

LUCAS CUPERTINO FORMOSO

**EROSÃO E SEDIMENTAÇÃO NO DELTA DO SÃO FRANCISCO:
CONSIDERAÇÕES SOBRE A INTERFERÊNCIA DOS
BARRAMENTOS NO SISTEMA COSTEIRO**

Rio Claro (SP)

2008

LUCAS CUPERTINO FORMOSO

**EROSÃO E SEDIMENTAÇÃO NO DELTA DO SÃO FRANCISCO:
CONSIDERAÇÕES SOBRE A INTERFERÊNCIA DOS
BARRAMENTOS NO SISTEMA COSTEIRO**

Monografia apresentada à Comissão de Trabalho de Formatura do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Unesp, Campus de Rio Claro (SP), como parte das exigências para o cumprimento da disciplina Trabalho de Formatura no ano letivo de 2008.

Orientador: Prof. Dr. Edson Gomes de Oliveira

Rio Claro (SP)

2008

551.302 Formoso, Lucas Cupertino
F726e Erosão e sedimentação no Delta do São Francisco :
considerações sobre a interferência dos barramentos no
sistema costeiro / Lucas Cupertino Formoso. - Rio Claro:
[s.n.], 2008
47 f. : il., figs. Gráfs.

Trabalho de conclusão (Engenharia Ambiental) –
Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e
Ciências Exatas
Orientador: Edson Gomes de Oliveira

1. Erosão. 2. Sedimentação. 3. Barragens. I. Título.

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus pela minha existência. Agradeço também a meus pais Silvio e Lenilda por terem me apoiado desde o início em todas minhas decisões e por terem me criado da maneira que sou.

Agradeço também a minha namorada Katheryne, por ter sempre estado ao meu lado, me dando conforto nas horas difíceis e compartilhando as alegrias que a vida tem me proporcionado;

A minha madrinha dinda Lenalva, por me amar como uma mãe e por ter sempre acreditado em minha capacidade;

A meus irmãos, Silvia e Victor, pelo apoio e incentivo;

A meu orientador Prof. Dr. Edson Gomes de Oliveira pela imensa ajuda na elaboração deste trabalho;

A meus amigos de república Kazuo, Andre Kazuo, Ricardo, Andre, Jorge por todos esses anos de convívio e sem os quais a faculdade não teria a mesma graça;

A tantas pessoas que eu convivi nesses anos de faculdade e que de alguma forma contribuíram para a minha formação;

E também a meus amigos, de Aracaju, Fred, Fernando, por sempre lembrarem de mim apesar da distância e do tempo que passamos sem nos ver.

RESUMO

O delta do rio São Francisco é um importante ambiente sedimentar localizado entre os Estados de Sergipe e Alagoas. Devido a um conjunto de fatores (processos físicos e interferência antrópica), um processo de erosão costeira está atualmente acontecendo em sua foz de forma acelerada. A dinâmica de sedimentação e da erosão costeira na foz do São Francisco e os motivos pelos quais o processo de erosão está ocorrendo de forma acelerada foram elementos de estudo deste trabalho.

Para tanto, foram analisados dados de séries históricas de pluviometria e de fluviometria, dados sedimentométricos, análise de fotos aéreas e imagens de satélite, além do uso da bibliografia relativa ao assunto. As análises realizadas serviram de base para entender como o processo está acontecendo e verificar o quanto a interferência antrópica está contribuindo para a ocorrência acelerada da erosão no local.

ABSTRACT

The São Francisco river delta is an important sedimentation environment located between the States of Sergipe and Alagoas. Due to a set of factors (physical processes and anthropic interference), a process of coastal erosion is currently happening quickly in their mouth. The sedimentation dynamics and coastal erosion in São Francisco river mouth and the reasons for the process of erosion is occurring quickly were the elements of study in this work.

For that, were analyzed rainfall historical data series and river flow, sediment contribution data, to examine aerial photos and satellite images, besides the use of the bibliography on the matter. The analyses made served as a basis to understand how the process is happening and to verify how the anthropic interference is contributing to the occurrence of accelerated erosion on the spot.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	09
2. OBJETIVOS.....	10
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
3.1. Introdução ao Sensoriamento Remoto.....	11
3.2. Geomorfologia.....	11
3.3. Pedologia.....	14
3.4. Geologia.....	18
3.5. Vegetação e Usos do Solo.....	21
4. MÉTODOS E ETAPAS DE TRABALHO.....	23
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
5.1. Considerações Sobre a Problemática da Erosão.....	24
5.2. Análise das Imagens de Satélite.....	26
5.3. Análise das Series Históricas dos Dados de Pluviosidade.....	38
5.4. Análise das Series Históricas dos Dados de Hidrologia.....	40
5.5. Os Barramentos e Impactos Ambientais.....	42
6. CONCLUSÕES.....	44
12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Mapa geomorfológico	11
Figura 2	Mapa pedológico	14
Figura 3	Mapa Geológico	18
Figura 4	Mapa de Vegetação	21
Figura 5	Área de estudo do trabalho. Sub-cena imagem MSS LANDSAT 1, órbita ponto 230/67. Data: 10 de novembro de 1973.....	26
Figura 6	Detalhe da região 1 e da região 2. Sub-cena imagem MSS LANDSAT 1, órbita ponto 230/67. Data: 10 de novembro de 1973	27
Figura 7	Detalhe da região 1 e da região 2. Sub-cena imagem MSS LANDSAT 3, órbita ponto 230/67. Data: 26 de março de 1979.....	28
Figura 8	Detalhe da região 1 e da região 2. Sub-cena imagem TM LANDSAT 5, órbita ponto 214/67. Data: 11 de junho de 1990.....	28
Figura 9	Detalhe da região 1 e da região 2. Sub-cena imagem TM LANDSAT 5, órbita ponto 214/67. Data: 09 de junho de 1995.....	29
Figura 10	Detalhe da região 1 e da região 2. Sub-cena imagem ETM LANDSAT 7, órbita ponto 214/67. Data: 01 de junho de 2001.....	30
Figura 11	Detalhe da região 1 e da região 2. Sub-cena imagem TM LANDSAT 5, órbita ponto 214/67. Data: 30 de setembro de 2007	31
Figura 12	Gráfico comparativo das taxas de erosão e sedimentação na região 1.....	32
Figura 13	Gráfico comparativo das taxas de erosão e sedimentação na região 2.....	32
Figura 14	Detalhe da região 3, em vermelho a linha de costa em 1973. Sub-cena imagem MSS LANDSAT 1, órbita ponto 230/67. Data: 10 de novembro de 1973	33
Figura 15	Detalhe da região 3. Sub-cena imagem MSS LANDSAT 3, órbita ponto 230/67. Data: 26 de março de 1979.....	34
Figura 16	Detalhe da região 3. Sub-cena imagem TM LANDSAT 5, órbita ponto 214/67. Data: 11 de junho de 1990.....	35

Figura 17	Detalhe da região 3. Sub-cena imagem TM LANDSAT 5, órbita ponto 214/67. Data: 09 de junho de 1995	35
Figura 18	Detalhe da região 3. Sub-cena imagem ETM LANDSAT 7, órbita ponto 214/67. Data: 01 de junho de 2001	36
Figura 19	Detalhe da região 3. Sub-cena imagem TM LANDSAT 5, órbita ponto 214/67. Data: 30 de setembro de 2007	36
Figura 20	Gráfico da taxa de deslocamento do <i>inlet</i> durante o período de 1973 a 2007....	37
Figura 21	Linha de costa em 2007, Sub-cena imagem TM LANDSAT 5, órbita ponto 214/67. Data: 30 de setembro de 2007	37
Figura 22	Gráfico do total mensal de precipitação de chuvas (mm). Obtidos na estação pluviométrica Propriá no período de Jan/1979 à Dez/2006	39
Figura 23	Gráfico do total mensal de precipitação de chuvas (mm). Obtidos na estação pluviométrica Penedo no período de Jan/1973 à Dez/2006	39
Figura 24	Gráfico do total mensal de precipitação de chuvas (mm). Obtidos na estação pluviométrica Piacabuçu no período de Jan/1981 à Dez/2006.....	39
Figura 25	Gráfico da média mensal das cotas (cm). Obtidos na estação fluviométrica Propriá no período de Jan/1977 à Out/2006	40
Figura 26	Gráfico da média mensal das vazões (m ³ /s). Obtidos na estação fluviométrica Propriá no período de Jan/1977 à Dez/2003.....	41
Figura 27	Gráfico da média mensal das cotas (cm). Obtidos na estação fluviométrica Penedo no período de Jan/1973 à Nov/2005	41
Figura 28	Gráfico da média mensal das cotas (cm). Obtidos na estação fluviométrica Brejo Grande no período de Jan/1979 à Dez/2005.....	42

1. Introdução

A foz do rio São Francisco que fica localizada próxima ao município de Brejo Grande – SE é um ambiente deltáico. Um delta é um conjunto de sedimentos formado de material trazido por uma corrente fluvial ao lugar onde ela entra numa massa permanente d'água. As ondas e as correntes desta última ajudam na deposição. Um delta cresce quando a chegada de sedimento supera a erosão, e por isso decresce quando ocorre o contrário (MABESOONE, 1983).

O ambiente deltáico é muito complexo, constituído por muitas faces: aluvial, lacustre, eólica, lagunar, palustre e praial. Como tal merece ser tratado como um único conjunto (MABESOONE, 1983).

Atualmente, está ocorrendo uma erosão acelerada na porção sul do delta do rio São Francisco, a qual está provavelmente relacionada à retenção de sedimentos fluviais nos grandes barramentos construídos no rio.

Hoje, o povoado do Cabeço, localizado no lado sergipano da foz do rio São Francisco, não existe mais. Antes de 1997, quando o mar começou a atingir o farol, o povoado tinha cerca de 200 moradores -a maioria de pescadores e suas famílias-, igreja, escola e umas 50 casas. Agora, o farol, que já chegou a ficar a dois quilômetros distante do mar, está a 300 metros dentro dele. Do Cabeço só restou o farol (CBHSF, 2006).

As modificações na posição da linha de costa decorrem em grande parte da falta de sedimentos, provocado pelo esgotamento da fonte, principalmente a plataforma continental. O processo se dá pela transferência de sedimentos para campos de dunas ou por efeitos decorrentes da intervenção do homem, principalmente a construção de barragens ou obras que provocam a retenção do fluxo de sedimentos ao longo da costa (MMA, 2006).

Estudos da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) e da Universidade Federal de Sergipe (UFS), indicam que apesar da embocadura do rio estar sujeita à modificações ao longo do tempo, essa fase de avanço com intensa erosão marítima é decorrente de intensas modificações no regime fluvial do rio São Francisco (CBHSF, 2006 e FONTES 2006).

Com a construção de barragens para a geração de energia, os sedimentos ficam retidos nas barragens e o rio que antes fazia a recomposição dos sedimentos que eram levados para o mar, agora não mais o faz.

FONTES (2006) ainda destaca os impactos ambientais, econômicos e sociais decorrentes da diminuição da biodiversidade e da pesca na região. Segundo ele a produção atual é 10% da quantidade anterior à construção das barragens.

A dinâmica dos processos de erosão e sedimentação é o objeto de estudo deste trabalho. Para isso foram levados em conta dados de séries históricas de pluviometria e de fluviometria, dados sedimentométricos, análise de fotos aéreas e imagens de satélite além do levantamento da bibliografia pertinente para fundamentação teórica do trabalho. Com base nas análises feitas foi possível entender como os processos naturais estão ocorrendo atualmente e saber a quanto a interferência antrópica contribuiu para a ocorrência dos fenômenos.

Esse trabalho é relevante porque procura acrescentar dados sobre o esclarecimento dos processos erosivos e de sedimentação excessiva ou afogamento da foz do Rio São Francisco, fenômenos esses que têm prejudicado a ocupação antrópica da área, com conseqüente derrubadas de obras civis, assoreamento do leito do rio e queda da produtividade pesqueira da região, que é uma das principais atividades de sustento do povo ribeirinho.

O objeto de estudo desse trabalho foi escolhido devido à carência de dados referentes à foz do Rio São Francisco. O trabalho “Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro” (MMA, 2006) descreve um diagnóstico da erosão costeira no Estado de Sergipe.

2. Objetivos

Os principais objetivos deste trabalho foram descrever e compreender a dinâmica atual dos processos de erosão e sedimentação acelerada nas últimas décadas no delta do São Francisco, avaliando a interferência das barragens no meio natural sobre os processos físicos.

A partir do estudo da base de dados foi possível inferir uma taxa de erosão ao longo do tempo e sua evolução e compará-la com a interferência do homem no meio natural, visando entender como está ocorrendo o processo de maneira geral.

3. Revisão Bibliográfica

Por causa da necessidade de se conhecer as principais ferramentas utilizadas neste trabalho e devido à importância de se conhecer o meio físico da região de estudo para entender os processos que lá ocorrem, a revisão bibliográfica contém uma introdução ao sensoriamento remoto e abordará o contexto físico regional nos seguintes aspectos: geomorfologia, pedologia, geologia, vegetação e usos do solo.

3.1. Introdução ao Sensoriamento Remoto

Sensoriamento remoto é uma série de técnicas e procedimentos de análise que se utilizam de equipamentos localizados a longas distâncias do ponto observado. No trabalho em questão, foram utilizadas imagens de satélite obtidas em datas diferentes. A utilização de satélites artificiais para a obtenção de imagens da Terra tem sido cada vez mais utilizada em estudos das geociências e ciências ambientais. Uma imagem satélite colorida é resultante da combinação das três cores básicas (azul, verde e vermelho), associadas através de filtros às imagens individuais obtidas pelos diferentes sensores do satélite em diferentes comprimentos de onda ou faixas espectrais. Os satélites funcionam captando esses comprimentos de onda que são refletidos por um objeto e mandam as diversas faixas espectrais para uma estação de sensoriamento remoto onde é processado. Ficando assim as imagens disponíveis para o uso.

3.2. Geomorfologia

3.2.1. Tabuleiros Costeiros

Os Tabuleiros costeiros ocorrem principalmente sobre as litologias do grupo Barreiras e dos subgrupos Igreja Nova e Cururipe. Seu modelado em superfície tubular erosiva acha-se bem caracterizado, com grandes manchas preservadas. O contato desta unidade geomorfológica com a planície litorânea se faz por falésias mortas, eventualmente dissecadas em colinas.

