esta entrada a constituir um braço morto do rio Sergipe (Figura 24 B). Este processo deu origem à região conhecida como Coroa do Meio (Figura 24 C).

A partir da década de 70, a cidade de Aracaju começou a crescer para sul, se expandindo sobre a região da Coroa do Meio. A ocupação da Coroa do Meio ocorreu em um período de migração para sul do talvegue do rio Sergipe, que como visto foi deslocado artificialmente para norte. Posteriormente o deslocamento do talvegue do canal para sul resultou na erosão da margem direita do rio conforme reportado anteriormente.

Este modelo de evolução da desembocadura do rio Sergipe em que pese a interferência antrópica relacionada a dragagem, pode ser enquadrado no modelo conceitual de transpasse de sedimentos (“*bypass*”) descrito por FitzGerald, Hubbard e Nummedal (1978), onde se verifica a



ruptura do delta de maré vazante. Este processo somado à migração do talvegue do canal para sul resultou nos processos erosivos documentados anteriormente.

Ao confrontar o mapa de 1894 (Figura 24A) com o de 1823 (Figura 04) utilizado por Cunha (1980) percebe-se que durante um período de 71 anos a morfologia da desembocadura do rio Sergipe permaneceu similar nos dois mapas. No período entre 1894 e 1914, após o início da ocupação antrópica na recém criada capital Aracaju, e em decorrência das alterações antrópicas relatadas anteriormente, a morfologia da desembocadura do rio Sergipe sofreu grandes modificações.

## EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA E EFEITOS EROSIVOS

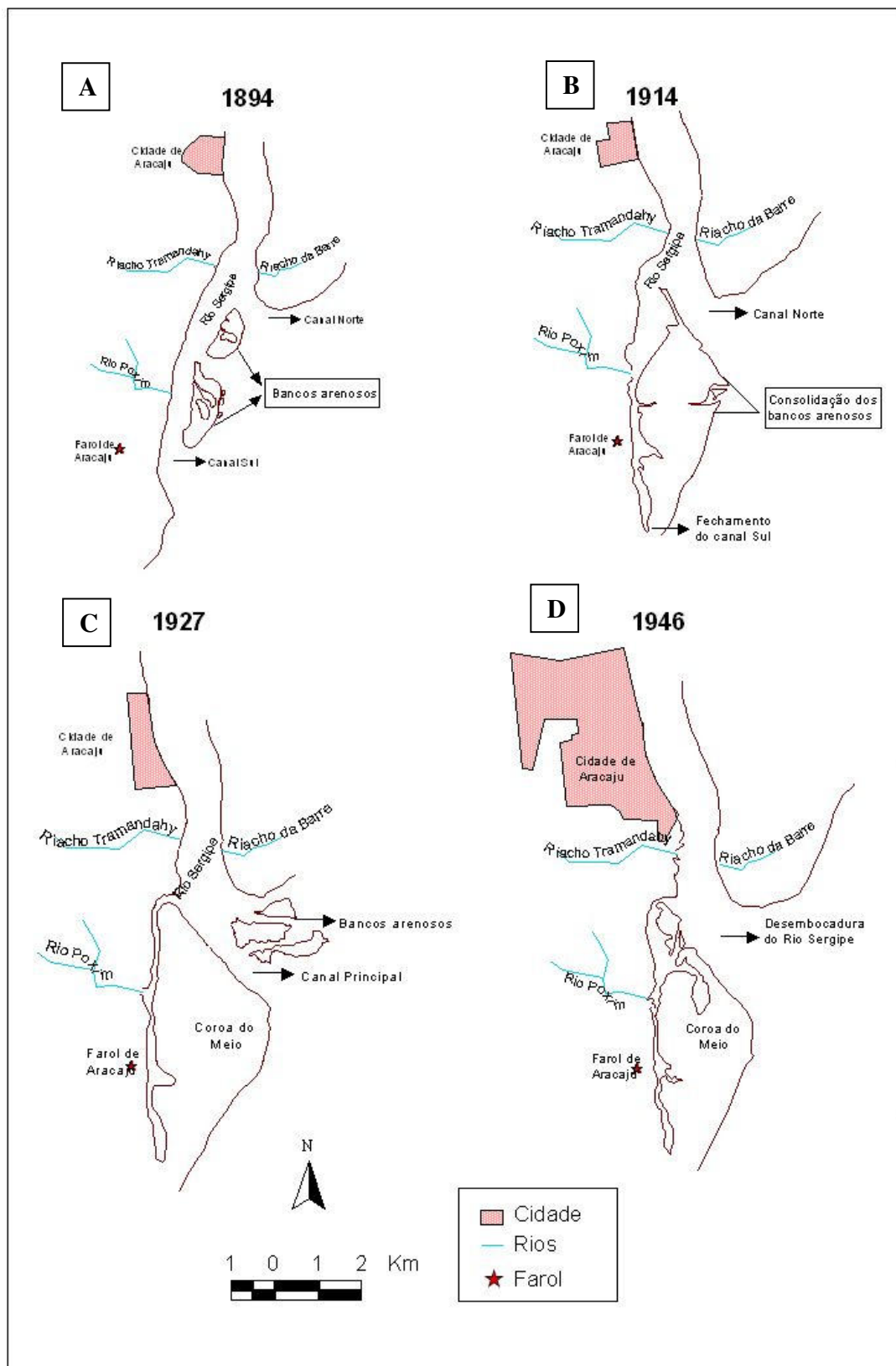


Figura 24 – Evolução esquemática da linha de costa na desembocadura do rio Sergipe no período de 1894 a 1946 (Modificado dos mapas históricos do INPH)

### **7.3 EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA A LONGO PRAZO NAS REGIÕES ADJACENTES ÀS DESEMBOCADURA DOS RIOS SERGIPE, VAZA BARRIS E PIAUÍ/REAL**

Os cordões litorâneos constituem linhas de crescimento da linha de costa, e quando preservados, permitem aos estudiosos decifrar a história do desenvolvimento da mesma (Komar, 1976).

As observações das linhas de truncamento e da orientação geral dos cordões permitem a reconstrução de antigas posições das desembocaduras, assim como a identificação de áreas com tendências a risco de erosão a longo prazo como verificado em algumas planícies costeiras brasileiras, a exemplo de Caravelas (BA), do rio Jequitinhonha (BA), do rio São Francisco (SE/AL), entre outras (Dominguez 1982, Andrade 2000, Guimarães e Dominguez 2005).

Na planície costeira do Estado de Sergipe, junto às desembocaduras dos rios Sergipe, Vaza Barris e Piauí/Real, foi possível identificar sistemas de cordões litorâneos separados uns dos outros por linhas de truncamento, o que indica mudanças na posição da desembocadura fluvial.

A análise da morfologia dos cordões e truncamento destes permitiu a reconstrução da posição da desembocadura nos três rios estudados.

No rio Sergipe foi possível a identificação de três posições pretéritas de sua desembocadura (Figura 25):

- Na etapa indicada pela letra A, o canal se encontrava orientado para SW, com evidências de erosão na linha de costa nas vizinhanças da margem direita e progradação nas vizinhanças da margem esquerda. Os cordões recurvados para SW na margem esquerda do rio indicam que o crescimento destes provocou o deslocamento da desembocadura neste sentido.

## EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA E EFEITOS EROSIVOS

- Em seguida, na etapa B, o canal encurvou-se para nordeste, causando erosão dos cordões depositados neste trecho durante a etapa A. Ainda nesta fase foi depositada uma segunda geração de cordões a SW da desembocadura.

- Na etapa C, a desembocadura do rio voltou para a posição SW, em função do crescimento recurvado dos cordões a NE.