3.2.2. Planícies Deltaicas, Estuarinas e Praiais

A unidade em estudo se caracteriza por agrupamentos de formas de origem marinha, fluviomarina, e eólica, depositadas sob a influência das condições ambientais variáveis durante o Quaternário. Estas feições geomorfológicas têm maior expressão *areal* na dependência do recuo dos Tabuleiros Costeiros. (PROJETO RADAM, 1983)

O rio São Francisco apresenta uma desembocadura formada por sedimentos quaternários dispostos em forma de leque aberto constituindo um delta. Este delta é do tipo construtivo, apresentando na sua parte emersa uma linha de costa regular em forma de cúspide, enquanto a parte submersa é íngreme. A planície deltaica, constituída de sedimentos arenosos e argilosos, é seccionada por canais distributários antigos e por um único canal ativo anastomosado que contém no seu interior bancos migrantes e ilhas inundáveis. Estas ilhas, como as áreas

marginais ao canal, são periodicamente ocupadas com culturas. Nas faixas parcialmente estáveis ocorrem planícies de inundação, mangues e pântanos, cordões arenosos e dunas. O canal fluvial transporta sedimentos, contribuindo para o avanço da frente deltaica que se processa lenta e paralelamente à costa em forma de restingas e de barras de desembocaduras. Esses cordões estão situados à retaguarda da frente deltaica, formando feixes separados por discordância que indicam mudanças na configuração da linha de costa. Sobre as partes mais elevadas das planícies e nos feixes de cordões mais próximos do mar existem formações dunares de diferentes colorações. Estas dunas atingem aproximadamente 30 metros de altura, sobretudo na parte norte do delta, próximo à localidade de Piaçabuçu – AL, onde são moveis e contêm lagoas temporárias. Nas partes mais internas são edafizadas e fitoestabilizadas. Este delta é dominado por ondas (Suguio, 1981 *apud*. PROJETO RADAM, 1983) cuja energia corresponde a 30,4 ergs/s/m da linha de costa, o que explica a sua configuração e demais características de sua planície, assim como a existência de um só canal fluvial. Nele, podem ser reconhecidos pelo menos dois estágios de terraços marinhos relacionados com variações positivas recentes do nível do mar. É provável que um outro episódio mais antigo tenha depositado sedimentos marinhos no contato dos sedimentos Barreiras com a planície deltaica, onde se localizam principalmente depósitos de turfas. No interior desta área de acumulação de sedimentos, os pequenos rios afluentes do São Francisco evidenciam também características de rias. Como os demais rios do litoral, o São Francisco sofreu influências de regressões e transgressões ocorridas no Quaternário, as quais favoreceram a formação de rias ou de lagunas por barramento da foz por meio de cordões arenosos seqüenciados. (PROJETO RADAM, 1983)

3.2.3. Geomorfogênese

3.2.3.1. Modelado de acumulação

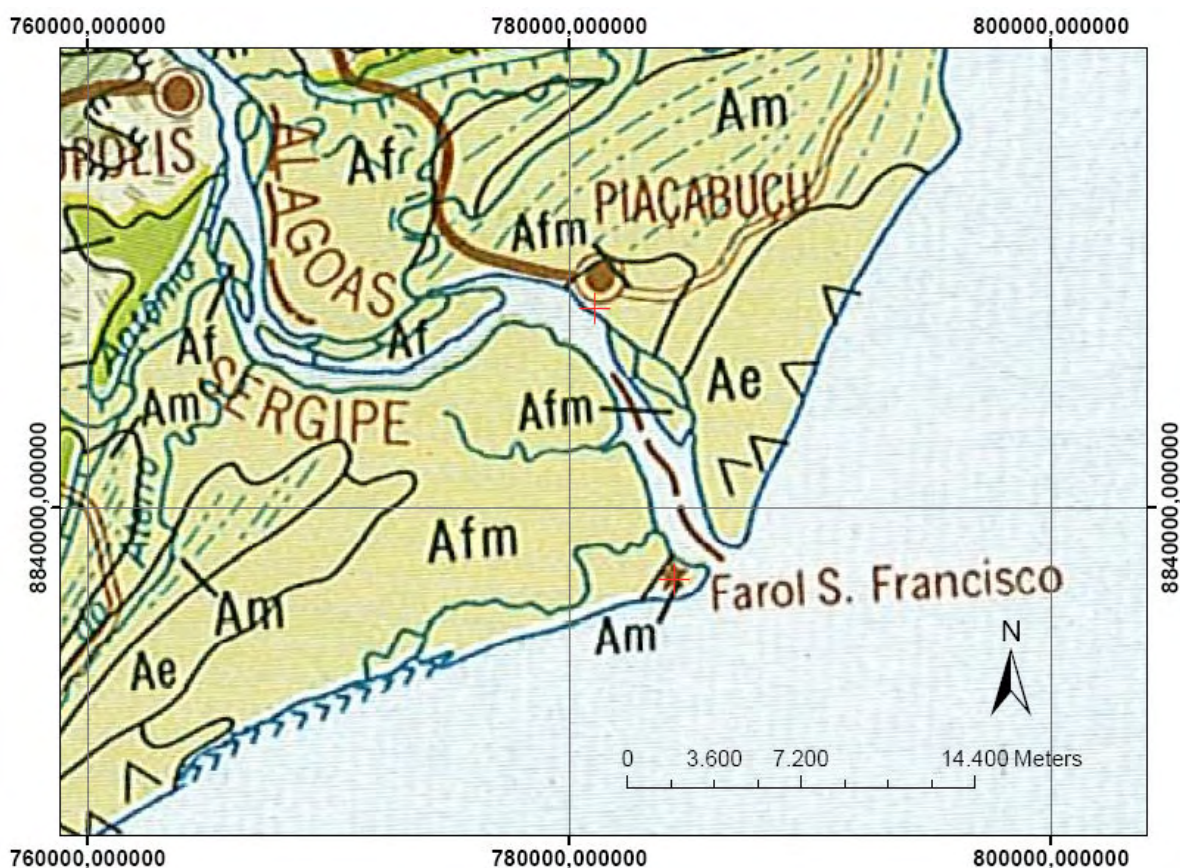


Fig. 01. Mapa geomorfológico da região do trabalho. Fonte (Projeto Radam, 1983)

Am- Marinha. Área plana resultante de acumulação marinha, podendo comportar praias, canais de maré, cordões litorâneos, dunas, plataformas de abrasão e terraços arenosos ou cascalhentos.

Ae- Eólica. Depósitos arenosos de origens diversas, remodelados pelo vento, apresentando formas características de dunas (crescentes, parábolas, encarneiramentos ou alinhamentos) ou planícies arenosas.

Afm- Fluviomarinha. Área plana resultante da combinação de processos de acumulação fluvial e marinha sujeita ou não a inundações periódicas, podendo comportar rios, mangues, deltas, diques marginais, lagunas e terraços arenosos.

Af- Fluvial. Área plana resultante de acumulação fluvial, sujeita a inundações periódicas, correspondente às várzeas atuais.

Atm- Terraço Marinho. Área plana, levemente inclinada para o mar, apresentando ruptura de declive em relação a planície marinha recente, entalhada em consequência de variação do nível marinho ou por movimentação tectônica.

3.3. Pedologia

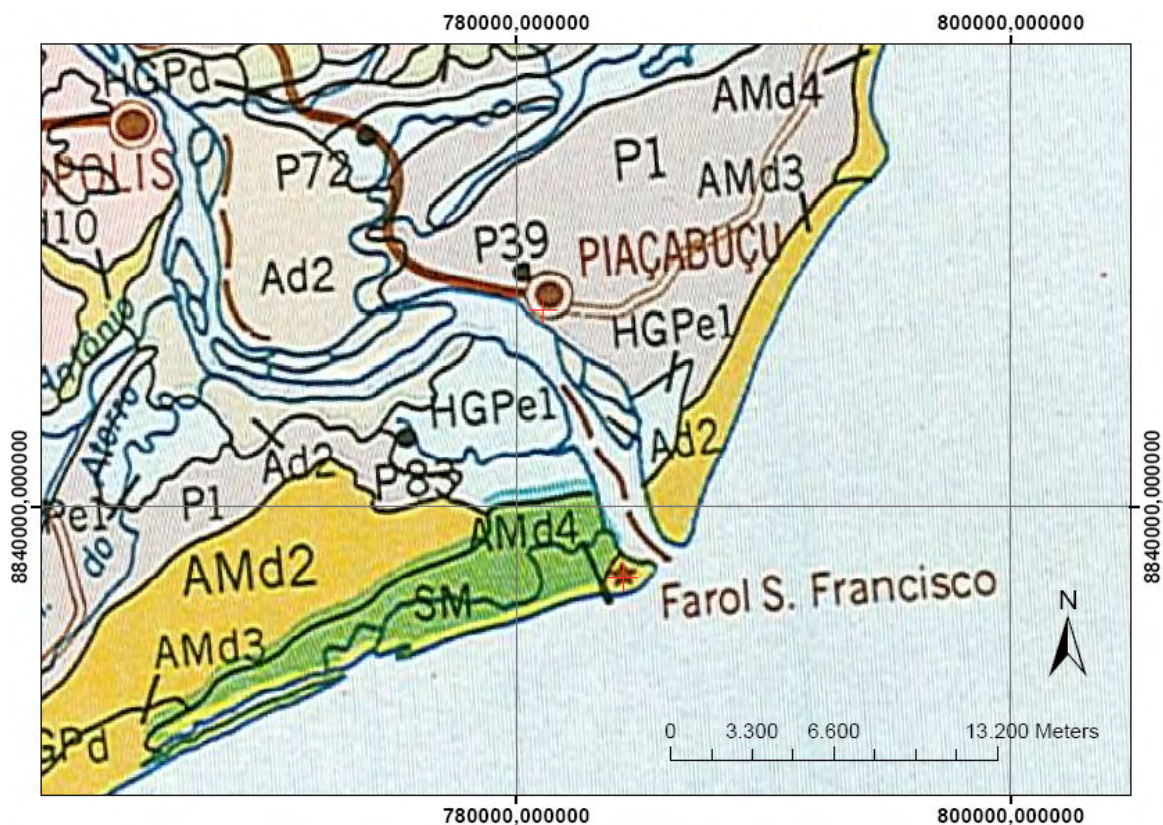


Fig. 02. Mapa pedológico da região do trabalho. Fonte (Projeto Radam, 1983)

3.3.1. Solos Indiscriminados de Mangues (SM)

Este solo está distribuído na parte mais baixa do litoral, próximo a desembocadura do rio e sob a influência das marés, apresenta vegetação característica denominada manguezal. São solos halomórficos com altos teores de sais diversos nas camadas superiores além de conterem elevados teores de sulfatos e enxofre.

São, portanto, solos pouco desenvolvidos, muito mal drenados, gleizados e com alto teor de sais, provenientes da água do mar e de compostos de enxofre que se formam nestas áreas sedimentares baixas e alagadas, principalmente onde existe maior concentração de matéria

orgânica. Não possuem diferenciação nítida de horizontes. São derivados de sedimentos de material muito fino, em mistura com detritos orgânicos, referidos ao Holoceno (PROJETO RADAM, 1983).

3.3.2. Areias Quartzosas distróficas (AQd)

Representado por solos não hidromórficos, profundos a muito profundos, excessivamente drenados e essencialmente quartzosos. Possui como característica química a baixa fertilidade natural, praticamente não dispondo de nenhuma reserva de minerais primários que liberem nutrientes para as plantas, e são forte ou moderadamente ácidos. Apresentam horizontes A e C, com pouca diferenciação entre si. Em geral o horizonte apresenta-se praticamente sem estrutura – grãos simples – ou com estrutura fracamente desenvolvida, e geralmente o horizonte C apresenta-se sem estrutura.

Na região de estudo, são desenvolvidos principalmente de sedimentos areno-quartzosos do Grupo Barreiras.

Quanto ao uso agrícola, são pouco utilizados, devido a fortes limitações, pela baixa fertilidade natural, baixa retenção de umidade, deficiência de água, saturação com alumínio trocável alta e fortemente ácidos (PROJETO RADAM, 1983).

3.3.3. Areias Quartzosas Marinhas distróficas (AMd)

São solos cujas características físicas e químicas se assemelham bastante as das Areias Quartzosas, sendo desenvolvidos exclusivamente de sedimentos areno-quartzosos não consolidados, de origem marinha, referidos ao Holoceno, e apresentam-se em relevo plano, suave ondulado e ondulado.

Apesar das restrições quanto ao uso agrícola, tanto o coqueiro como o cajueiro se adaptam bem a estes solos.

3.3.4. Glei Pouco Húmico eutrófico (HGPe)

Compreende solos hidromórficos, mal drenados, pouco profundos e com seqüência de horizontes ACg. As características morfológicas são resultantes principalmente da influencia do excesso de umidade durante todo o ano, ou pelo menos um longo período do ano. Isto é evidenciado pela presença de cores acinzentadas ou neutras no horizonte Cg, geralmente com

mosqueados avermelhados ou amarelados. A gleização é decorrente da redução do ferro (PROJETO RADAM, 1983).

Em geral são forte a moderadamente ácidos e apresentam-se com atividade de argila alta e baixa. Foram formados por sedimentos recentes de glaucometria variada, sendo mais comuns os argilosos e argilo-arenoso. Estão situados em relevos planos e ocupam as várzeas. E na região, são utilizados principalmente para o cultivo do arroz.

3.3.5. Podzol (P)

É um solo com o horizonte B podzol, não hidromorfo, profundo e com horizonte bem diferenciado, predominante arenoso, fortemente ácido e de muito baixa fertilidade natural, também formado por sedimentos areno-quartzosos da planície litorânea. Este solo apresenta problemas de drenagem nas áreas onde o horizonte B aparece muito endurecido e próximo da superfície, funcionando como uma camada de certa impermeabilidade.

Seu uso é muito limitado devido à saturação com alumínio, deficiência de nutrientes e acidez elevada, além de problemas com drenagem quando o horizonte cimentado encontra-se próximo da superfície e pouca retenção de umidade devido a sua textura arenosa. Em consequência disto sua utilização se limita ao cultivo de côco.

3.3.6. Solos Aluviais distróficos (Ad)

É formado por um solo pouco desenvolvido, resultante de deposições recentes de sedimentos fluviais, não consolidados e de composição granulométrica muito variada. Possui um horizonte A superficial diferenciado sobre camadas estratificadas, sem guardar relações pedogenéticas entre si.

Suas características morfológicas são de um modo geral imperfeita ou moderadamente drenados, de profundos a moderadamente profundos e de textura bastante variada. Onde a camada possui textura mais argilosa, é comum a presença de mosqueado.

Quanto às características químicas, possui uma saturação de bases variando em torno de 36% e normalmente reação moderadamente ácida.

São solos de alta potencialidade agrícola, sendo comumente utilizado com pastagens, culturas de arroz, cana-de-açúcar, feijão e algumas frutas como a manga.

3.3.7. Latosolo Amarelo distrófico (LAd)

São solos não hidromórficos, com horizonte B latossólico. É caracterizado pelo seu avançado grau de intemperismo, resultando na predominância de minerais de argila do Grupo 1:1, e acumulação de sesquióxidos na composição da fração mineral coloidal, em consequência dos minerais silicatados serem rapidamente destruídos. A composição mineralógica deste solo é constituída de minerais de quartzo e outros minerais resistentes.

São solos muito profundos, tendo seqüência de horizontes A, B e C, são bem drenados, porosos, friáveis a muito friáveis quando úmidos, possui transição difusa e sua textura é predominantemente argilosa. Foram desenvolvidos a partir de sedimentos do Grupo Barreiras, mas não possui uma expressividade muito grande na área de estudo, ficando restrito a pequenas porções no estado de Alagoas nas proximidades de Penedo.

Apesar da baixa fertilidade natural, da saturação com alumínio elevada e a forte acidez, são solos que apresentam boas condições físicas para o desenvolvimento de plantas, praticamente sem problemas com erosão, sendo necessária a devida correção da acidez com a calagem e o fornecimento de nutrientes às plantas através da adubação.

3.3.8. Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico (PVd)

É caracterizado por ser um solo mineral com horizonte B textural, não hidromórfico e argila de baixa atividade. Seus perfis são bem diferenciados, apresentando uma seqüência de horizontes A, Bt e C, são profundos e de moderadamente a fortemente ácidos e são naturalmente de baixa fertilidade.

Se desenvolveram a partir de sedimentos argilo-arenosos e areno-argilosos do Grupo Barreiras, que recobrem rochas do Pré-Cambriano.

São muito utilizados em pastagens e culturas, destacando-se o cultivo da cana-de-açúcar e em menor expressão, mandioca, milho, feijão e frutas.

3.4. Geologia

As unidades geológicas encontradas na região são: grupo Baixo São Francisco, grupo Barreiras e os aluviões e sedimentos de praia.

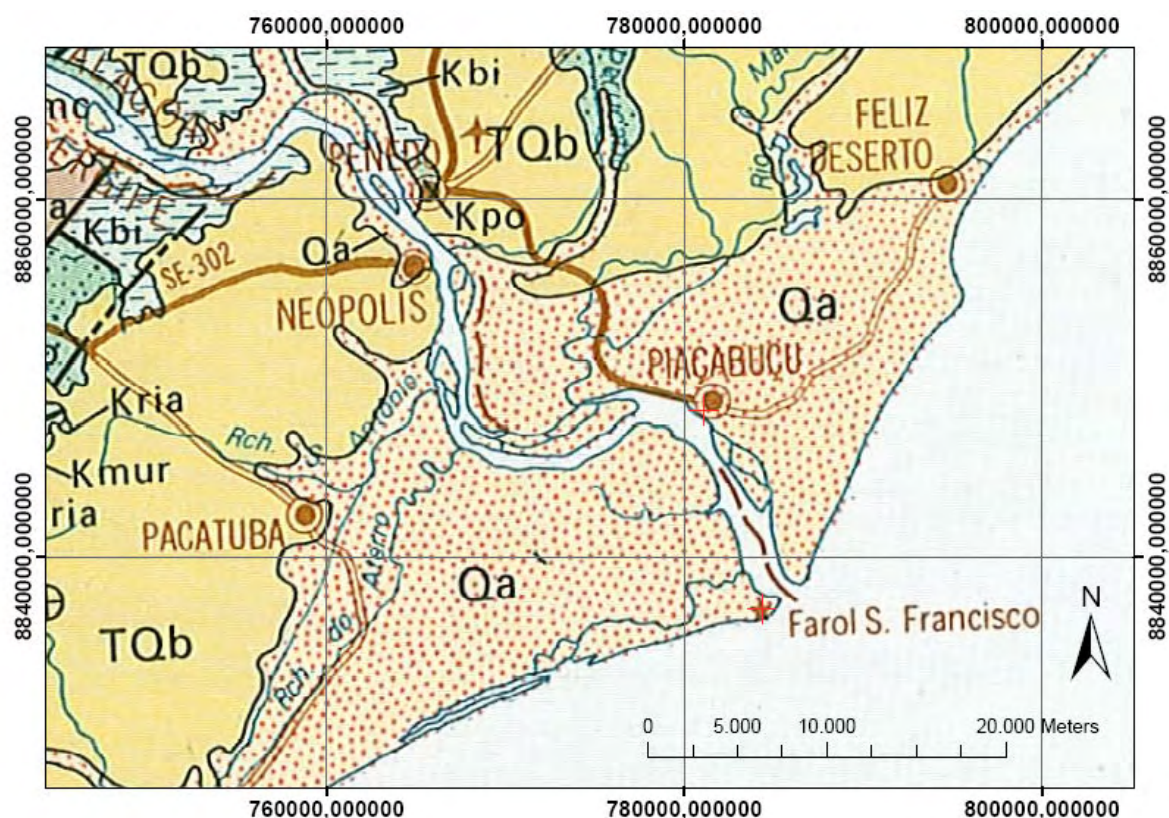


Fig. 03. Mapa geológico da região do trabalho. Fonte (Projeto Radam, 1983)

3.4.1. Grupo Baixo São Francisco

O termo é originário de O. Derby. Ao longo do tempo foi utilizado com significados variados, ora como série, ora como grupo, e sempre constou das principais propostas de classificação. É atualmente utilizado para designar o pacote de sedimentos não marinhos que aflora no nordeste de Sergipe e sudeste de Alagoas (PROJETO RADAM, 1983).

Localiza-se na Bacia Sedimentar de Sergipe-Alagoas e sua coluna estratigráfica compreende rochas paleozóicas e mesozóicas.

Na formação do arcabouço estrutural da bacia predominaram forças tencionais que deram estruturas de gravidade como horstes, grabens e blocos escalonados, limitados por falhamentos normais (CODEVASF, 1984).

As melhores exposições da unidade ocupam um polígono cujos vértices são batizados pelas localidades de Japoatã, Propriá, Igreja Nova e Penedo, separadas pelo curso inferior do São Francisco. Este pacote de mais de 5.700 m de espessura foi dividido em dois subgrupos, denominados o inferior, Igreja Nova e o superior Coruripe (PROJETO RADAM, 1983).

3.4.1.1. Subgrupo Igreja Nova

O subgrupo Igreja Nova possui uma espessura avaliada em 700 metros e se compõe das seguintes formações, da base pro topo: Batinga, Aracaré, Candeiro, Bananeiras e Serraria, que não estão representadas em mapa. (PROJETO RADAM, 1983)

3.4.1.2. Subgrupo Cururipe

Trata-se de um pacote de sedimentos predominantemente terrígeno, continental, com algumas camadas de calcários impuros igualmente não-marinhos. Reúne as seis formações que, a partir da inferior para a superior, são: Barra de Itiúba, Penedo, Rio Pitanga, Morro do Chaves, Coqueiro Seco e Ponta Verde. As formações citadas não são tão distintas, nem facilmente separáveis, neste subgrupo além dos contatos lentamente gradacionais, há uma série de variações laterais e *pinch outs* que resultam em uma faciologia complexa, evidenciando uma acentuada instabilidade tectônica, atuante durante a deposição, ainda no Cretácio Inferior. (PROJETO RADAM, 1983)

Com exceção da formação Ponta Verde, todas as formações podem ser examinadas em afloramentos, mas na área deste trabalho apenas afloram a formação Penedo e a formação Barra de Itiúba.

3.4.1.2.1. Formação Barra de Itiúba (Kbi)

A formação caracteriza-se por reunir folhelhos verdes, quando alterados, e negros, quando autênticos, com elevado teor de carbonato de cálcio. Este se concentra, secundariamente, em nódulos circulares e achatados, de 20 ou 30 centímetros de diâmetro. Intercalam-se aos folhelhos, silitos e carbonatos impuros, em camadas decimétricas. Entre estas, há arenitos finos, quartzosos e micáceos, com alguns litoclastos minúsculos, que são típicos da unidade. As camadas de arenitos são de espessura reduzida e distribuídas aleatoriamente. São comuns coquinas ostracoidais e fragmentos de vertebrados, possivelmente de peixes e répteis. Na base da unidade há folhelhos marrons e vermelhos. (PROJETO RADAM, 1983)

Em subsuperfície está sempre presente, exibindo uma espessura muito variável, aproximando-se de 500 metros, no Estado de Sergipe, e podendo ultrapassar 2.000 metros em Alagoas e no nordeste da bacia. (PROJETO RADAM, 1983)

3.4.1.2.2. Formação Penedo (Kpo)

Trata-se de uma seção de aproximadamente 800 metros de espessura, no máximo, constituída principalmente de folhelhos, silitos e calcários impuros de cores verde, cinza e castanho. Há seções de quartzito-arenitos e arenitos feldspáticos, de coloração clara, muitos deles com *spots* de caulim, estratificados em blocos espessos. A estratificação cruzada é comum, e, como pode acontecer nesses casos, há concentrações de conglomerados finos de seixos de quartzo na base dos conjuntos cruzados. Entre os arenitos, destaca-se o Poxim, próximo ao topo da formação que, mediante suas propriedades elétricas e radiativas, constitui excelente camada-chave para correlação. Notam-se variações litológicas laterais importantes, predominando às vezes os arenitos sobre os folhelhos e silitos.

3.4.2. Grupo Barreiras (TQb)

O grupo Barreiras caracteriza-se por sedimentos de idade terciária e quaternária, datadas através de plantas fósseis. Sua posição estratigráfica na região se dá sobre os sedimentos terrígenos do grupo Baixo São Francisco. Constitui-se de arenitos finos a médios, silitos e argilas variegadas com níveis caulínicos e conglomeráticos às vezes grosseiros, reunidos por cimento ferruginoso consistente. Possui estratificação horizontal incipiente e indistinta predominantemente. (PROJETO RADAM, 1983)

Sua espessura é muito variável, conforme a intensidade de erosão no seu topo, raramente ultrapassando 60 metros. (CODEVASF, 1984)

3.4.3. Aluviões e sedimentos de praia (Qa)

Sob esta denominação encontram-se os depósitos fluviais do quaternário e recentes. Caracterizam-se por depósitos predominantemente arenosos com quantidades subordinadas de silte e argila e cascalho com nível de base. Inclui areias de praia, dunas, mangues e cordões litorâneos na planície costeira. (PROJETO RADAM, 1983)

3.5. Vegetação e Usos do Solo

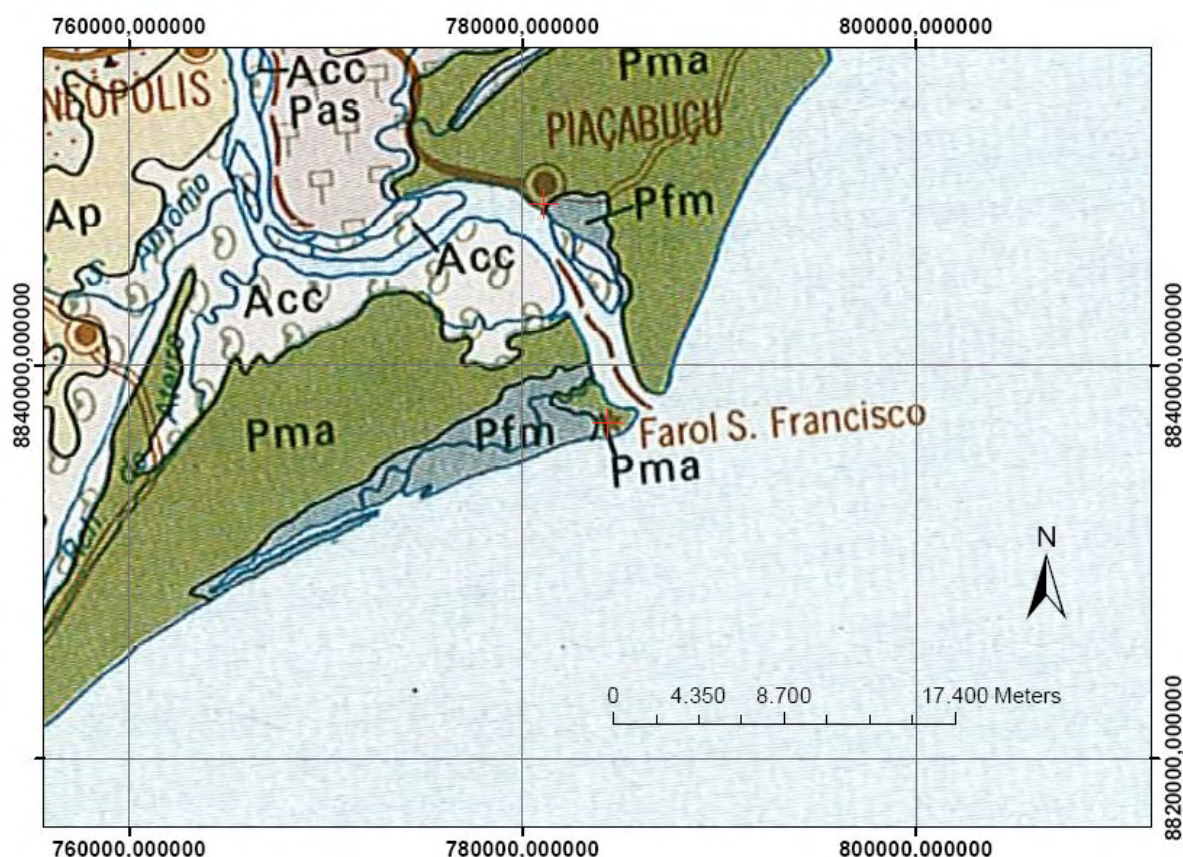


Fig. 04. Mapa da vegetação da região do trabalho. Fonte (Projeto Radam, 1983)

3.5.1. Área das Formações Pioneiras

As Formações Pioneiras encontram-se inseridas nos modelados de acumulação, em seus distintos estágios serais. Elas revestem ambientes sedimentares recentes altamente instáveis, pois o material de contribuição (fluvial, marinho, fluviomarinho, eólico etc.) não teve tempo de se edafizar.

Embora em seu estudo dos “meios fortemente instáveis” (TRINCART, 1977 *apud*. PROJETO RADAM, 1983) aborde, exclusivamente, aqueles que se referem às áreas continentais (e numa outra ordem de grandeza), acredita-se que seus critérios possam ser extensivos também aos meios costeiros, sem que se alterem seus conceitos originais: “nesses meios, a morfogênese é o elemento predominante da dinâmica natural, e fator determinante do sistema natural, ao qual outros elementos estão subordinados”. Destarte, aqui interage uma geodinâmica externa, de origens diversas e de efeitos lentos, com a morfogênese predominando sobre a pedogênese, e suas modalidades individualizam três tipos de “meios

fortemente instáveis”, povoados e semipovoados por uma vegetação com uma estrutura, fisionomia e florística diversa. (PROJETO RADAM, 1983)

3.5.1.1. Influência Marinha Arbórea (Pma)

Formada pelas restingas. Nelas se inserem as faixas de praia, cordões litorâneos e as dunas. É constituída de solos onde predominam as Areias Quartzosas Marinhas distróficas e Podzol. A vegetação desta área é constituída por uma grande maioria de plantas halófitas e psamófitas, geralmente de pequeno porte, algumas com folhas suculentas, ou coriáceas, algumas providas de caules estoloníferos. Quando arbustos e árvores, são comuns as suas copas orientadas na direção do vento dominante, por isso rigidamente deformadas no sentido horizontal.

Algumas espécies desta área são o cajueiro, maçaranduba, aroeira-da-praia, mangabeira, pitanga, piaçaba. Mas as áreas de restinga foram intensamente devastadas para a obtenção de lenha, pelo extrativismo da piaçaba e para o plantio de coqueiros.

3.5.1.2. Influência Fluviomarinha Arbórea (Pfm)

É uma área caracterizada pelos manguezais que ocorrem no estuário e no baixo curso do rio.

Embora haja poucas referencias aos mangues do litoral ora estudado, nota-se que estes têm, em relação às espécies típicas dominantes, a mesma constituição florística das demais áreas de mangue do litoral atlântico brasileiro. (PROJETO RADAM, 1983)

Esta área encontra-se relativamente bem preservada, embora já existam, sinais de impactos importantes que são representados por algum desmatamento para a carcinicultura (cultivo do camarão em cativeiro).

3.5.1.3. Influência Fluvial Arbustiva, sem palmeiras (Pas)

É própria de locais planos ou pouco deprimidos, com substrato areno-argilosos ou argilosos, e sujeito a inundações periódicas. Tem no grau de encharcamento do solo o fator condicionante de um desses tipos de vegetação de primeira ocupação ou halossérie, na terminologia ecológica de (CLEMENTS, 1949 *apud*. PROJETO RADAM, 1983). Aparece justapondo-se a áreas de mangue e de restinga. Esta distribuída na área nos solos Aluviais

distróficos e nos solos Glei Húmico distrófico. Representa-se, fisionomicamente, por indivíduos finos, esgalhados, exibindo maior adensamento nos sítios de melhor drenagem.

Em muitos trechos destas áreas já se encontram plantações de coqueiros e pequenos tratos de pastagem (PROJETO RADAM, 1983).

3.5.1.4. Agricultura culturas cíclicas (Acc)

Mais de 45% da população da região mora em áreas rurais, e os principais produtos agrícolas produzidos na região são: arroz, côco-da-baia, frutas tropicais nas regiões irrigadas, mandioca e cana-de-açúcar.

3.5.1.5. Área de Pastagens (Ap)

A pecuária na região não possui grande expressão, num contexto mais amplo. Continua sendo feita de forma extensiva e os seus principais efetivos são formados por bovinos e suínos, com destaque também à criação de galináceos.

4. Método e Etapas de Trabalho

Primeiramente foi feita a pesquisa bibliográfica para dar suporte às idéias contidas neste trabalho. O embasamento teórico foi de extrema importância para esse trabalho. Foram levantados e obtidos os dados das séries históricas de pluviometria, das séries históricas de fluviometria, dados sedimentométricos próximo a foz, nas estações da ANA (Agencia Nacional de Águas). Foi feito também o levantamento das imagens de satélite no catalogo de imagens do site do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), que foram adquiridas através do meio de envio padrão do INPE que é por transferência de arquivos (FTP) via Internet.

Depois de adquirir os bancos de dados das séries históricas de pluviometria, das séries históricas de fluviometria e os dados sedimentométricos, estes dados foram exportados para o programa Microsoft Office Excel 2007, no qual receberam tratamentos estatísticos para se obter a consistência dos dados e no qual também foram obtidos os gráficos com suas respectivas análises de tendência, referentes à hidrologia e pluviometria, que constam neste trabalho.

Já em relação às imagens de satélite, depois de adquiridas elas foram carregadas para o programa do INPE Spring 4.3.3. Em primeira análise foram feitas as composições coloridas

das mesmas e foram determinadas as melhores imagens para o trabalho em questão. As imagens foram então georeferenciadas, para, a partir daí então, serem feitas as edições vetoriais (criação das linhas de costa em épocas distintas) que foram inseridas no banco de dados, para utilização posterior. Depois de analisada as linhas de costa, estas foram utilizadas para se determinarem, através da ferramenta de edição vetorial, as áreas erodidas e as áreas onde houve sedimentação, e também foram inseridas em um banco de dados. Após as análises visuais feitas no Spring 4.3.3, o banco de dados com as informações quantitativas, isto é, com os valores em m² das áreas erodidas e das áreas onde ocorreu sedimentação, foi exportado para o Microsoft Excel 2007 para a determinação e análise das taxa de erosão e taxas de sedimentação, onde foram criados tabelas de dados para a construção dos gráficos. As fases que se sucedem serviram para dar o acabamento às imagens e foram feitas no software ArcGIS. Nele, foram adicionadas às imagens uma escala, uma rosa dos ventos indicando o norte e uma grade com as coordenadas geográficas.

Os dados obtidos com as análises das séries históricas e com as análises das imagens de satélite foram utilizados na confecção dos resultados e discussão para dar consistência às idéias defendidas no mesmo.

E por ultimo foi redigido o presente trabalho conforme as normas estabelecidas.

5. Resultados e Discussão

5.1. Considerações Sobre a Problemática da Erosão

Os fluxos de material em suspensão e a composição de elementos biogênicos trazidos à zona costeira por descarga estuarina afetam a eficiência da ciclagem de matéria, a magnitude da produtividade primária e a composição das populações dos produtores primários. Assim, alterações, naturais ou antropogênicas, sobre o regime de descarga dos rios na região de sua foz tem conseqüências para o desenvolvimento da rede trófica e o recrutamento de peixes em estuários e na zona costeira adjacente (ITTEKKOT et. al., 2000 *apud*. KNOPPERS et. al., 2007).