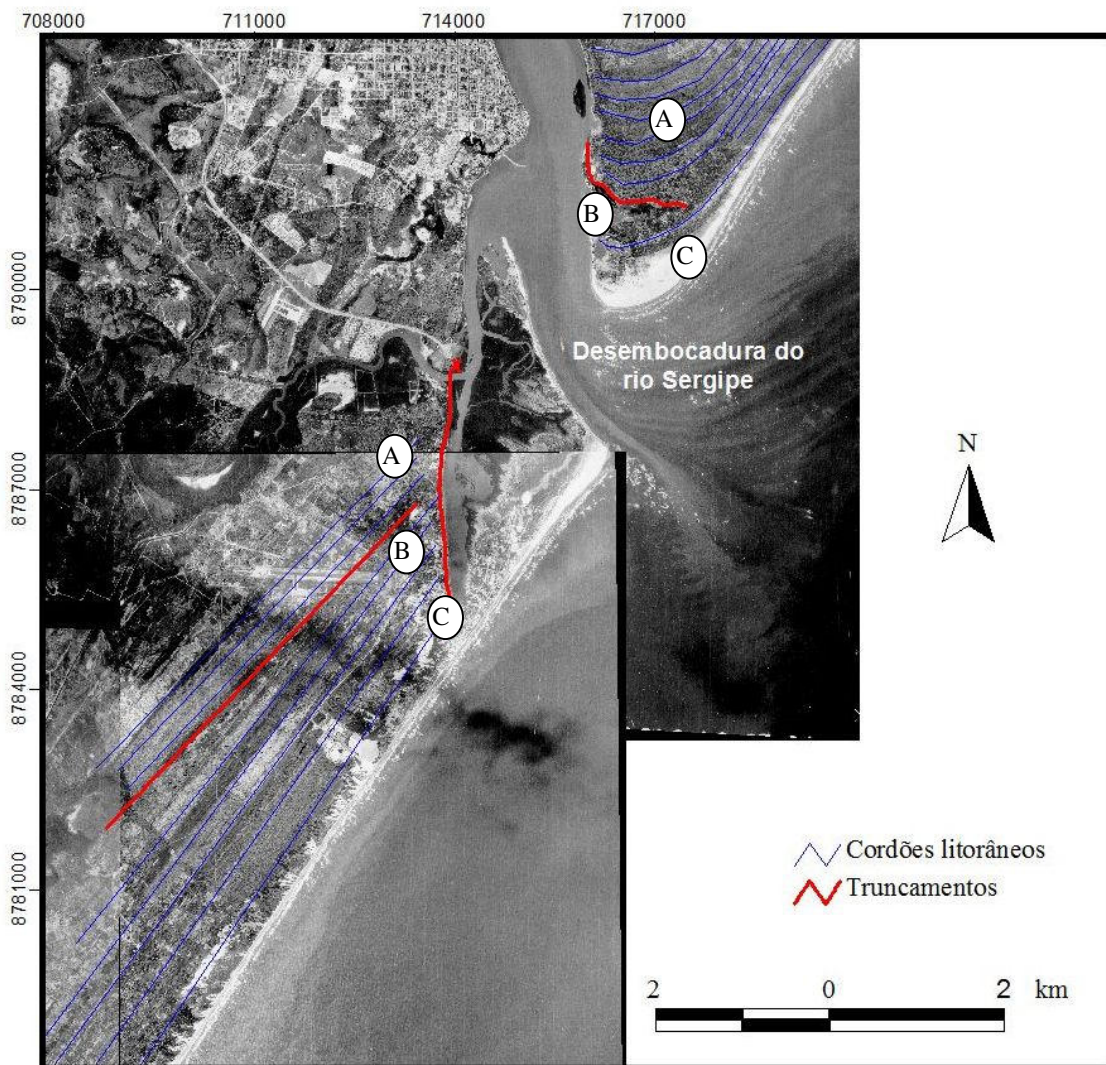


Figura 25 – Orientação dos cordões litorâneos e linhas de truncamentos, na desembocadura do rio Sergipe (fotografia aérea de 1971).

## EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA E EFEITOS EROSIVOS

No rio Vaza Barris foi possível a identificação de quatro posições pretéritas de sua desembocadura (Figura 26):

- Na etapa indicada pela letra A, a desembocadura encontrava-se a NE da atual, quando se depositaram as primeiras gerações de cordões a SW.

- Em seguida na etapa B, o rio migrou para SW erodindo a primeira geração de cordões depositados na fase A. Nesta etapa foram depositados uma nova seqüência de cordões a NE.

- Na etapa C a desembocadura migrou para NE erodindo os cordões depositados na fase B, enquanto que a SW eram depositados a segunda geração de cordões.

- Na etapa D o rio voltou a migrar para SW erodindo a segunda geração de cordões depositados na fase C, e depositando a terceira geração de cordão a NE.

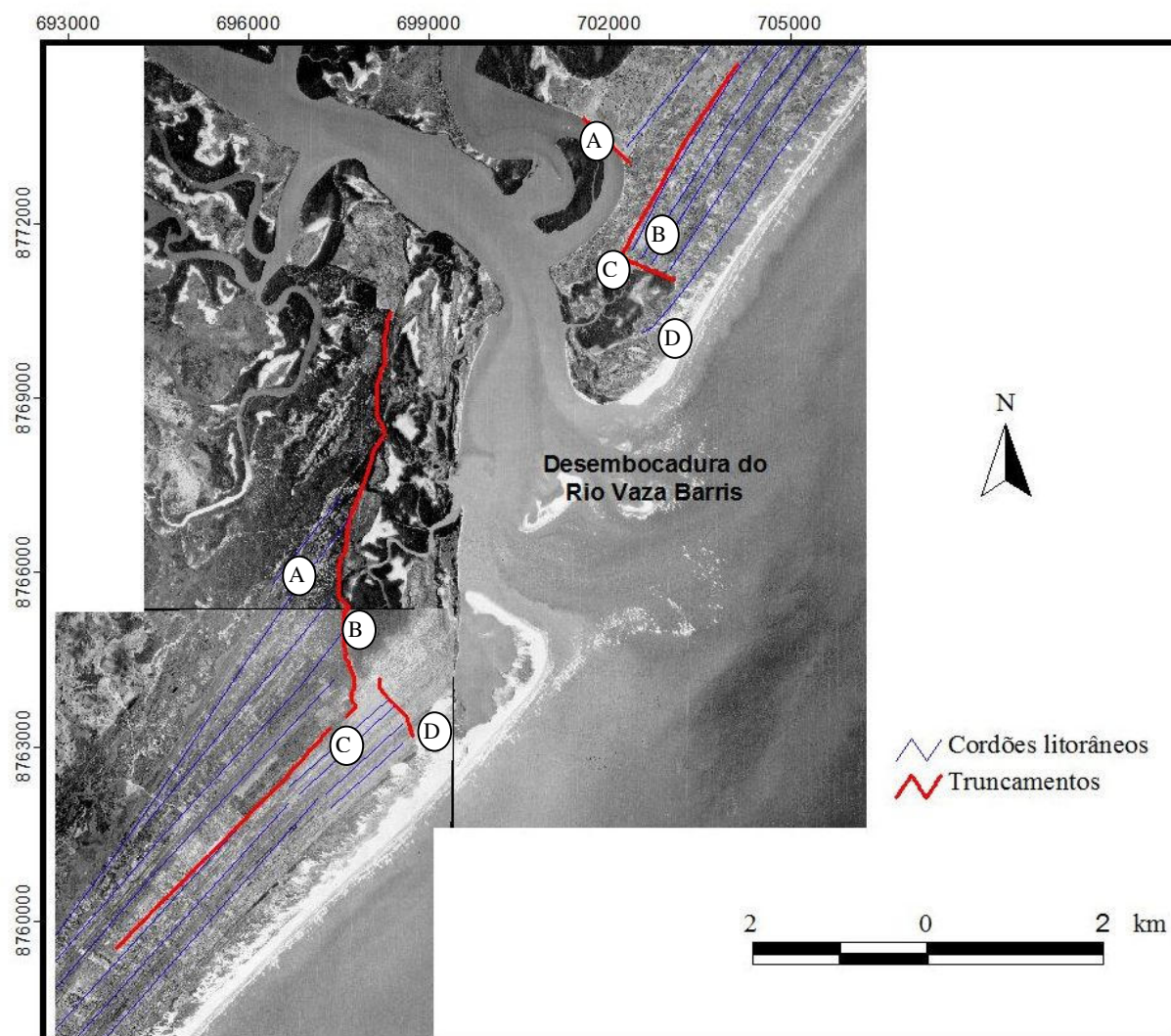


Figura 26 – Orientação dos cordões litorâneos e linhas de truncamentos, na desembocadura do rio Vaza-Barris (fotografia aérea de 1971).

## EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA E EFEITOS EROSIVOS

No rio Piauí/Real foi possível a identificação de no mínimo três posições pretéritas de sua desembocadura (Figura 27):

- Na etapa indicada pela letra A, a desembocadura encontrava-se orientada para NE, com evidências de erosão da seqüência de cordões a NE.

- Na etapa B a desembocadura estava orientada para SW, ocasionando a deposição de uma nova segunda seqüência de cordões a NE associadas à formação de um pontal arenoso nessa margem.

- Na etapa C a desembocadura migrou para NE, erodindo parcialmente o pontal arenoso.

- Na etapa D o rio voltou a migrar para SW, sendo depositadas as seqüências de cordões mais externas a NE, atualmente recobertas por dunas.

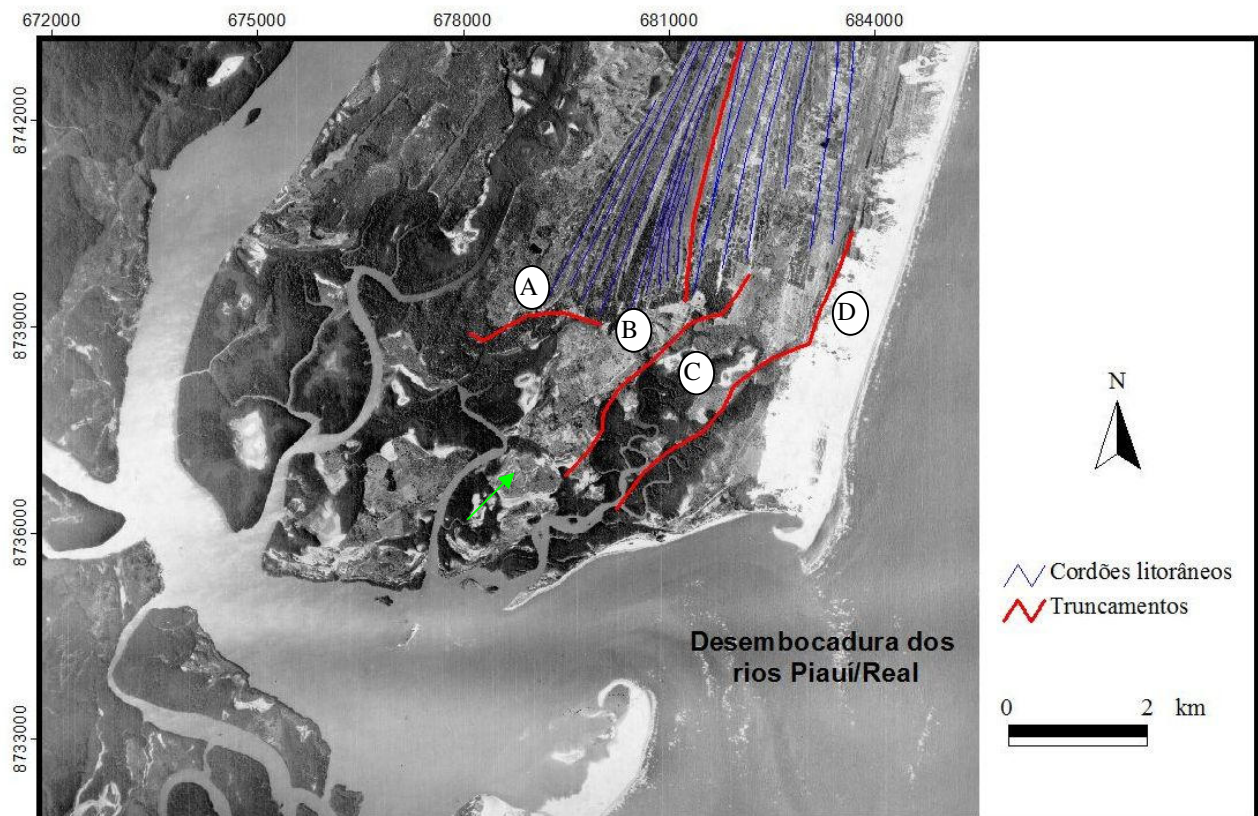


Figura 27 – Orientação dos cordões litorâneos e linhas de truncamentos, na margem esquerda da desembocadura dos rios Piauí/Real (fotografia aérea de 1971).

Os truncamentos dos cordões litorâneos identificados nessas regiões não apresentaram deslocamentos significativos, demonstrando assim que a variação da posição das desembocaduras se deu unicamente nas vizinhanças da sua posição atual. Este fato é corroborado pela continuidade longitudinal e transversal dos cordões que em nenhuma desembocadura apresentou-se interrompido por paleocanais fluviais, a não ser na adjacência da desembocadura atual.

As figura 25,26 e 27 demonstram a possível variabilidade da posição do canal fluvial nas três desembocadura.

#### **7.4 APLICAÇÕES DOS MODELOS PROPOSTO POR FITZGERALD *ET AL.* (1978) PARA AS DESEMBOCADURAS ESTUDADAS**

Estudos desenvolvidos para a linha de costa adjacente a desembocaduras fluviais dominados por ondas e canais de maré (FitzGerald 1984; Andrade 2000; Bittencourt *et al.* 2001; Cleary 2002) mostraram que, os episódios de erosão e deposição nessas regiões estão associados as mudanças na orientação do talvegue do canal e a morfologia do delta de maré vazante.

Áreas próximas as desembocaduras fluviais apresentam riscos de erosão associados à própria instabilidade das mesmas. No Estado de Sergipe, a linha de costa nas vizinhanças das desembocaduras dos rios Sergipe, Vaza Barris e Piauí/Real apresenta grande variabilidade temporal e espacial, decorrentes de fatores naturais e antrópicos (Oliveira 2003).

As superposições das fotografias aéreas (1955, 1965, 1971, 1984 e 2003) demonstram as mudanças morfológicas, em médio prazo, e confirmam a instabilidade destes trechos do litoral de Sergipe. A análise das linhas de truncamento e da orientação geral dos cordões, em longo prazo, corrobora com os resultados obtidos em médio prazo, evidenciando uma alternância na migração do canal de SW para NE e vice-versa.

A integração dos resultados possibilitou correlacionar os processos de variações morfológicas das áreas estudadas com os modelos esquemáticos de “bypass”, passagem de sedimentos, descrito por FitzGerald *et al.* (1978) (Figura 09). Nestes modelos o recuo e a progradação da linha de costa estão associados às mudanças no delta de maré vazante.

De acordo com a descrição da evolução histórica da desembocadura do rio Sergipe, descrita anteriormente, verificou-se que a mesma seguiu o modelo de ruptura do delta de maré vazante proposto por FitzGerald *et al.* (1978), diferindo deste pelo fato do desvio do canal ter sido ocasionado por intervenções antrópicas.

Adaptando os resultados ocorridos em médio prazo ao modelo de FitzGerald *et al.* (1978), foi confeccionado um modelo esquemático explicativo para o rio Sergipe (Figura 28).