Com a construção de uma série de barragens no médio-baixo Rio São Francisco, que se inicia em Sobradinho, uma grande parte dos sedimentos que anteriormente chegava à zona estuarina e costeira, fica retida nesses reservatórios. Além do mais, como essas barragens se localizam em ambiente climático semi-árido, ocorre apreciável perda de água dos reservatórios por evaporação. A reposição de água e materiais por tributários ao longo deste trecho até a foz é muita baixa (MEDEIROS, 2003 *apud*. KNOPPERS et. al., 2007). A perda

de vazão e descarga de sedimentos após a construção de barragens resulta em decaimento da produtividade primária, perda de recursos pesqueiros, desestabilização/erosão da costa, e intrusão de água marinha nos seus deltas (KNOPPERS et. al., 2006 *apud.* KNOPPERS et. al., 2007).

A represa de Sobradinho foi construída para regularizar a vazão do rio e com isso liberar no mínimo 2.060 m³/s para alimentar as usinas existentes a jusante (Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso I, II, III e IV, e Xingó). O reservatório começou a ser enchido no dia 04 de abril de 1977 e em fins de maio de 1978 estava a alguns centímetros da cota máxima. Antes disso, sem qualquer barragem, em outubro de 1955, o Rio São Francisco registrou a menor vazão jamais lida em Juazeiro/Petrolina - 595 m³/s (SUASSUNA, 1999).

No período de 1980 a 2000, a vazão do Rio São Francisco foi reduzida em 30 % (KNOPPERS et. al., 2007) e nos últimos 20 anos, as concentrações, cargas e as descargas específicas de matéria em suspensão foram reduzidas de 70 a 5 mg/l, de 7 a 0.3 x 10⁶ t/ano e de 4.2 a 0.2 t/km²/ano, respectivamente, em função da retenção dos materiais pelas barragens (MEDEIROS, 2003 *apud.* KNOPPERS et. al., 2007). Fator este que contribuiu para uma mudança em como os processos de deposição e erosão se modificassem durante as ultimas décadas.

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, seja através da ação destrutiva (erosão) em determinados locais ou da ação construtiva em outros (deposição). As ondas constituem um dos processos marinhos mais efetivos na seleção e redistribuição dos sedimentos depositados nas regiões costeiras e plataforma continental interna. (CARVALHO e FONTES, 2006)

As características oceanográficas ao longo da costa do nordeste são governadas pela Corrente do Brasil (CB), que se desloca na direção sul, paralela à costa. A chegada desta corrente próximo a linha de costa gera em áreas rasas uma componente dirigida para SSW. (ARAÚJO et al, 2003). E as ondas têm as direções predominantemente de nordeste e sudeste. As primeiras constituem vagas originadas pelos ventos de NE (70° a 110°) no período de outubro a março. Por outro lado, as de SE constituem ondulações formadas por perturbações atmosféricas ao longo da costa originadas pelos ventos de SE (120° a 160°) e no período de maio a julho têm maior altura. (CARVALHO e FONTES, 2006)

5.2. Análise das Imagens de Satélite

O presente estudo tem como ferramenta para determinar como está evoluindo a dinâmica do Rio São Francisco a análise comparativa de imagens de satélite obtidas no site do INPE. A série de imagens analisadas tem início com a imagem do LANDSAT 1, obtida em 10 de novembro de 1973, até a mais recente, a imagem do LANDSAT 5 obtida em 30 de setembro de 2007. A partir da análise destas imagens e dos demais dados utilizados neste trabalho, pode-se inferir como o processo de erosão e sedimentação tem ocorrido nos últimos anos e como a intervenção antrópica no meio natural influenciou estes eventos.

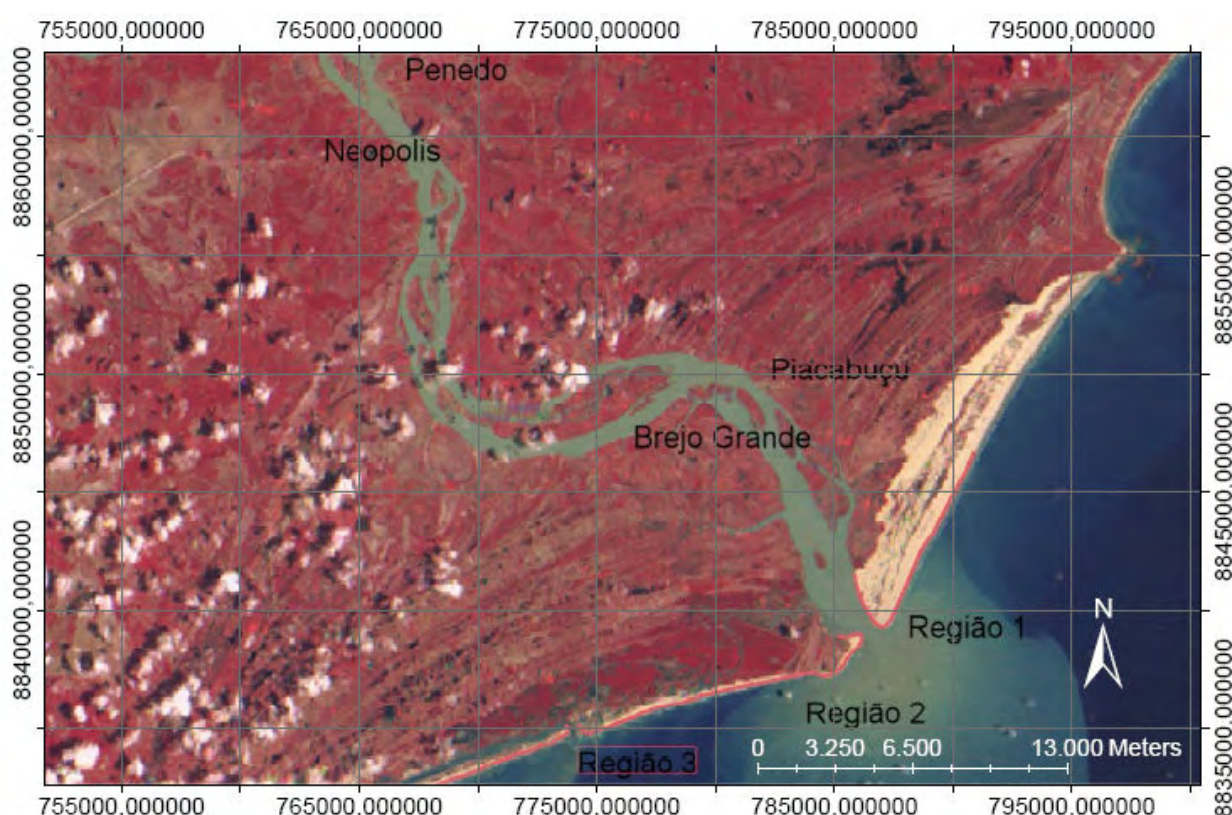


Fig. 05. Área de estudo do trabalho. Sub-cena imagem MSS LANDSAT 1, órbita ponto 230/67. Data: 10 de novembro de 1973. Horário: 11:59:10 GMT. Composição colorida RGB (MSS, 6,5,4).

Para melhor interpretar os dados da região de estudo, adotou-se uma divisão da área em três regiões que possuem comportamento distintos entre si, isto é, que respondem de maneira diferente às variações na dinâmica do rio durante o período estudado. São elas: região 1, que é a margem que fica no estado alagoano, região 2, que é a margem que fica no estado sergipano, e região 3, que é uma área onde a interferência do rio não ocorre de maneira direta, sendo ela mais influenciada pelo regime de marés.

A fig. 06 mostra a linha de costa em 10 de novembro de 1973, nas regiões 1 e 2. A fig. 07 mostra como variou a linha de costa no período de novembro de 1973 a março de 1979, na região 1 e 2. Como se pode notar através das linhas de costa (em vermelho a linha de costa em 1973 e em rosa a linha de costa em 1979), apesar, de no período, o rio ainda não sofrer a influência da regularização provocada pelos barramentos, ocorreu um processo de erosão nas duas margens, esta erosão se deu a uma taxa de 111.451,1667 m²/ano na região 1 e de 211.240 m²/ano na região 2 totalizando em uma erosão de 668.707 m² e 1.267.440 m² nas regiões 1 e 2 respectivamente. Pode-se concluir por exclusão através da análise dos dados que esta erosão ocorreu de forma natural e que é algo relativo a mudanças que ocorreram tanto no regime de marés como na corrente marítima da região durante o período, já que no período a represa de Sobradinho somente começou ficou cheia em maio de 1978.

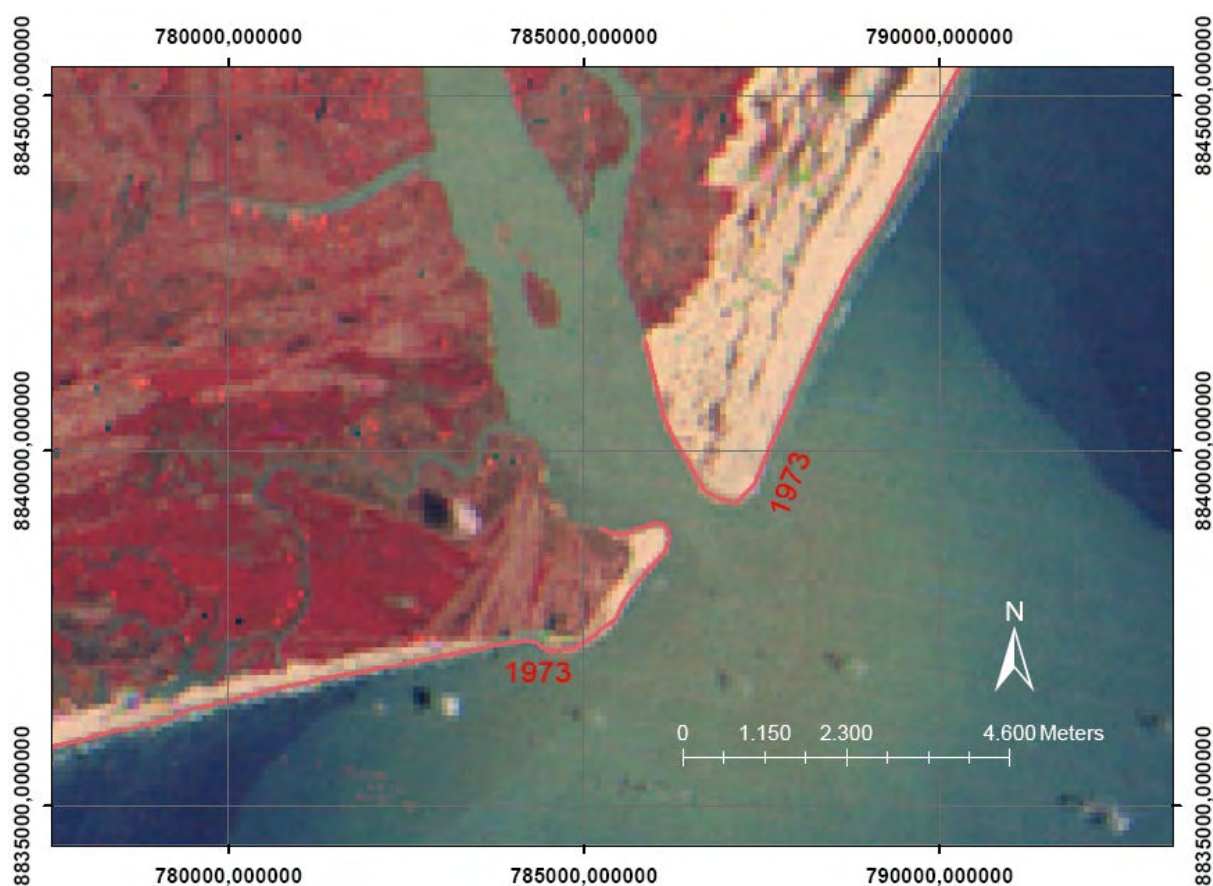


Fig. 06. Detalhe da região 1 e da região 2, em vermelho linha de costa em 1973. Sub-cena imagem MSS LANDSAT 1, órbita ponto 230/67. Data: 10 de novembro de 1973. Horário: 11:59:10 GMT. Composição colorida RGB (MSS, 6,5,4).

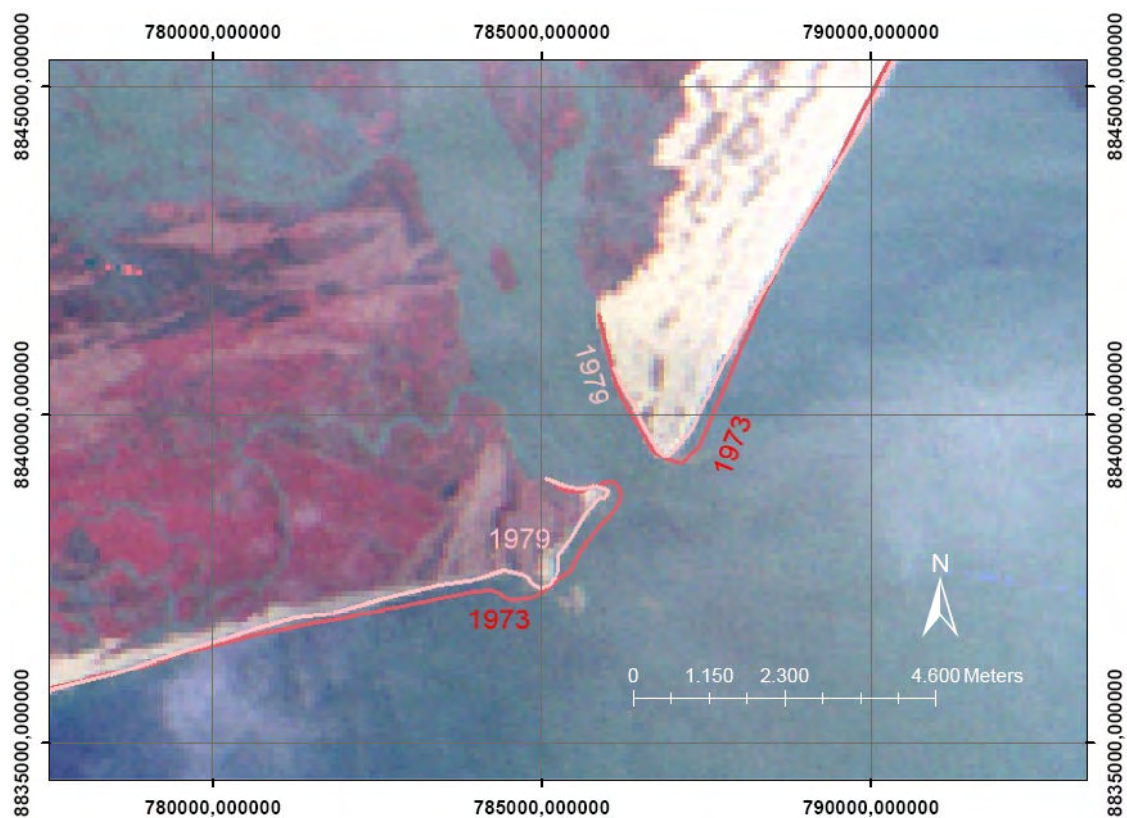


Fig. 07. Detalhe da região 1 e da região 2, em vermelho linha de costa em 1973 e em rosa linha de costa em 1979. Sub-cena imagem MSS LANDSAT 3, órbita ponto 230/67. Data: 26 de março de 1979. Horário: 11:50:25 GMT. Composição colorida RGB (MSS, 6,5,4).

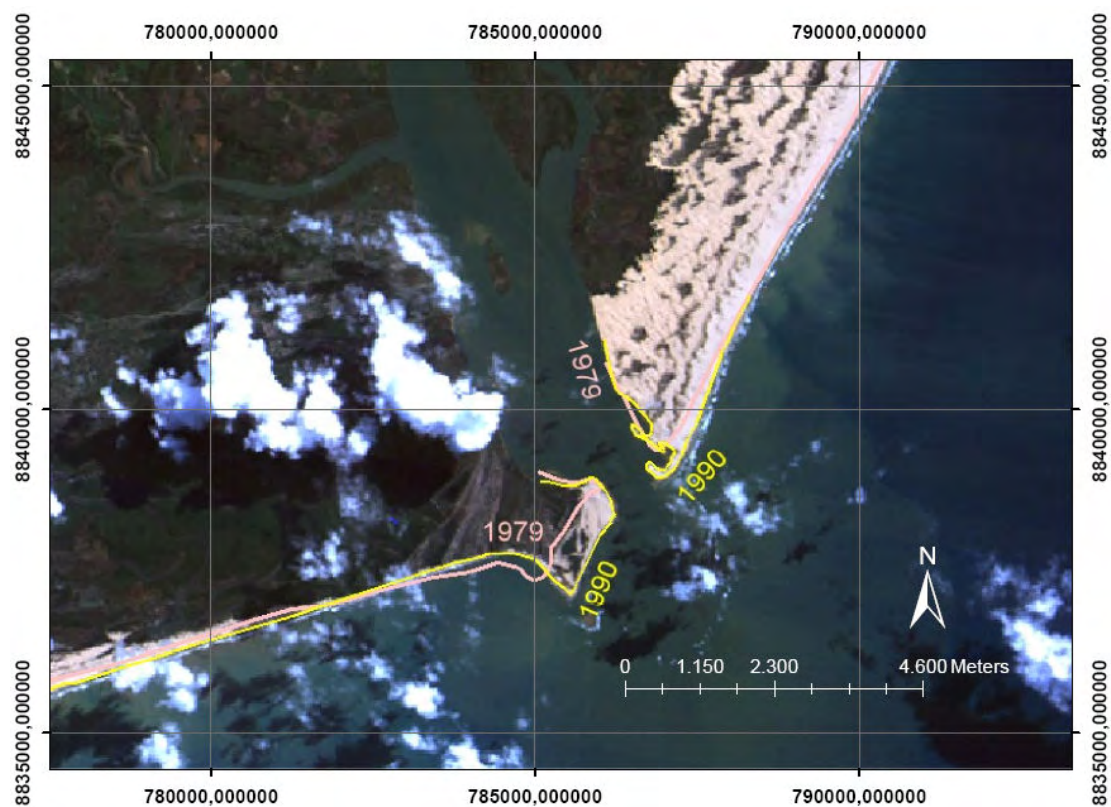


Fig. 08. Detalhe da região 1 e da região 2, em rosa linha de costa em 1979 e em amarelo linha de costa em 1990. Sub-cena imagem TM LANDSAT 5, órbita ponto 214/67. Data: 11 de junho de 1990. Horário: 11:50:03 GMT. Composição colorida RGB (TM, 3,2,1).