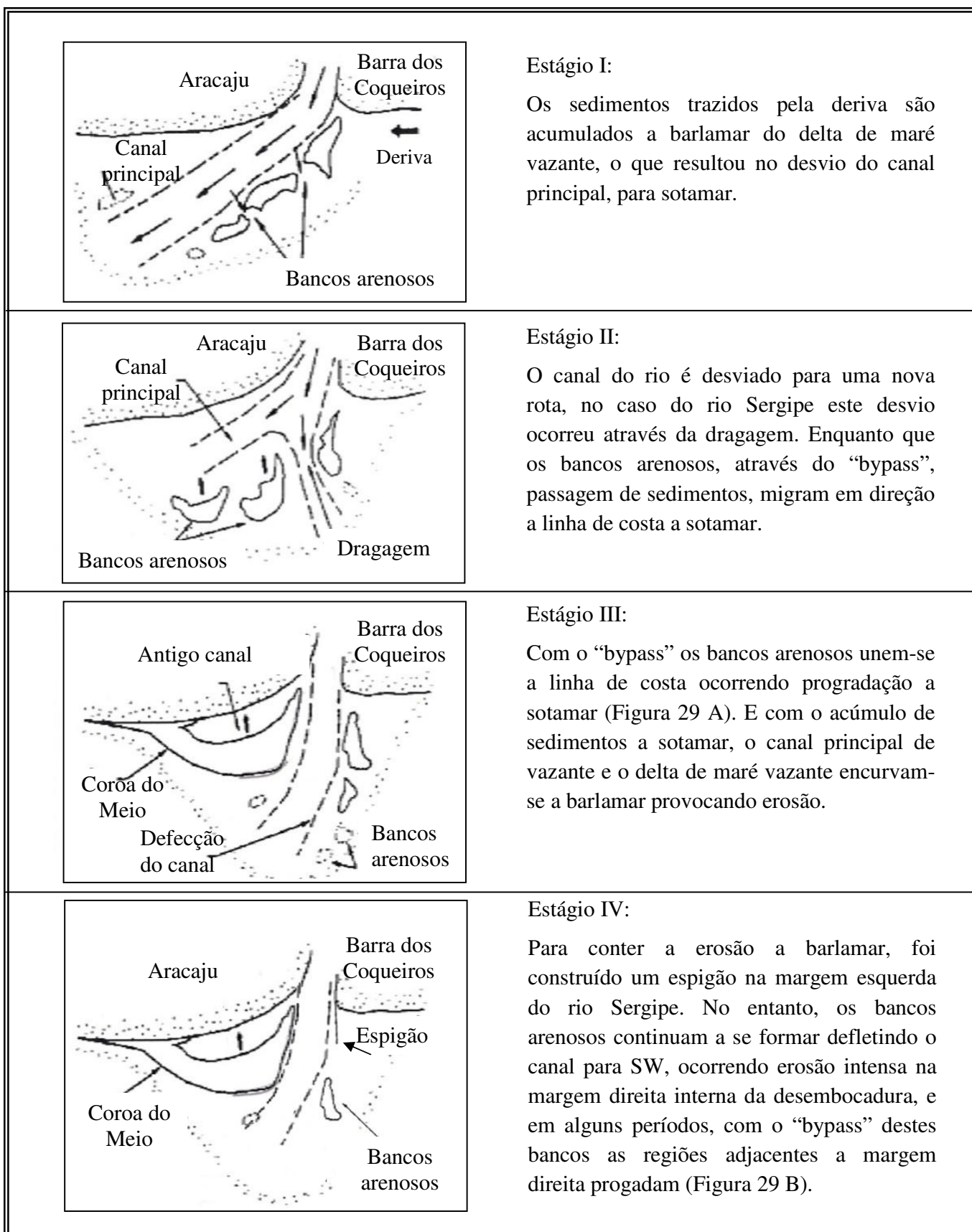


Figura 28 – Modelo esquemático explicativo das mudanças morfológicas na desembocadura do rio Sergipe, adaptado do modelo de FitzGerald *et al* (1978).



Figura 29- (A) fotografia aérea de 1984 : erosão a barlamar e progradação a sotamar e (B) “bypass” dos bancos arenosos defletindo o canal para SW e ocasionando erosão na margem direita interna do rio Sergipe(Foto: Oliveira 2003)

O modelo de ruptura do delta de maré vazante, também é aplicado para explicar as mudanças morfológicas da linha de costa nas adjacências da desembocadura do rio Vaza Barris, analisadas a médio prazo (Figura 30).

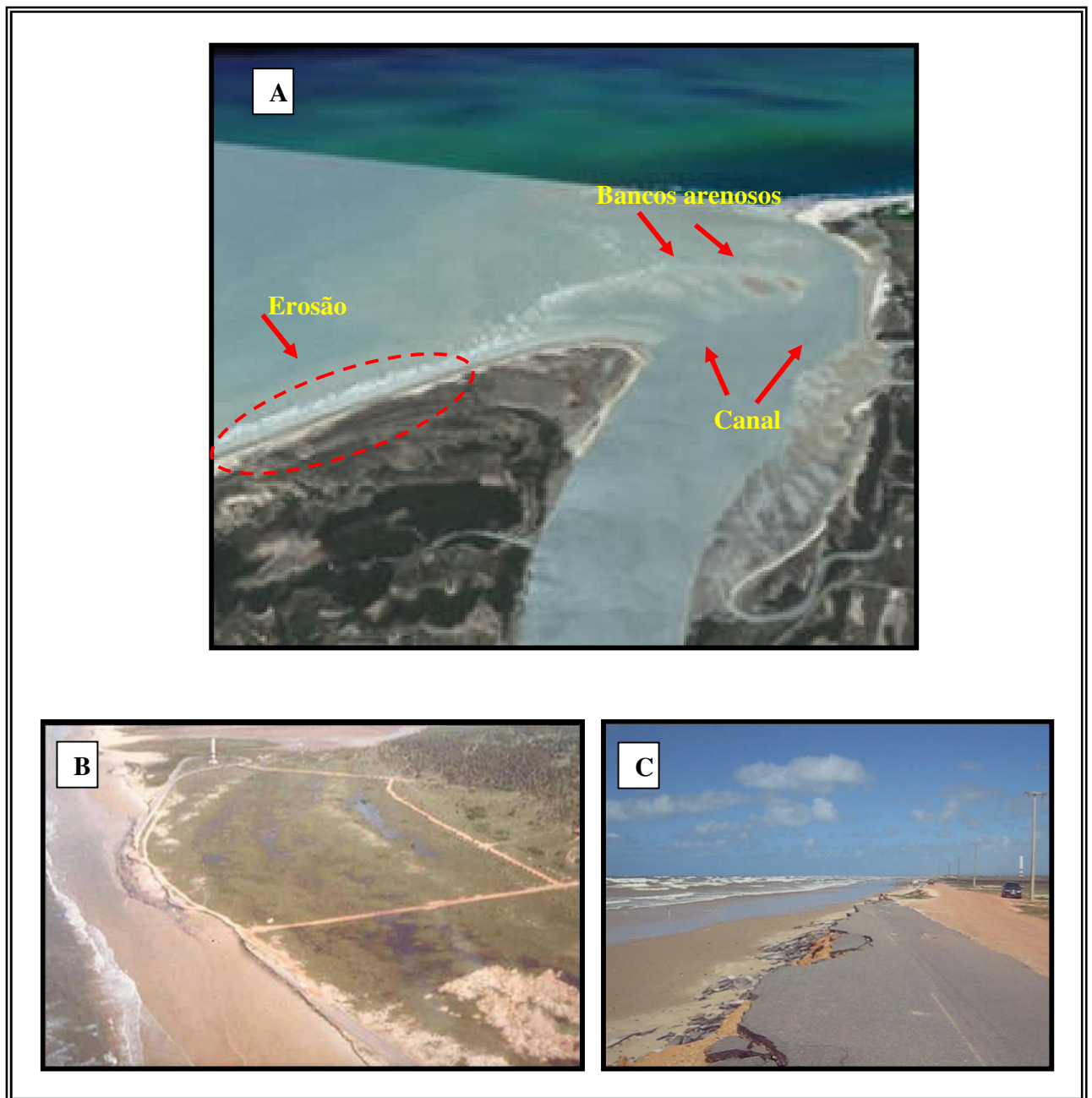


Figura 30 – (A) “bypass” dos bancos arenosos para sotamar e desvio do canal principal (modificado do Google Earth, 2008); e (B e C) erosão a barlamar da desembocadura do rio Vaza Barris (Foto B: Edvaldo Oliveira;e foto C: Fabio Martins).

A análise a médio e longo prazo demonstraram que a desembocadura do Piauí/Real segue o modelo de migração do canal, no qual os sedimentos erodidos são deslocados para sotamar, originando um pontal que obstrui parcialmente a desembocadura e provoca erosão nesta região (Figura 31).