Durante o período de março de 1979 a junho de 1990 (Fig. 08), na foz do delta ocorreu um grande volume de sedimentação nas regiões 1 e 2 (em rosa a linha de costa em 1979 e em amarelo a linha de costa em 1990), apesar de na parte mais ao sul da região 2 ter ocorrido uma pequena erosão 436.692 m^2 , a sedimentação superou a erosão em ambas as áreas. A sedimentação efetiva (Erosão – Sedimentação) na região 1 foi de $296.181,9 \text{ m}^2$ a uma taxa de $26.925,62 \text{ m}^2/\text{ano}$ e de 370.247 m^2 a uma taxa de $33.658,82 \text{ m}^2/\text{ano}$ na região 2.

Com a construção das barragens de Itaparica, de Paulo Afonso IV e de Moxotó no trecho abaixo da represa de Sobradinho a partir de 1988, passou-se a ter maior controle sobre as vazões além de uma maior retenção de sedimentos. Por isso, a partir da década de 90, as duas regiões começam a ter comportamentos mais diferenciados uma da outra, comportamento este que vem até os períodos atuais (Fig. 09). A região 1 passou a ter duas frentes distintas uma da outra, na costa passou a um sistema erosivo e na foz um sistema de deposição na direção sudoeste. Já a região 2 passou a ter um comportamento predominantemente erosivo na foz e continuou o processo de erosão na sua porção mais ao sul. Sua taxa de erosão a partir deste período foi muito alta o que tornou mais evidente o problema da erosão acelerada na área.

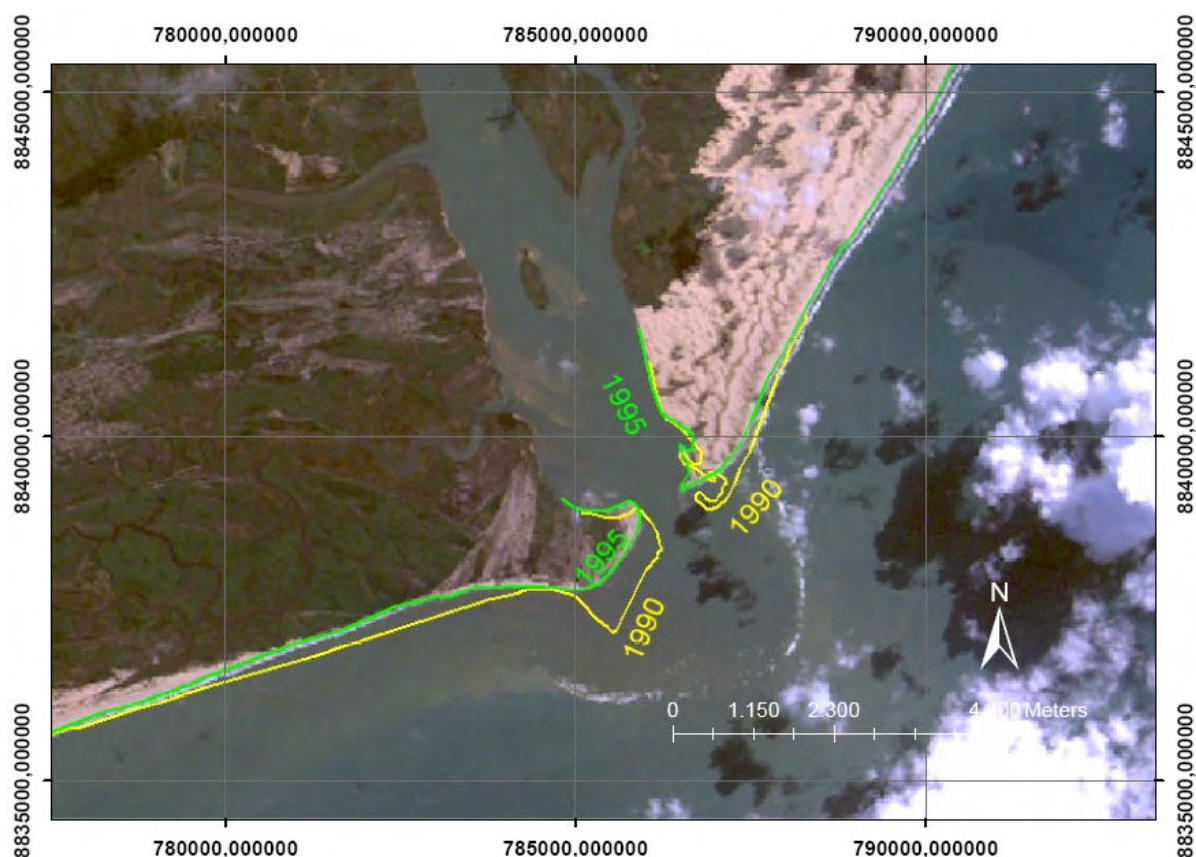


Fig. 09. Detalhe da região 1 e da região 2, em amarelo linha de costa em 1990 e em verde linha de costa em 1995. Sub-cena imagem TM LANDSAT 5, órbita ponto 214/67. Data: 09 de junho de 1995. Horário: 11:36:16 GMT. Composição colorida RGB (TM, 3,2,1).

Na região 1, durante o período de junho de 1990 a junho de 1995 (em amarelo a linha de costa em 1990 e em verde a linha de costa em 1995) foram erodidos 404.043 m² a uma taxa de 80.808,6 m²/ano e foram depositados na foz 110.202,1 m² a uma taxa de 22.040,42 m²/ano e a erosão superou a sedimentação em 293.840,9 m² durante o período. Na região 2 a erosão efetiva ficou em 2.041.240,1 m² a uma taxa de 408.248,02 m²/ano e a sedimentação foi inexpressiva durante o período (Fig. 09).

A explicação para esta mudança de comportamento no sistema de erosão e sedimentação na foz mais evidente, é fato de a regularização da vazão do rio ter acontecido de maneira mais expressiva durante esse período, eliminando a variação sazonal das vazões, acabando assim com as cheias, associada a uma grande diminuição da vazão no rio São Francisco, limitando assim sua capacidade de transporte.

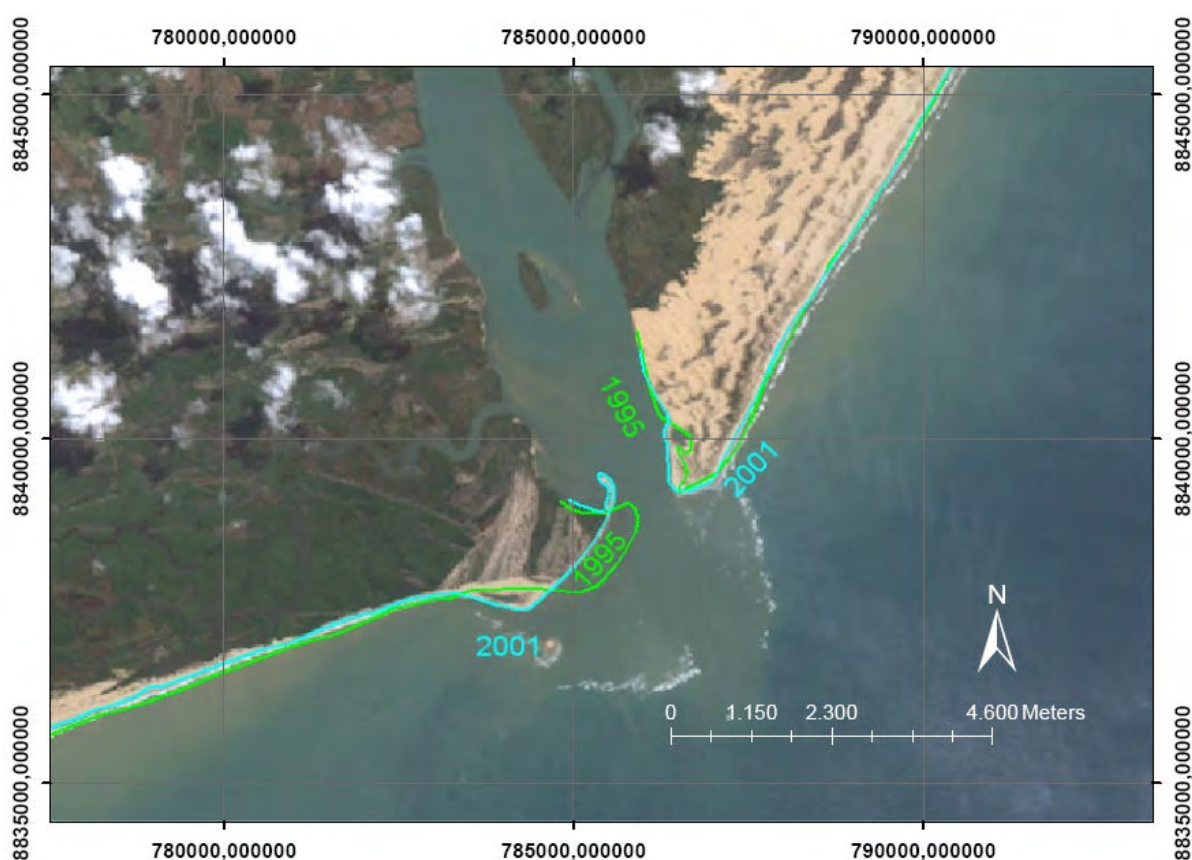


Fig. 10. Detalhe da região 1 e da região 2, em verde linha de costa em 1995 e em azul turquesa linha de costa em 2001. Sub-cena imagem ETM LANDSAT 7, órbita ponto 214/67. Data: 01 de junho de 2001. Horário: 12:19:34 GMT. Composição colorida RGB (ETM, 3,2,1).

De junho de 1995 a junho de 2001 (em verde a linha de costa em 1995 e em azul turquesa a linha de costa em 2001) a tendência continuou a mesma do período anterior, só que a taxas mais moderadas. Na área 1 a taxa de erosão da linha da costa diminuiu e em contrapartida a taxa de sedimentação na foz aumentou, ficando as duas praticamente no mesmo patamar, isto é, praticamente tudo que foi erodido na costa acabou sendo depositado

na foz. Comparativamente a sedimentação foi um pouco superior a erosão sendo elas respectivamente de 258.162 m² e de 229.360,2 m² a taxas de 43.027 m²/ano e 38.226,7 m²/ano. Já na região 2, houve dois pontos de sedimentação, um na foz e outro um pouco ao sul dela, mas de modo geral a tendência erosiva da região continuou e foi muito superior à área depositada. A soma da deposição nas duas áreas ficou num total de 366.765 m² e a erosão na região foi de 1.455.996 m², a erosão efetiva se deu a uma taxa de 181.538,5 m²/ano (Fig. 10).



Fig. 11. Detalhe da região 1 e da região 2, em azul turquesa linha de costa em 2001 e em azul linha de costa em 2007. Sub-cena imagem TM LANDSAT 5, órbita ponto 214/67. Data: 30 de setembro de 2007. Horário: 12:22:48 GMT. Composição colorida RGB (TM, 3,2,1).

No período de junho de 2001 e setembro de 2007, a tendência continuou a mesma novamente, com a sedimentação na foz e erosão da costa na região 1 e uma erosão que se manteve no mesmo patamar do período de 95 a 2001 na região 2. Na região 1 a erosão foi ligeiramente maior que a sedimentação, todos os dados levam a crer que o material depositado nessa região depende do material erodido na costa. Foram erodidos 264.613,9 m² e foram depositados na foz 183.295 m². A taxa de erosão foi de 44.102,3 m²/ano e a taxa de sedimentação foi de 30.549,17 m²/ano. Na região 2, novamente a área depositada (130.436,4 m²) foi muito pequena em relação ao material erodido, ficando a sedimentação desta vez concentrada somente na foz. A área mais ao sul que foi depositada anteriormente foi

praticamente toda erodida. A taxa de erosão efetiva foi de 146.480,93 m²/ano e a erosão efetiva foi de 878.885,6 m² (Fig. 11).

Analizando-se os gráficos a seguir, fica mais fácil a visualização de como foi o comportamento da região 1 e da região 2 durante o período estudado.

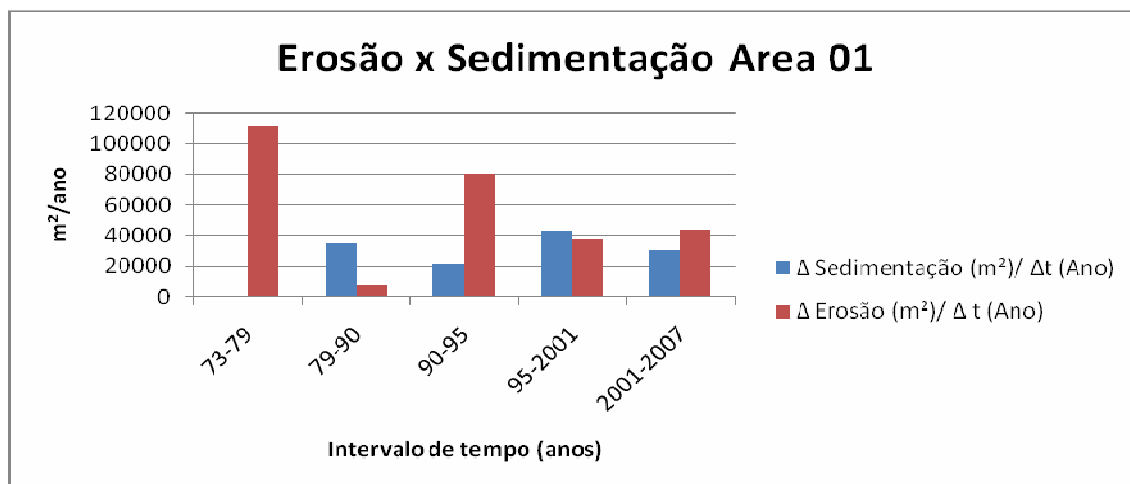


Fig. 12. Gráfico comparativo das taxas de erosão e sedimentação na região 1

Na região 1, as taxas de erosão são bem menores do que as que ocorreram na região 2 (Fig. 13). Portanto o impacto nesta área é menos expressivo que na região adjacente. Por meio da análise da Fig. 12 e das imagens de satélite em conjunto, nota-se que a partir da década de 90 esta área passou a ter um comportamento diferente do qual ela apresentava antes da regularização e da diminuição da vazão do rio São Francisco. Como se pode notar o material que está sendo erodido na costa tem a tendência de ser depositado na região da foz, e as taxas de erosão e sedimentação tendem a se estabilizarem no mesmo patamar.