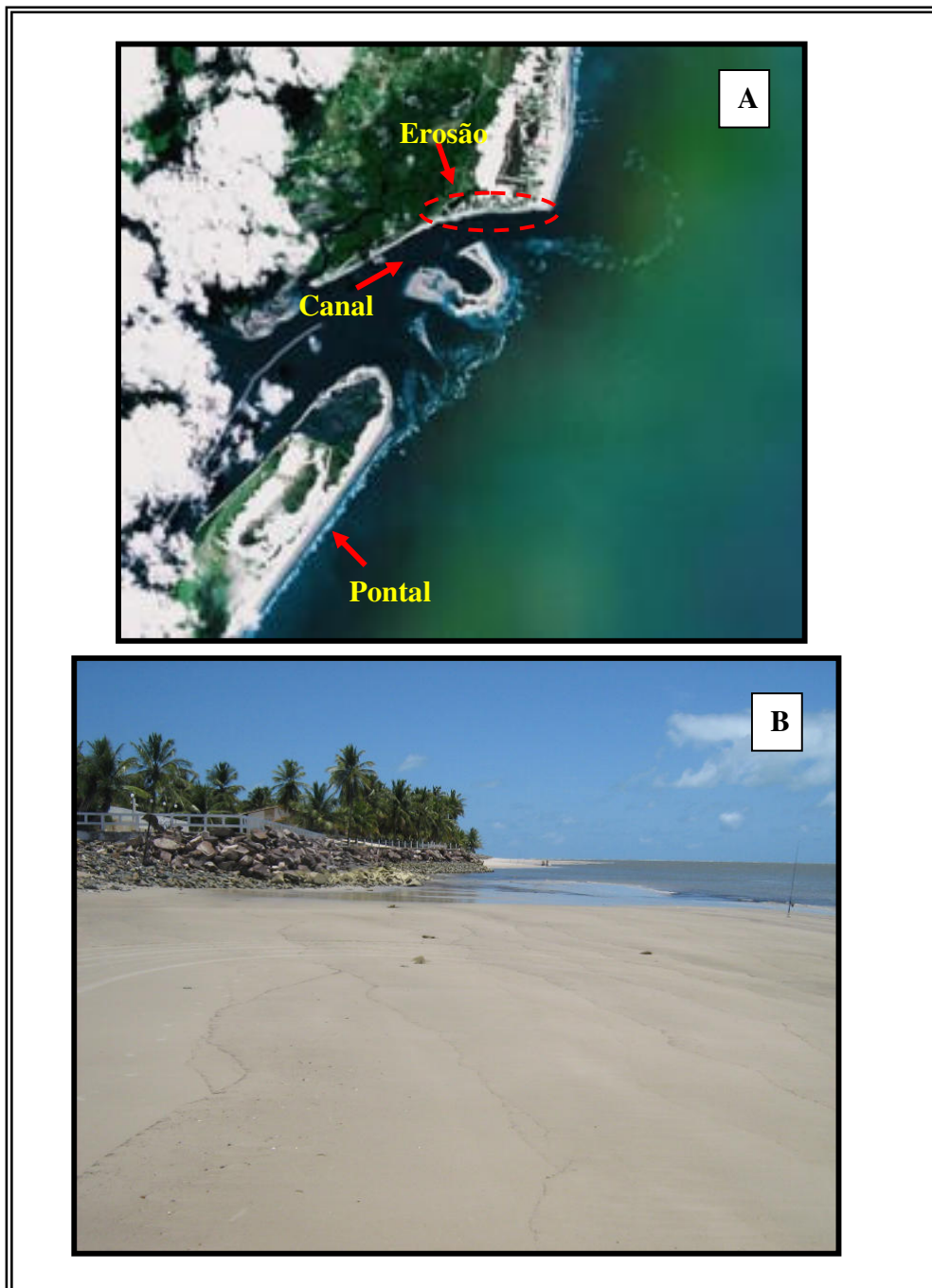


Figura 31 – (A) crescimento do pontal arenoso para NE, ocasionando a migração do canal principal e erosão a sotamar (modificado do Google Earth, 2008); e (B) muro de proteção para conter a erosão na margem esquerda da desembocadura dos rios Piauí/ Real (Foto: Fabio Martins 2007)

## **8. ÁREAS DE VULNERABILIDADE E/OU RISCO POTENCIAL NAS DESEMBOCADURAS DOS RIOS SERGIPE, VAZA-BARRIS E PIAUÍ/REAL**

Áreas próximas á desembocaduras fluviais apresentam vulnerabilidade a erosão associados à própria instabilidade das mesmas. Sendo que, quando estas áreas são urbanizadas, passam a ser classificadas como áreas de risco a erosão em decorrência dos possíveis prejuízos econômicos. A definição da extensão destes trechos de vulnerabilidade e/ou risco, deve ser feita a partir de conhecimento de eventos erosivos pretéritos ou através de estudos específicos de evolução costeira.

A partir da análise das mudanças na morfologia da linha de costa, em diferentes períodos, foi possível diagnosticar: (i) os trechos de risco, sujeitos a mudanças morfológicas na sua configuração de linhas de costas urbanizadas; e (ii) os trechos que apresentam somente vulnerabilidade, por não existir ocupação humana (Figuras 32).

Com o diagnóstico dos eventos erosivos pretéritos verificou-se que, as desembocaduras estudadas atuam nas mudanças morfológicas da linha de costa, com maior intensidade, em uma extensão de 5 km e largura de aproximadamente 500m continente a dentro. Sendo estes os limites utilizados neste trabalho para delimitar os trechos da linha de costa em vulnerabilidade e/ou risco.

Os resultados da evolução da linha de costa obtidos através da comparação das fotografias aéreas mostraram que os trechos adjacentes a desembocadura do rio Sergipe e as margens do lado esquerdo do rio Vaza Barris e Piauí/Real foram classificadas como de risco. Nestes trechos ocorreram processos de progradação e erosão estando, portanto, sujeitas a grandes variabilidades morfológicas.

A linha de costa da margem direita da desembocadura do rio Vaza Barris, por não apresentar nenhum tipo de atuação antrópica, foi classificada como vulnerável. Neste trecho a análise das fotografias aéreas mostrou uma erosão do pontal arenoso, devido à migração do canal da desembocadura para SW.

Enquadrando estes trechos da linha de costa nas classes apresentadas por Esteves (2003), teremos a desembocadura do rio Sergipe como área crítica, por apresentar-se totalmente urbanizada. E

## ÁREAS DE VULNERABILIDADE E/OU RISCO POTENCIAL

---

as desembocaduras dos rios Vaza-Barris e Piauí/Real como segmentos de ações prioritárias, devido a baixa urbanização, porém com alto índice de especulação imobiliária e intenso uso recreativo.

ÁREAS DE VULNERABILIDADE E/OU RISCO POTENCIAL

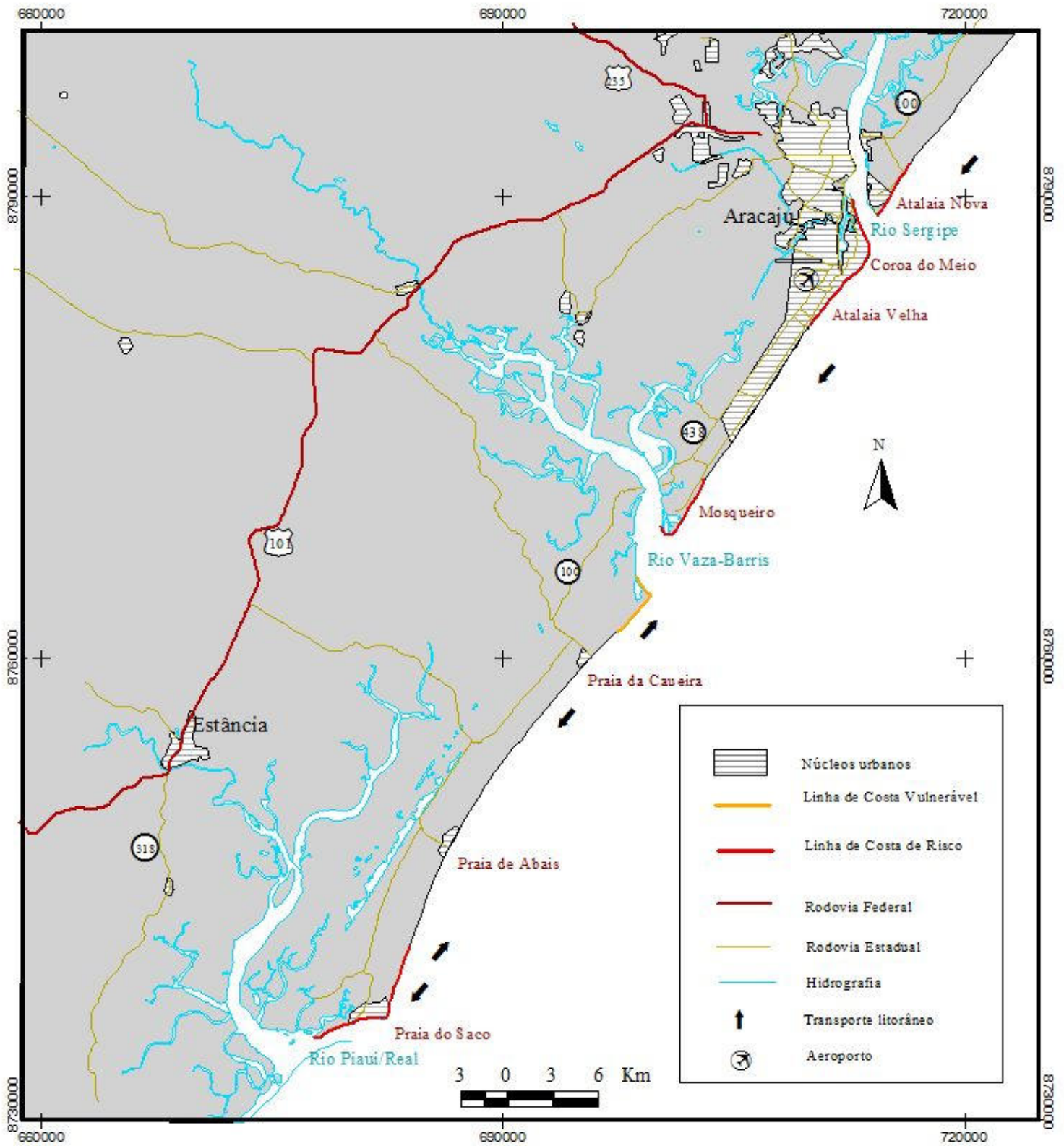


Figura 32 – Mapa dos trechos da linha de costa nas adjacências das desembocaduras dos rios Sergipe, Vaza Barris e Piauí/Real em Vulnerabilidade e/ou Risco potencial.

## **9. DISCIPLINAMENTO PARA USO DO SOLO NAS ADJACENCIAS DAS DESEMBOCADURAS INVESTIGADAS**

A linha de costa é a estreita faixa de contato da terra com o mar, na qual, a ação dos processos costeiros se faz sentir de forma mais acentuada e potencialmente mais crítica, à medida que os efeitos erosivos ou construtivos possam alterar sensivelmente a configuração a linha de costa. Torna-se necessário saber que essa região representa, também, uma faixa na qual a degradação ambiental e a construção de edificações modificam a estética da paisagem e até interferem no processo de transporte sedimentar, tanto eólico quanto marinho, provocando desequilíbrios no balanço sedimentar e conseqüentemente, na estabilidade da linha de costa (Muehe, 2001a).

As áreas estudadas por se tratarem de regiões críticas e de ação prioritária, segundo a classificação de Esteves (2003), torna-se necessário o estabelecimento de uma zona de proteção costeira contra fenômenos erosivos. De maneira que se possa orientar as ações de controle e restrições de atividades que venham alterar de forma negativa as características ambientais, estéticas e de acessibilidade à orla.

Os 50 metros estipulados por Muehe (2001a) e adotado pelo projeto Orla como faixa de segurança para a ocupação dos trechos altamente urbanizados, se mostra inviável na região mais crítica, como é o caso das regiões adjacentes a desembocadura do rio Sergipe, pois as taxas erosivas que estas regiões vêm sofrendo nos últimos 50 anos estão bem acima deste limite. Assim, propõe-se que a faixa de segurança seja estendida para no mínimo 300 m, o que representa um valor médio das alterações ocorridas nas últimas décadas.

Nos últimos dois anos, trechos da margem direita do rio Sergipe recuaram cerca de 210 metros, destruindo barracas de praias e quiosques (Figura 33). Estes tipos de construções no berma de praia devem ser proibidas para evitar prejuízos decorrentes da erosão dessas áreas.

Nos trechos ainda sem urbanização (margem direita do Vaza Barris) ou com construções antrópicas como pista, farol e barracas de praia, como ocorre nos primeiros 2 km da margem esquerda do Vaza Barris, destaca-se a necessidade de uma faixa de proteção de no mínimo 500 metros. Este limite médio é inferido a partir das taxas de mobilidade obtidas para os últimos 50 anos. Na área em



estudo não se aplica a delimitação proposta por Muehe 2001a, de 200 metros, em virtude de num período de algumas décadas, a linha de costa em determinados trechos ter sofrido alterações além deste valor.

Os pontais arenosos que bloqueiam parcialmente as desembocaduras dos rios Vaza Barris e Piauí/Real, devem ser designados como áreas de risco de ocupação, devido à instabilidade característica destas regiões.

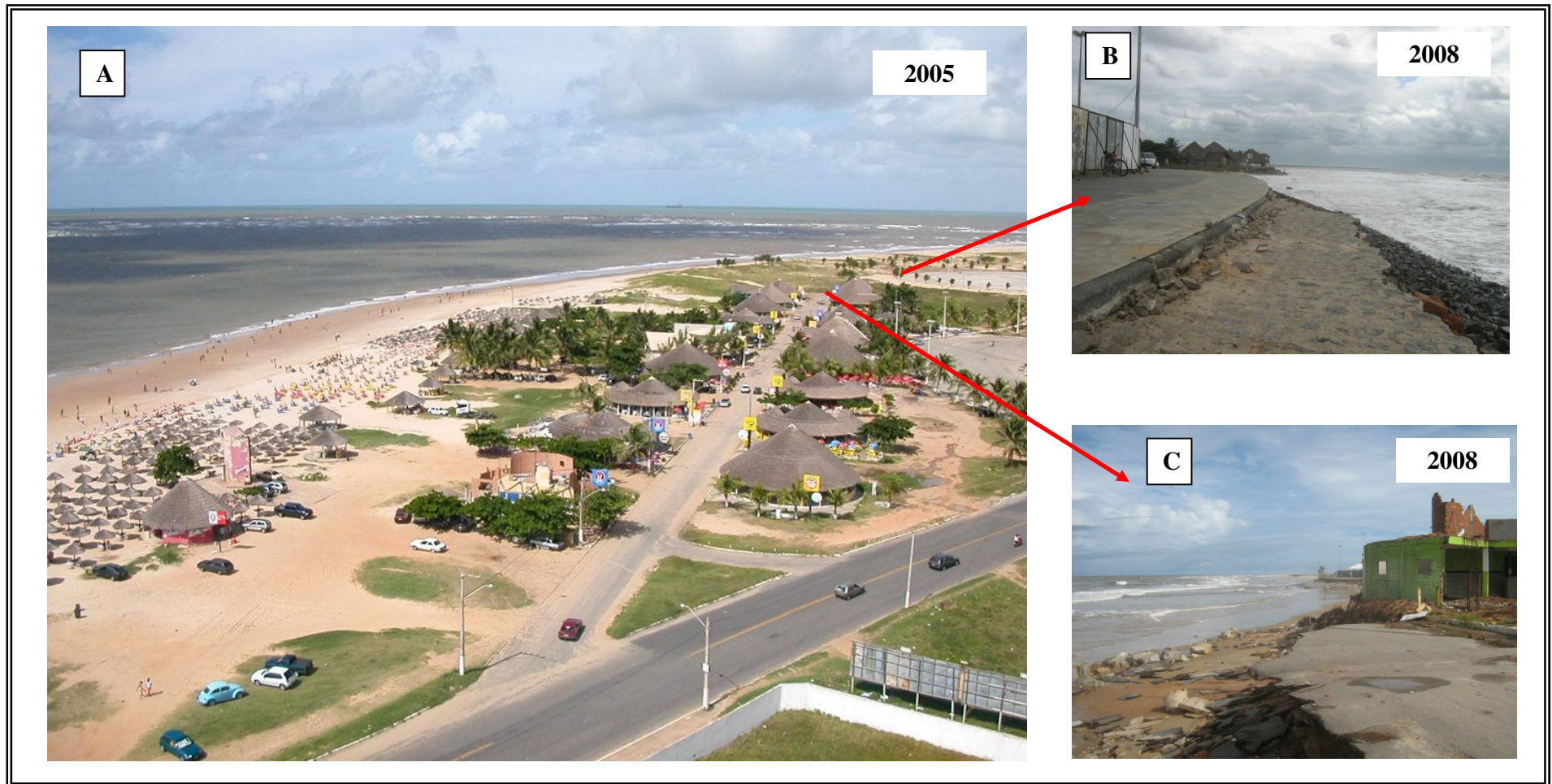


Figura 33- Erosão da Orla da Coroa do Meio: (A) posição da linha de costa em 2005 (Foto: Edvaldo Oliveira) e (B e C) atual posição da linha de costa (destruição de barracas de praia, quiosques e de parte da praça de eventos) (Fotos: Fabio Martins 2008).