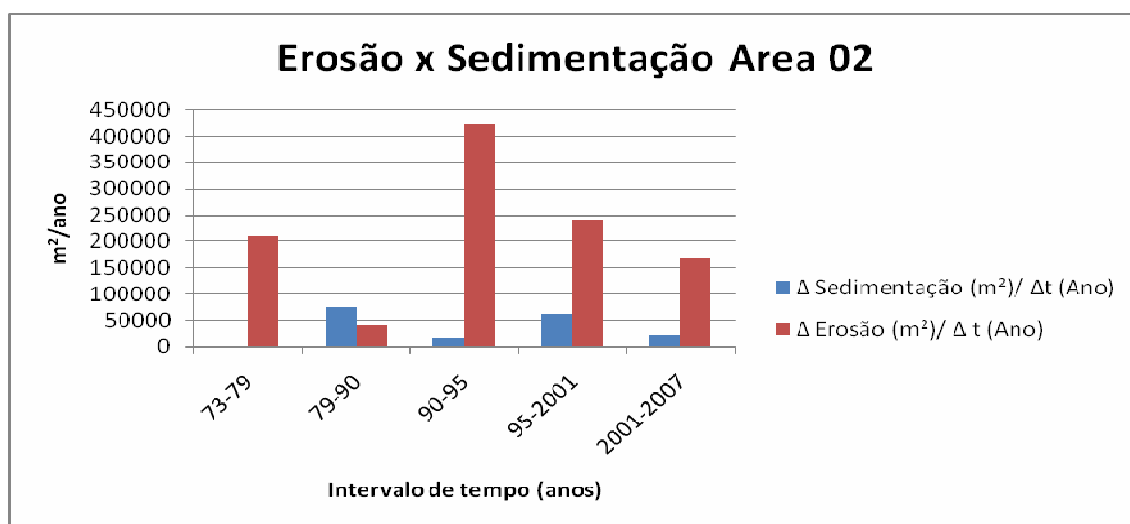


Fig. 13. Gráfico comparativo das taxas de erosão e sedimentação na região 2

Analisando-se a Fig. 13, nota-se que na região 2 a tendência de erosão é muito maior que a tendência de sedimentação. A partir de 1990 as taxas de erosão aumentaram bastante levando a uma rápida erosão da foz do rio São Francisco, o que tornou o problema bastante evidente na mídia regional. Por meio da análise dos dados, conclui-se então que a região 2 é muito dependente dos sedimentos que antes eram transportados pelo rio. Com a diminuição da vazão e também com sua regularização o aporte deste sedimentos diminuiu muito após a década de 90 e na área estabeleceu-se um novo sistema erosivo. Nota-se também, que a erosão tende a diminuir na medida em que a foz do delta do rio São Francisco vem tomando uma nova forma geométrica. A tendência atual é que a foz do rio venha a ser uma foz protegida por um barramento. É provável que a erosão e a sedimentação na região 1 e na região 2 se estabilizem após a nova configuração encontrar seu equilíbrio.

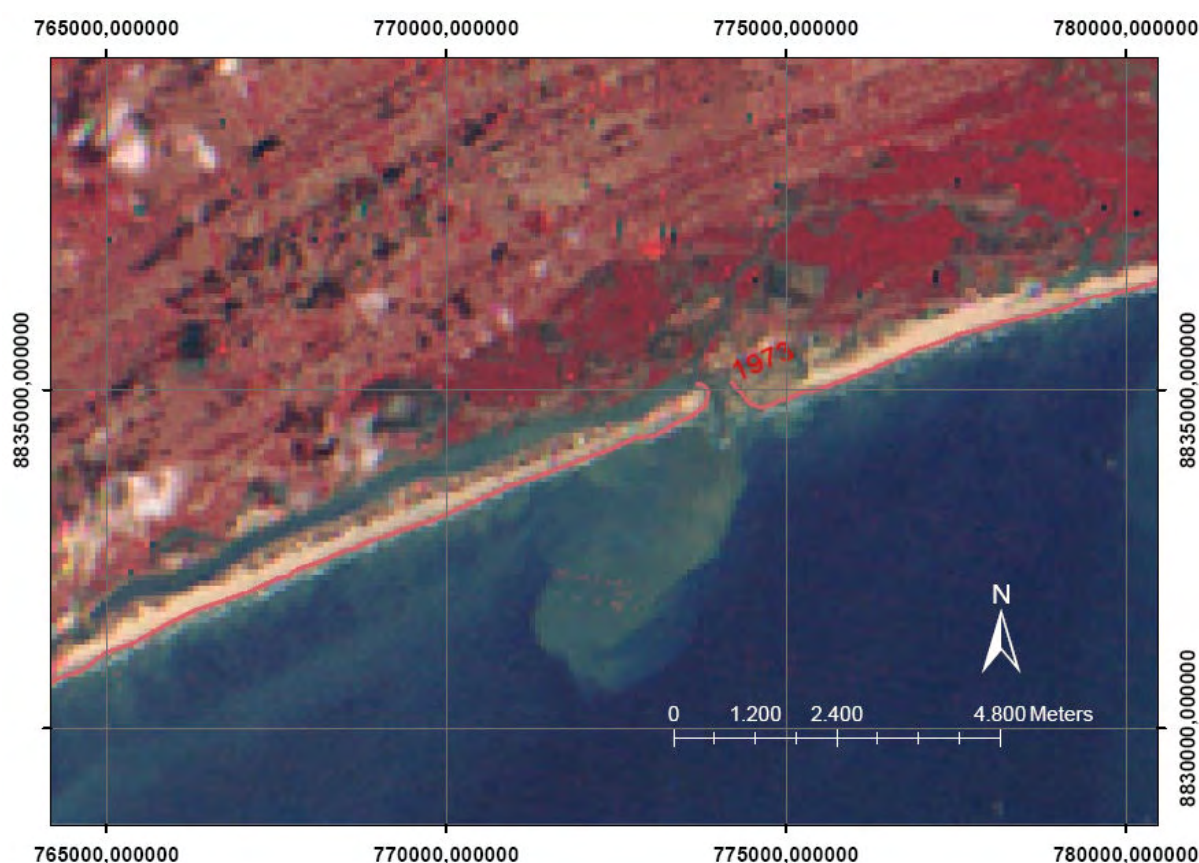


Fig. 14. Detalhe da região 3, em vermelho a linha de costa em 1973. Sub-cena imagem MSS LANDSAT 1, órbita ponto 230/67. Data: 10 de novembro de 1973. Horário: 11:59:10 GMT. Composição colorida RGB (MSS, 6,5,4).

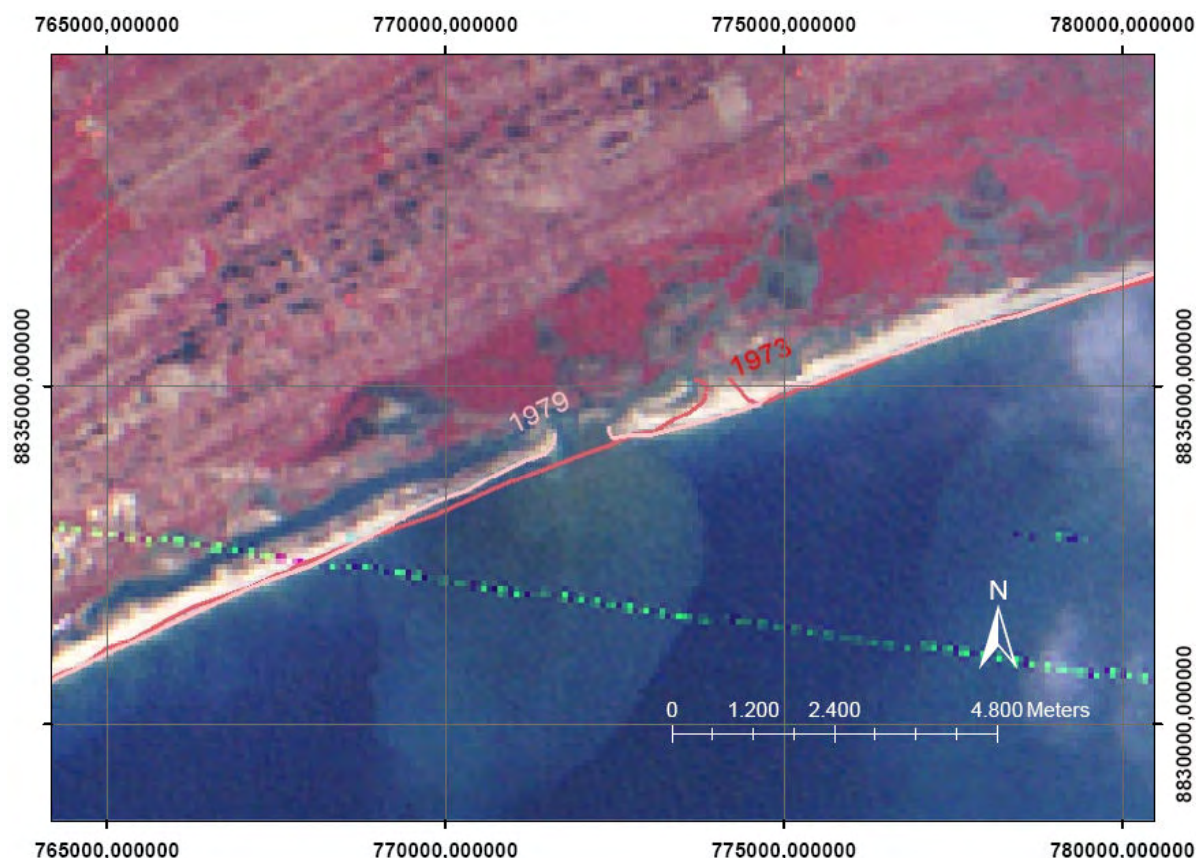


Fig. 15. Detalhe da região 3, em vermelho a linha de costa em 1973 e em rosa linha de costa em 1979. Sub-cena imagem MSS LANDSAT 3, órbita ponto 230/67. Data: 26 de março de 1979. Horário: 11:50:25 GMT. Composição colorida RGB (MSS, 6,5,4).

Da Fig. 14 a Fig. 19 mostram como o *inlet* se comportou durante o período de novembro de 1973 a setembro de 2007. As linhas mostram a entrada do fluxo de maré neste intervalo de tempo. Elas estão assim divididas: em vermelho a linha de costa em 1973, em rosa a linha de costa em 1979, em amarelo a linha de costa em 1990, em verde a linha de costa em 1995, em azul turquesa a linha de costa em 2001 e em azul a linha de costa em 2007. A dinâmica do *inlet* diferencia-se das regiões 1 e 2, pelo fato de a sedimentação e a erosão estarem estabilizadas, apenas ocorrendo o deslocamento do *inlet* durante o tempo. Esse deslocamento ocorreu da seguinte maneira: no período de 1973 a 1979 o *inlet* se deslocou 2201,55 metros, de 1979 a 1990 se deslocou 1985,83 metros, de 1990 a 1995 se deslocou 1287,82 metros, de 1995 a 2001 se deslocou 1619,04 metros e de 2001 a 2007 ele se deslocou 1930,74 metros, perfazendo um deslocamento total de 9024,98 metros durante o período e a taxa média dos deslocamentos foi de 265,44 m/ano. Todos os deslocamentos ocorreram na direção sudoeste.

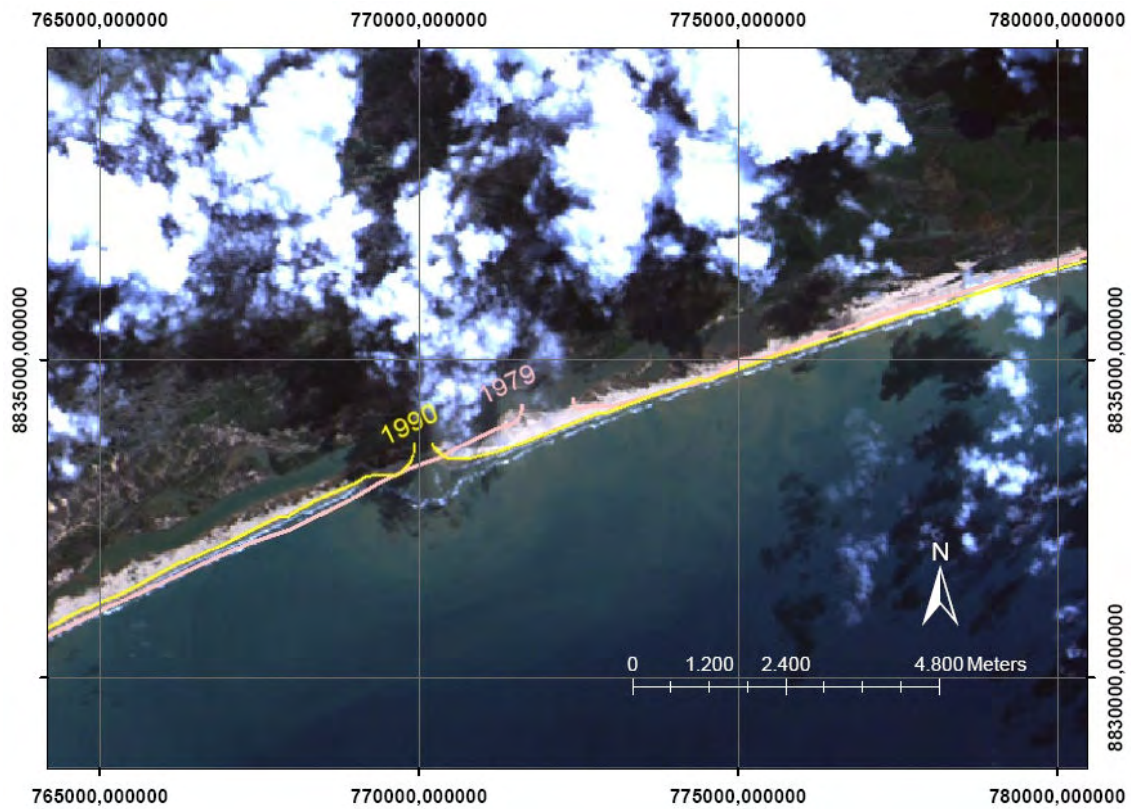


Fig. 16. Detalhe da região 3, em rosa linha de costa em 1979 e em amarelo linha de costa em 1990. Sub-cena imagem TM LANDSAT 5, órbita ponto 214/67. Data: 11 de junho de 1990. Horário: 11:50:03 GMT. Composição colorida RGB (TM, 3,2,1).

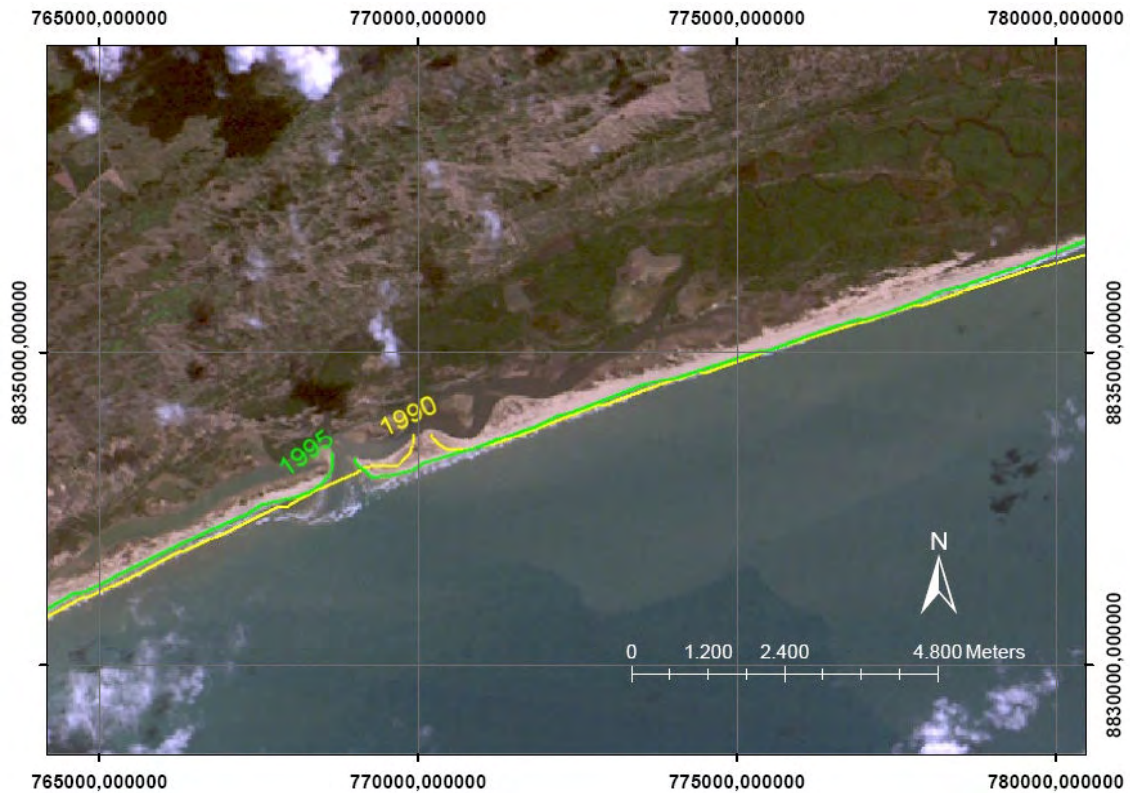


Fig. 17. Detalhe da região 3, em amarelo linha de costa em 1990 e em verde linha de costa em 1995. Sub-cena imagem TM LANDSAT 5, órbita ponto 214/67. Data: 09 de junho de 1995. Horário: 11:36:16 GMT. Composição colorida RGB (TM, 3,2,1).

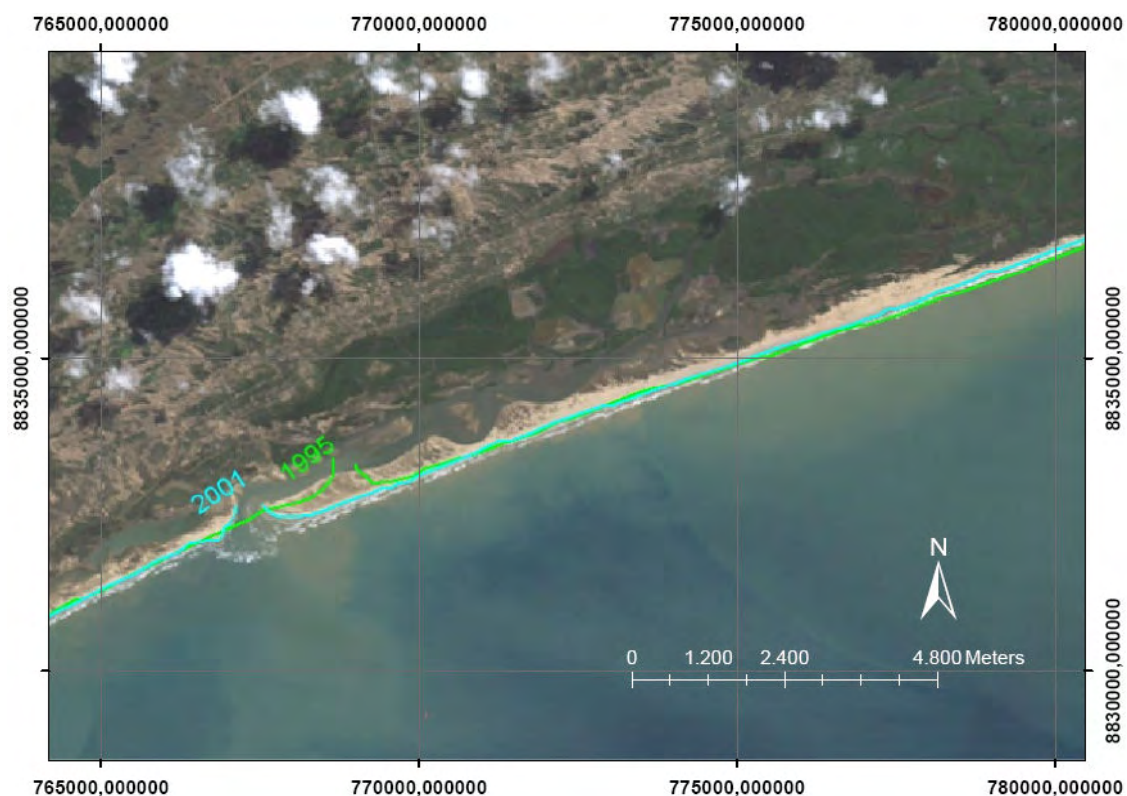


Fig. 18. Detalhe da região 3, em verde linha de costa em 1995 e em azul turquesa linha de costa em 2001. Sub-cena imagem ETM LANDSAT 7, órbita ponto 214/67. Data: 01 de junho de 2001. Horário: 12:19:34 GMT. Composição colorida RGB (ETM, 3,2,1).

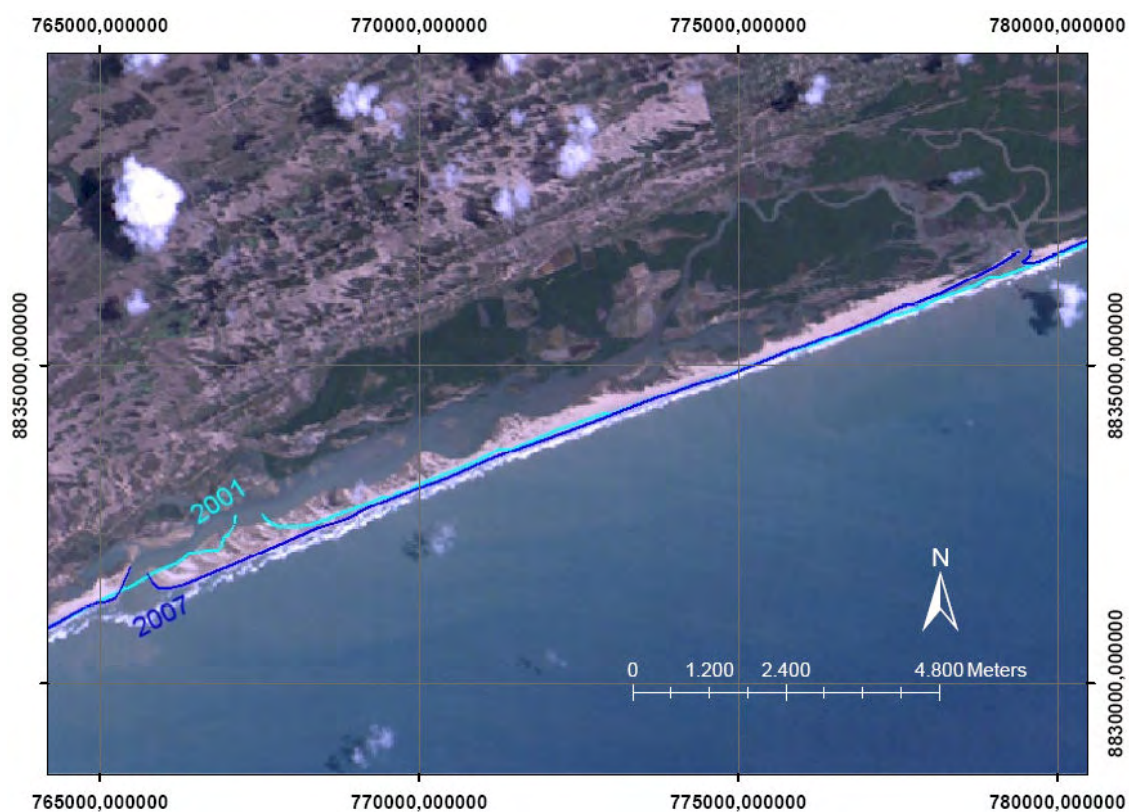


Fig. 19. Detalhe da região 3, em azul turquesa linha de costa em 2001 e em azul linha de costa em 2007. Sub-cena imagem TM LANDSAT 5, órbita ponto 214/67. Data: 30 de setembro de 2007. Horário: 12:22:48 GMT. Composição colorida RGB (TM, 3,2,1).

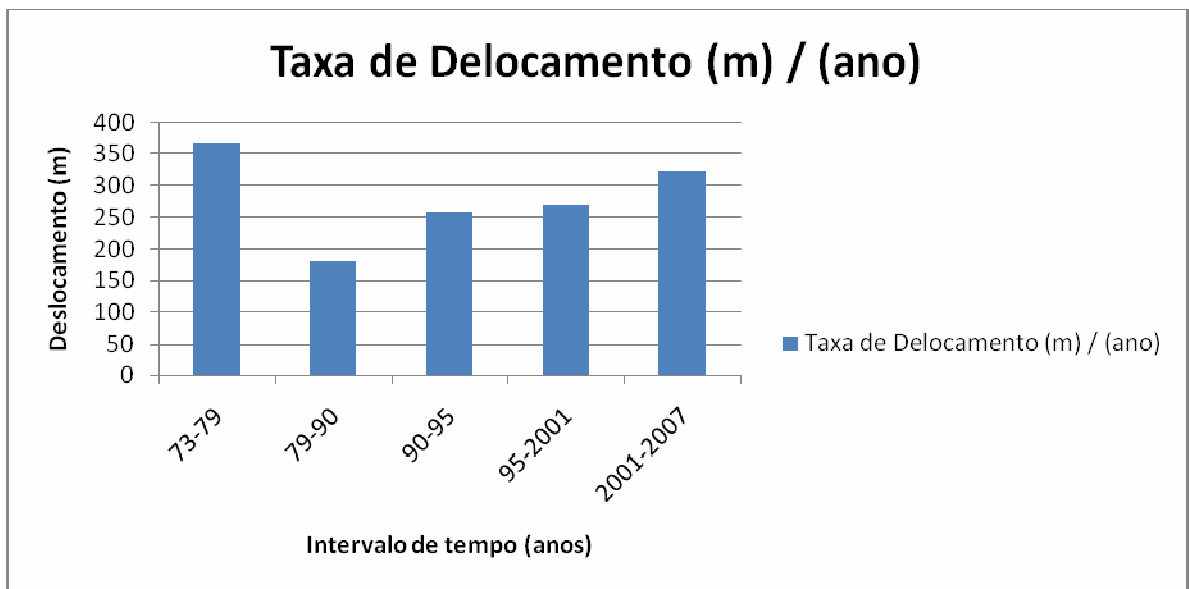


Fig. 20. Gráfico da taxa de deslocamento do *inlet* durante o período de 1973 a 2007.

A Fig. 20 mostra como as taxas de deslocamento se comportaram durante o período estudado. A linha mostra que a tendência da taxa de deslocamento é se manter constante durante os intervalos de tempo.

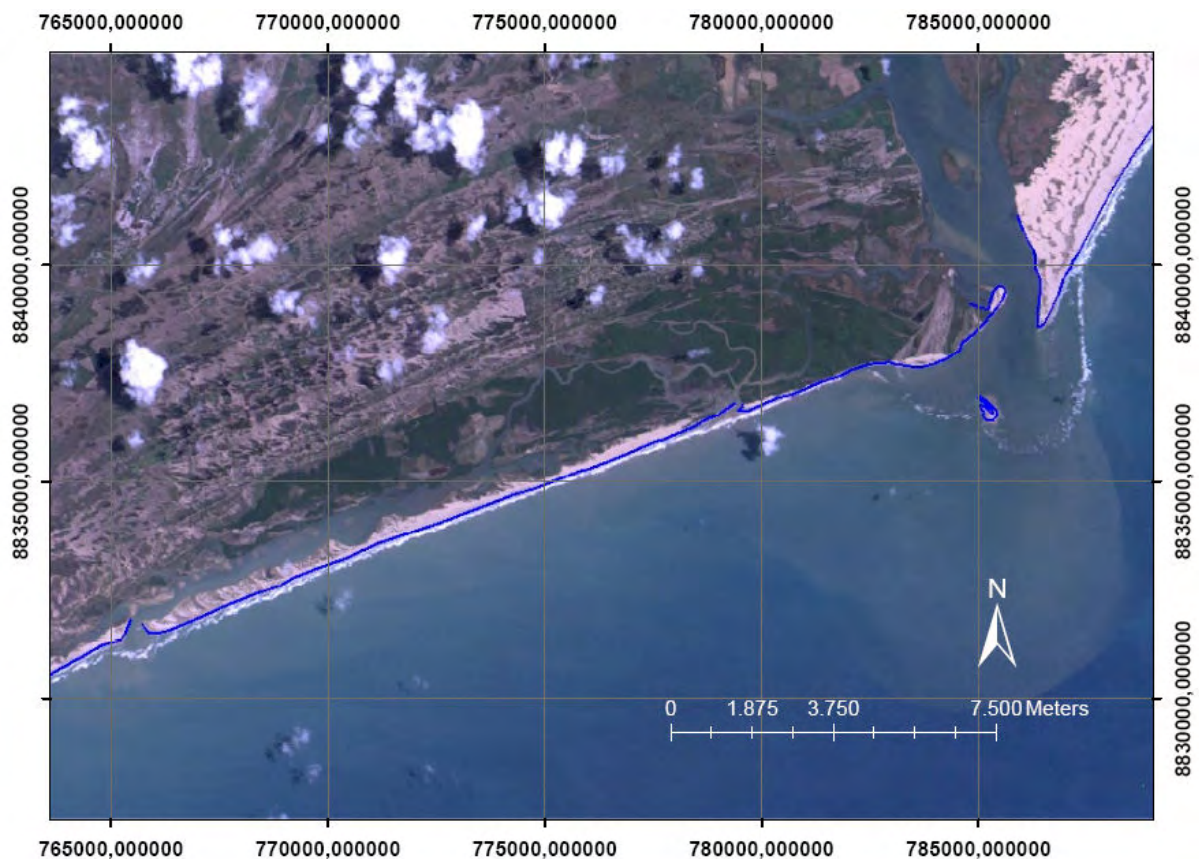


Fig. 21. Linha de costa em 2007, Sub-cena imagem TM LANDSAT 5, órbita ponto 214/67. Data: 30 de setembro de 2007. Horário: 12:22:48 GMT. Composição colorida RGB (TM, 3,2,1).

A Fig. 21 mostra como estava a linha de costa em 2007, sendo interessante notar dois aspectos importantes nesta imagem, o primeiro aspecto é uma sedimentação que ocorreu na área da região 2 e que esta se dando na direção da sedimentação da região 1. Isto é mais um fator que leva a crer que a foz esta caminhando para uma foz protegida por um barramento. Outro aspecto importante é o rompimento de uma nova entrada de água próximo a região 3, que se deu devido à erosão ocorrida na linha de costa nessa região e que provavelmente terá o mesmo comportamento do *inlet*.

5.3. Análise das Series Históricas dos Dados de Pluviosidade

Na área de estudo deste trabalho o quadro climático pode ser sintetizado como sendo do tipo quente possuindo médias de temperaturas anuais superiores a 24°C. Nele podem ser diferenciados dois domínios, um úmido com três meses secos e outro semi-úmido com 4 a 5 meses secos, sendo que o primeiro não se estende por mais que 8 km a partir da linha de costa.

O período no qual a precipitação é mais intensa na região ocorre entre os meses de maio e julho, sendo mais concentrada mais em maio. Já o mínimo de precipitação na área quente e úmida ocorre entre os de dezembro e janeiro e se estende até o mês de fevereiro na área de clima semi-úmida. O mês mais seco pode ocorrer em qualquer um dos três meses.

A análise dos dados das séries históricas de pluviosidade é importante para a verificação se houve alguma variação significativa no volume de chuvas ao longo do período analisado e se essa variação pôde contribuir para aumentar o problema encontrado na foz.

Para se estudar a área foram analisadas séries históricas de pluviometria de três regiões diferentes sendo elas assim divididas, a mais distante da foz, a região de Propriá que fica em torno de 75 km da desembocadura do rio, uma outra, que fica a 30 km da foz e seria a região de Penedo e uma terceira que está a 13 km da foz que é a região de Piacabuçu.

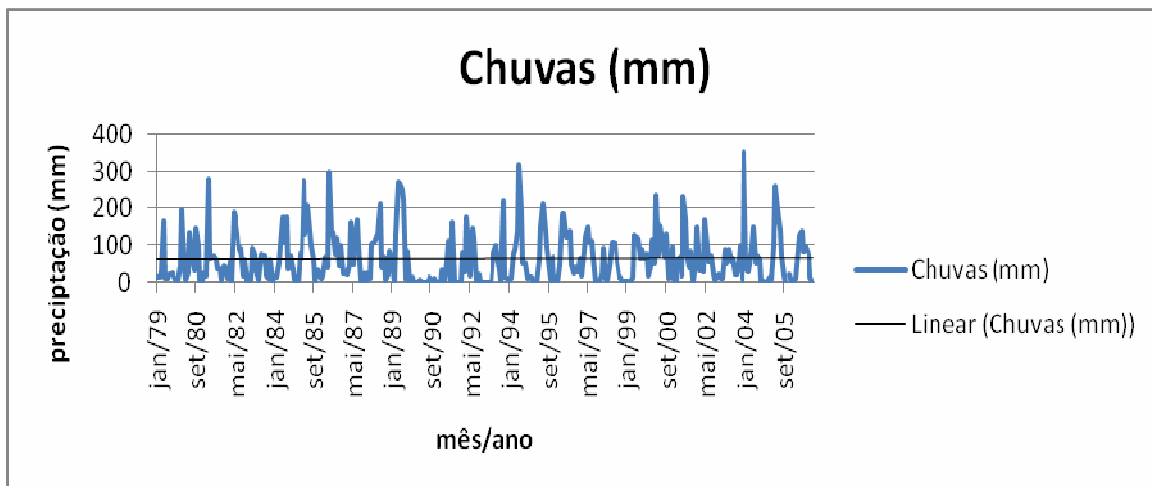


Fig. 22. Gráfico do total mensal de precipitação de chuvas (mm). Obtidos na estação pluviométrica Propriá no período de Jan/1979 à Dez/2006. Latitude -10°13'00"; Longitude -036°50'00"

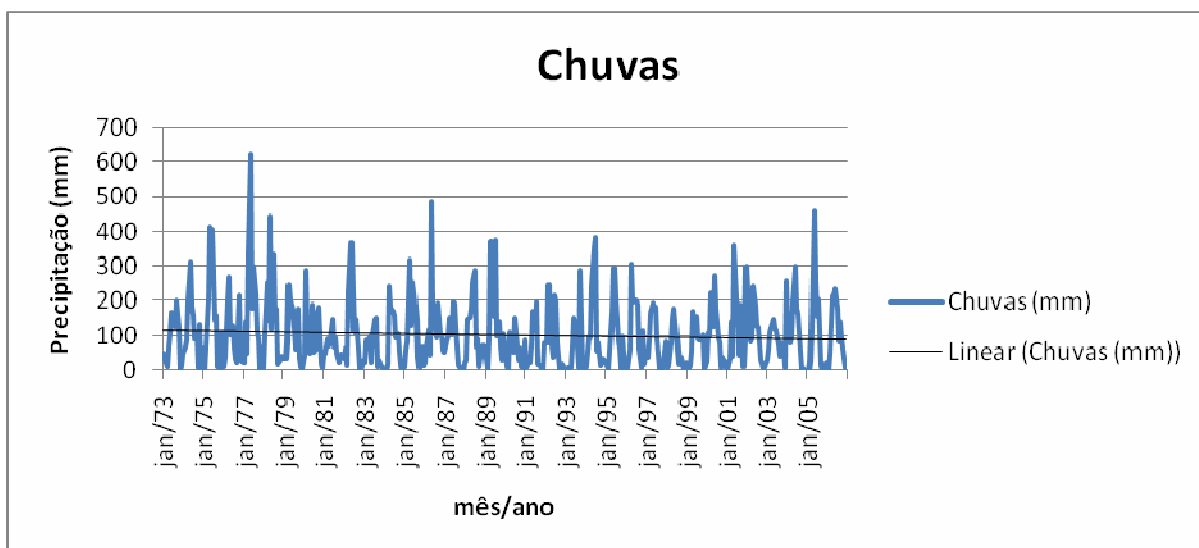


Fig. 23. Gráfico do total mensal de precipitação de chuvas (mm). Obtidos na estação pluviométrica Penedo no período de Jan/1973 à Dez/2006. Latitude -10°17'06"; Longitude -036°33'23".