## 10. CONCLUSÕES

Nos últimos 50 anos o litoral sergipano apresentou um intenso processo de urbanização. As regiões adjacentes às desembocaduras que na década de 50/60 apresentavam apenas manguezais e dunas foram ocupadas pela incorporação imobiliária, sem que fossem analisadas as conseqüências que isso traria a dinâmica costeira.

As variações verificadas entre 1950 e 2003 nas praias sob influência das desembocaduras foram atribuídas às mudanças na morfologia do delta de maré vazante, que variam sob a ação dos agentes dinâmicos, e a migração das desembocaduras. O mapeamento do talvegue do canal durante este período comprovou o deslocamento nos últimos anos das desembocaduras do rios Sergipe e Vaza Barris para SW e dos rios Piauí/Real para NE.

Na desembocadura do rio Sergipe uma análise da evolução histórica (115 anos), evidenciou a ligação intrínseca da mudança na morfologia com as alterações artificiais ocorridas no delta de maré vazante. O aprofundamento do canal NE, em 1894, exerceu um papel importante nestas mudanças. Os processos de formação e migração dos bancos arenosos deram origem a um pontal arenoso conhecido como Coroa do Meio. Esta região foi posteriormente ocupada e experimenta hoje intensos processos erosivos, em decorrência da migração lateral do talvegue do canal do rio Sergipe.

A interrupção da deriva litorânea através da construção de estruturas fixas, como molhe na margem esquerda da desembocadura do rio Sergipe, no município de Barra dos Coqueiros, tem causado problemas de desequilíbrio ambiental em função do aprisionamento dos sedimentos à montante do molhe, causando a progradação da planície costeira, e conseqüentemente déficit sedimentar a jusante, ocasionando erosão costeira na praia da Coroa do Meio.

A alta mobilidade das desembocaduras estudadas verificada a médio prazo foi corroborada com a análise dos cordões litorâneos (longo prazo).

As principais causas dos processos erosivos na desembocadura do rio Sergipe estão relacionados à atuação antrópica, através de aprofundamento do canal da desembocadura e obras de engenharia. Outras causas estão ligadas a processos naturais representados nos trechos em estudo principalmente pela migração lateral das desembocaduras e pelas mudanças no delta de maré vazante, através do “bypass”.

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho foi possível correlacionar as mudanças morfológicas das regiões adjacentes as desembocaduras estudadas com os modelos de mobilidade do canal proposto por FitzGerald *et al.* (1978). As desembocaduras dos rios Sergipe e Vaza Barris seguem o modelo de ruptura do delta de maré vazante e a desembocadura dos rios Piauí/Real segue o modelo de migração do canal.

Pelo fato da área da desembocadura do rio Sergipe ser bastante urbanizada, sua linha de costa foi classificada com de risco. Sendo desta forma classificada como área crítica, o que requer uma atuação imediata de planejamento.

As margens do lado esquerdo do rio Vaza Barris e Piauí/Real foram classificadas como de risco. A margem direita da desembocadura do rio Vaza Barris, por não apresentar nenhum tipo de atuação antrópica, foi classificada como vulnerável. No entanto, todos os três trechos foram enquadrados como segmentos de ações prioritárias devido ao alto índice de especulação imobiliária e intenso uso recreativo.

Nas áreas críticas, onde a urbanização esta consolidada, podem ser propostas aos moradores uma orientação para não avançarem seus terrenos em direção ao mar. Assim como a construção de quiosques na berma da praia deveriam ser proibida.

Nas áreas urbanizadas poderia ser proposta uma faixa de proteção de no mínimo 300m metros. Na margem esquerda do Vaza Barris, destaca-se a necessidade de uma faixa de proteção de no mínimo 500 metros.

**11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ADEMA. 1984. Levantamento da flora e caracterização dos bosques de mangue do estado de Sergipe. Governo do Estado de Sergipe. Convênios: FINEP – Financiadora de estudos e projetos, SUDEPE – Superintendência do desenvolvimento da pesca e SUDENE – Superintendência do desenvolvimento do Nordeste, 134 p.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS 2008. Plano Diretor de desenvolvimento de Recursos Hídricos. Disponível em <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acessado em 21 de Julho 2008.
- Andrade A.C.S. 1994. Geologia da região costeira de Caravelas-Bahia: contribuição ao planejamento ambiental. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 152p.
- Andrade A.C.S. 2000. Evolução Quaternária da Planície Costeira de Caravelas – extremo sul do estado da Bahia. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 102 p.
- Barbosa L.M., e Dominguez J.M.L. 2004. Coastal fields at the São Francisco river strandplain, Northeastern Brazil: morphology and environmental controls. *Earth Surface Processes and Landforms*, Leeds, **29**(4): 443-456.
- Bird E. 1993. Submerging Coasts – The effects of a Rising Sea Level on Coastal Environments. John Wiley & Sons. Earthwatch, p.184.
- Bhattacharya, J.P., e Giosan, L. 2003. Wave Influenced Deltas: Geomorphological Implications for Facies Reconstruction. *Sedimentology*, **50**: 187-210.
- Boothroyd, J. C. 1980. Mesotidal Inlets and Estuaries. In: R. A. Davis (ed.). *Coastal Sedimentary Environments, Mesotidal Inlets and Estuaries*, p.: 286 – 360.
- Bruun, P. 2005. Tidal inlets on Littoral Drift Shores. In. Port and Coastal Engineering Developments in Science and Technolog. *Journal of Coastal Research Special*, **46**: 305-450.

- Bittencourt A.C.S.P., Oliveira M.B. de, Dominguez J.M.L. 2006. Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro – Sergipe. *In: Dieter Muehe (Org). Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro. 2 ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p.: 213-218.*
- Bittencourt A.C.S.P., Martin L., Dominguez J.M.L., Ferreira Y.M.A. 1983. Evolução Paleogeográfica Quaternária da Costa do Estado de Sergipe e da Costa Sul do Estado de Alagoas. *Revista Brasileira de Geociências*, p.: 93-97.
- Bittencourt A.C.S.P., Lessa G.C., Dominguez J.M.L., Martin L., Vilas Boas G.S.,Farias F.F. 2001. High and Low Frequency Erosive and Constructive Cycles in Estuarine Beaches: an example from Garcez Point, Bahia / Brazil. *An. Acad. Bras. Cienc.*, **73** (4): 599-610.
- Carvalho M.E.S. 2004. A Carcinicultura na Zona Costeira do Estado de Sergipe. Dissertação de Mestrado, Núcleo de Pós-Graduação de Geografia, Universidade Federal de Sergipe, 154 p.
- Chagas M.C.S das 2002.A Pluviosidade e a Agricultura nas Zonas Climáticas da Bacia Hidrográfica do Vaza-Barris em Sergipe. Dissertação de Mestrado. Núcleo de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Sergipe.
- CERC (Coastal Engineering Research Center). 1984. *Shore Protection Manual*. U.S. Army Corps of engineers, Washington, D.C., V.I, 597p.
- Cleary, W.J. 2002. Variations in Inlet Behavior and Shoreface Sand Resources: Factors Controlling Management Decisions, Figure Eight Island, NC, USA. *Journal of Coastal Research*, **38**: 148-163
- Cunha F.M.B. 1980. Aspectos morfológicos da costa de Sergipe ao sul de Aracaju.Rio de janeiro, Petrobrás, *Boletim Técnico*, **23**: 73-80.
- Dal Cin R., Simeoni U. 1994. A Model for Determining the Classification Vulnerability and Risk in the Souther Coastal Zone of the Marvhe (Italy). *Journal of Coastal Research, Florida*, **10**(1): 18-29.
- DHN. 2001. **Tábuas de Marés**. Marinha do Brasil. Diretoria de Hidrografia e Navegação.

- Diniz R.F. 2002. A Erosão Costeira ao Longo do Litoral Oriental do Rio Grande do Norte: Causas, Conseqüências e Influência no Processo de Uso e Ocupação da Região Costeira. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade federal de Bahia, 180 p.
- Dominguez J.M.L. 1982. Evolução Quaternária da Planície Costeira do rio Jequitinhonha (BA): Influência das variações do nível do mar e da Deriva litorânea de sedimentos. Dissertação de Mestrado, Instituto de geociências, Universidade federal da Bahia, 79 p.
- Dominguez, J.M.L., Bittencourt,A.C.S.P., e Martin, L. 1983. O papel da Deriva Litorânea de Sedimentos Arenosos na Construção das Planícies Costeiras Associadas às Desembocaduras dos rios são Francisco (SE/AL), Jequitinhonha (BA), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ). *Revista Brasileira de Geociências*, **13**: 98-105.
- Dominguez J.M.L., Bittencourt A.C.S.P., Martin L. 1992. Controls on Quaternary coastal evolution of the east-northeastern coast of Brazil: roles of sea-level history, trade winds and climate. *Sedimentary Geology*, **80**: 213-232.
- Dominguez, J. M. L., *et.al.* 1999. Sediment Dynamics of River Mouths in Wave Dominated Environments and Shoreline Erosion. *In*: VII ABEQUA. CD Room.
- DPA/MA. 2001. Departamento de Pesca e Aqüicultura/Ministério da Agricultura, Pecuária e abastecimento. Plataforma Tecnológica do Camarão Marinho Cultivado, Brasília,276 p.
- Esteves L.S. 2003. Identificação de áreas Prioritárias para Gerenciamento Costeiro no Rio Grande do Sul. *In*: II Congresso sobre planejamento de Gestão da Zonas Costeiras dos Países de expressão Portuguesa, Recife, CD Room.
- FitzGerald D. M., Hubbard D.K., Nummedal,D. 1978. Shoreline Changes Associated With Tidal Inlets along the South Carolina Coast. *Amer. Soc. of Civil Eng.* p.: 1973 - 1994

- FitzGerald, D. M. 1984. Interactions Between the Ebb-tidal Delta and Landward Shoreline Prince Inlet, South Carolina. *Journal of Sedimentary Petrology* **54**(4): 1303 - 1318
- FitzGerald, D. M. 1988. Shoreline Erosional-Depositional Processes Associated With Tidal Inlets. *In: Aubrey D.G. & Weushar L. (eds.) Hydrodynamics and Sediment Dynamics of Tidal inlets: p.:186-225.*
- Fontes, A.L. 2003. Aspectos Morfológicos da Planície Estuarina do Rio Sergipe. *In: IX Congresso ABEQUA, Cd Room.*
- Fontes, A.L. 2003. O Quaternário Costeiro e o Município de Aracaju (SE). *In: IX Congresso ABEQUA, Cd Room.*
- Fontes A.L. 1999. Aspectos evolutivos atuais do litoral norte do estado de Sergipe. *In: VII Congresso ABEQUA, CD Room.*
- Freire F. 1977. História de Sergipe. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 124 p.
- Gibeaut J.C., Davis Jr. R.A. 1993. Statistical Geomorphic Classification of Ebb-tidal Deltal along the West – Central Florida Coast. *Journal Coastal Research*, **18**: 165-184.
- Guimarães J.K., Dominguez J.M.L. 2005. Relação Morfodinâmica entre Orientação da Linha de Costa e deriva Litorânea na Evolução do Delta do Rio São Francisco. *In: X Abequa, Guarapari, CD Room.*
- Hayes, M. O. 1975. Morphology of Sand Acumulations in Estuaries. *In: Cronin, L.E. (ed.), Estuarine Research*, **2**: 3-22.
- INP (Instituto de Pesquisa Hidráulicas) 1965. Projeto de Estudos na Natureza e em Modelo reduzido para Manutenção de Canal de Acesso através da Barra de Aracaju. Conselho de Desenvolvimento de Sergipe, Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.



- INPH. 1987. Estudo em Modelo Reduzido de Fundo Móvel da Barra do Rio Sergipe – Aracaju/SE. Relatório Final. Rio de Janeiro.
- Komar P.D. 1976. Beach processes and sedimentation. Prentice-Hall. In.: Englewood Cliffs, New Jersey, 429 p.
- Krueger, C.P.; Boder, V.; Seeber, G.; Soares, C.R. 1999. Aplicações do DGPS Preciso em tempo real no âmbito marinho. *Revista Brasileira de Cartografia*. **51**: 59-71.
- Lins-de-Barros F. 2005. Risco e Vulnerabilidade à Erosão Costeira no Município de Maricá, Rio de Janeiro. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 144 p.
- Martin L., Bittencourt A.C.S.P., Vilas Boas G.S., Flexor J-M. 1980. Mapa geológico do quaternário costeiro do Estado da Bahia - Esc. 1:250.000. Salvador-BA, SME/CPM. 60p. (Texto explicativo e mapa).
- Monteiro M. G. 1963. *A Restinga da Atalaia(uma contribuição ao estudo do litoral Sergipano)*. Livraria Regina limitada, Segipe, 51 p.
- Moreira P.R., Cbussu A.M. (Eds) 1969. *Estudos de Variabilidade para Organização do Porto de Aracaju*, Ministério do Transporte, 109 pp.
- Mott L.R. de B. 1986. Sergipe del Rey; população, economia e sociedade. Fundesc, 204 p.
- Muehe D. 2001. Critérios morfodinâmicos para o estabelecimento de limites da orla costeira para fins de gerenciamento. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, **1**:35-44.
- Muehe D. 2004. Erosion in the Brazilian Coastal Zone: Na Overview. *Journal of Coastal Research*, Special Issue, **39**.

- Oertel, G. F. 1975. Post Pleistocene Island and Inlet Adjustment Along the Georgia Coast. *Journal of Sedimentary Petrology*, **45**(1): 150 - 159
- Oliveira, M.B. 2003. Caracterização Integrada da Linha de Costa do Estado de Sergipe – Brasil. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 102p.
- Pitombeiras, E.S.1996. Erosão Costeira Provocada por Migração de Embocadura na Praia do Pecém Ceará. *A Água em Revista*, **4**(7): 49-60.
- PLANAVE . 1992. Evolução das Praias de Atalaia Nova, Atalaia Velha e da Barra do rio Sergipe- Modelo matemático. Relatório Final. Rio de Janeiro.
- Rodrigues T.K., Silva M.G., Andrade A.C. 2004. Propostas de uso Recreativo nas Praias do Município de Ilhéus – BA com Base nas Características Ambientais. Monografia de Graduação, Universidade Estadual de Santa Cruz, 65 p.
- Short A. 2000. Beach Systems. Beach and shoreface Morphodynamics Course. Universidade do Vale do Itajaí, Santa Catarina, p.:1-10
- Souza C.R., Suguio K. 2003. The Coastal Erosion Risk Zoning and The São Paulo State Plan for Coastal management. *Journal of Coastal Research Special Issue*, **35**: 530-547.
- Souza, C.R.G., *et al.* 2005. Praias Arenosas e erosão Costeira. *In.* Souza, C.R.G., Suguio, K., Oliveira, A.M.S., Oliveira, P.E (eds.) *Quaternário do Brasil*, p.: 130-152.
- Viana J.B. 1972. Estimativa do Transporte Litorâneo em torno da Embocadura do rio Sergipe. *Instituto de Pesquisas Hidroviárias*. Belo Horizonte, 35 p.
- Villwock, J.A., *et al.* 2005. Praias Arenosas e erosão Costeira. *In.* Souza, C.R.G., Suguio, K., Oliveira, A.M.S., Oliveira, P.E (eds.) *Quaternário do Brasil*, p.: 94-113

ZEE ( Zoneamento Ecológico e Econômico) 2005. Mapeamento das Unidades Geoambientais da Zona Costeira do Estado do Ceará. Universidade Federal do Ceará, 226 p.

Wanderley L.L. 2006. Paisagem da janela: Esse nosso Inconstante Rio Sergipe e a Evolução de sua Foz. *In:* Alves J.P.H. (ed.) Rio Sergipe: importância, vulnerabilidade e preservação. Ós Editora, p.: 165-194.