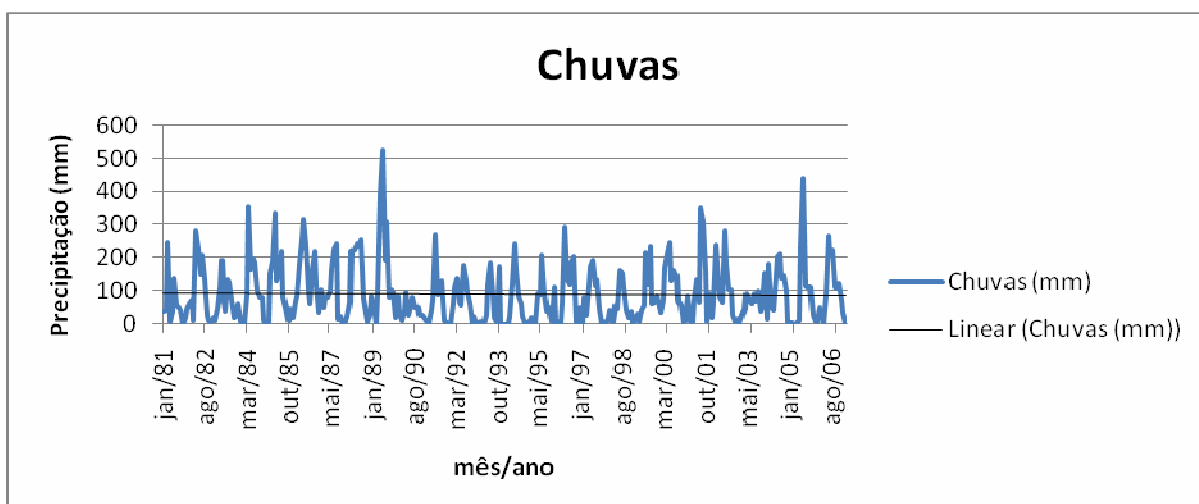


Fig. 24. Gráfico do total mensal de precipitação de chuvas (mm). Obtidos na estação pluviométrica Piacabuçu no período de Jan/1981 à Dez/2006. Latitude -10°24'23" Longitude -036°25'34".

Através da análise das Fig. 22, 23 e 24 fora alguns picos de precipitação, nota-se que não houve variação significativa nos níveis de precipitação para que esta variação causasse alterações no volume de água na região de estudo. O mesmo acontece com as linhas de tendência, que se encontram praticamente constantes no período estudado.

5.4. Análise das Series Históricas dos Dados de Hidrologia

Nesta seção estão as análises à relativas variação no volume de água do rio ao longo do tempo e como ela ocorreu. Os dados aqui coletados são das mesmas regiões onde foram coletados os dados de pluviometria (Propriá, mais distante; Penedo; e Brejo Grande, que fica localizada na margem posterior a Piacabuçu e que está a 13 km da foz). Cabe aqui ressaltar que apesar da estação fluviométrica de Propriá possuir uma pequena série histórica sedimentométrica (de fevereiro de 2000 até junho de 2007) ela é muito espaçada e por isso não forneceu dados conclusivos para se determinar a relação de transporte de sedimentos com nenhum dos parâmetros comparados (velocidade, vazão e cota).

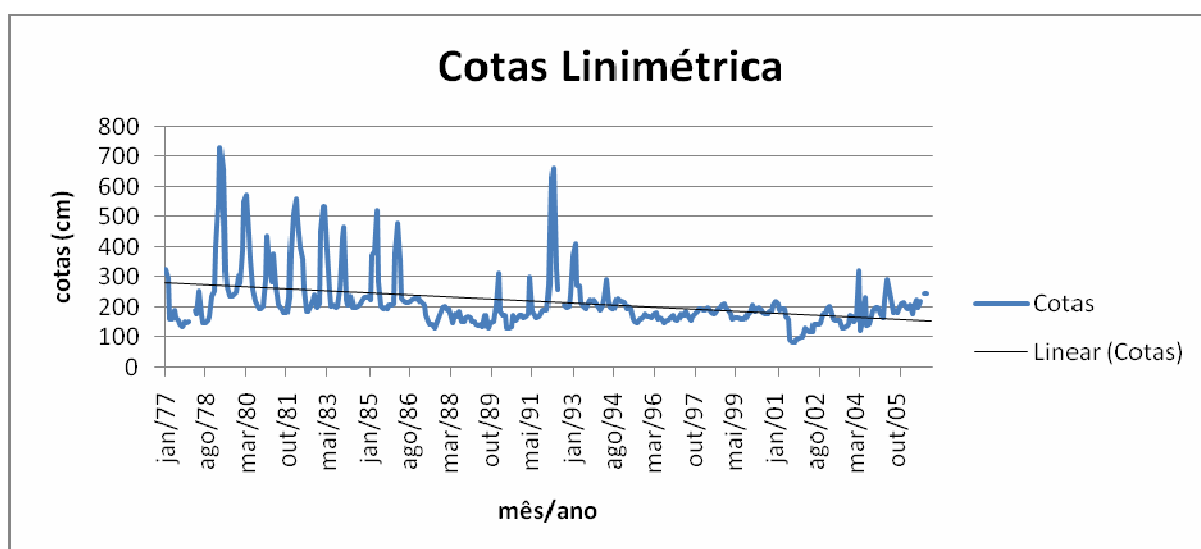


Fig. 25. Gráfico da média mensal das cotas (cm). Obtidos na estação fluviométrica Propriá no período de Jan/1977 à Out/2006. Latitude -10°12'50''; Longitude -036°49'26''.

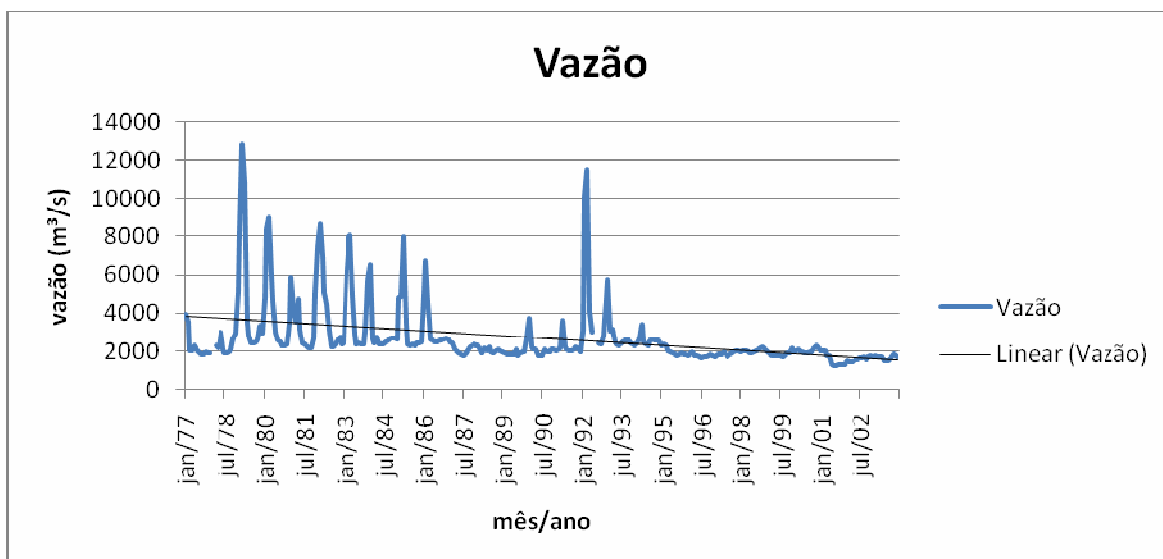


Fig. 26. Gráfico da média mensal das vazões (m³/s). Obtidos na estação fluviométrica Propriá no período de Jan/1977 à Dez/2003. Latitude -10°12'50"; Longitude -036°49'26".

Analisando-se as Fig. 25 e 26, fica claro que a regularização do rio ocorreu mais fortemente a partir de 1987 e que a partir deste período a média das vazões, excluindo-se alguns picos de vazão devido à abertura das comportas das barragens, diminuiu muito ficando em torno do mínimo necessário (2.060 m³/s) para garantir o abastecimento único e exclusivo das usinas hidrelétricas presentes no curso do rio São Francisco. As linhas de tendência demonstram que a vazão realmente está diminuindo.

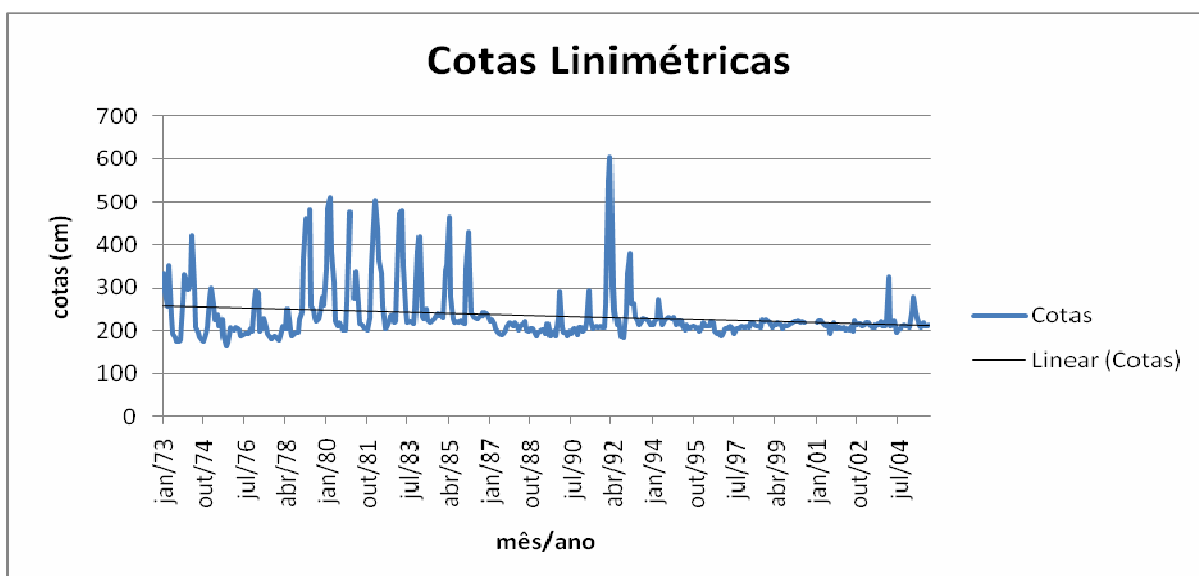


Fig. 27. Gráfico da média mensal das cotas (cm). Obtidos na estação fluviométrica Penedo no período de Jan/1973 à Nov/2005. Latitude -10°17'24"; Longitude -036°35'10".

Na região de Penedo (Fig. 27), a variação das cotas obedeceu ao mesmo padrão encontrado na região a montante. As estações fluviométricas da área não possuem séries históricas de vazão. A vazão poderia ser deduzida a partir das cotas, mas faltam dados para se determinar os coeficientes de relação. Mas, o mais importante neste estudo é a variação temporal, quer sejam elas de vazão, quer sejam de cotas, já que ambas estão relacionadas entre si.

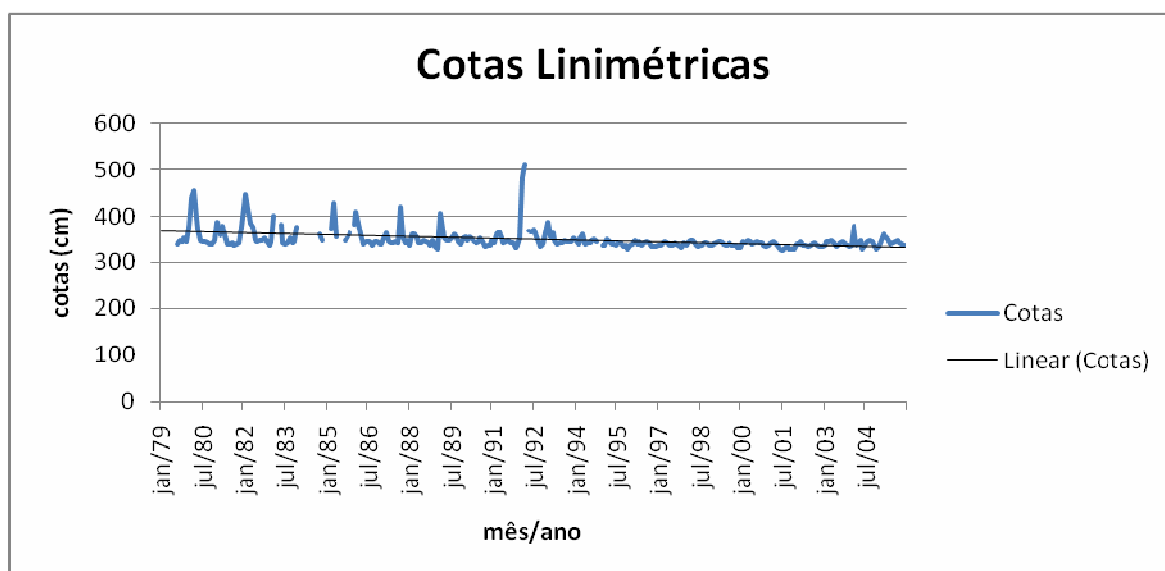


Fig. 28. Gráfico da média mensal das cotas (cm). Obtidos na estação fluviométrica Brejo Grande no período de Jan/1979 à Dez/2005. Latitude -10°24'35''; Longitude -036°28'07''.

Diferentemente das outras duas regiões, na região de Brejo Grande (Fig.28), nota-se que a amplitude da variação das cotas é menor, e as cotas são ligeiramente maiores. Mesmo assim, fica evidente também como a regularização e a diminuição na vazão do rio ocorreu a partir de 1987.

5.5. Os Barramentos e Impactos Ambientais

Nos últimos anos, uma série de impactos ambientais região do delta do Rio São Francisco tem sido atribuídas a sucessivas intervenções humanas no rio São Francisco, principalmente aqueles supostamente resultantes da construção e operação das barragens da Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF), situadas rio acima. As mudanças ambientais atribuídas a estas barragens iniciaram-se no final da década de 70, após a construção da barragem de Sobradinho.

De fato, é de esperar que em casos como o do rio São Francisco, onde grandes barragens foram construídas ao longo de seu curso, alterações profundas ocorram, rompendo o equilíbrio dinâmico natural do sistema fluvial, principalmente à jusante das mesmas. (ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2003)

Muitos são os problemas ambientais produzidos pelas grandes barragens na região, a regularização e diminuição das vazões do rio e mudanças significativas no seu comportamento hidráulico e sedimentológico. Além de graves consequências socioeconômicas e culturais advindas das alterações no meio ambiente.

As múltiplas demandas pelos recursos hídricos do rio São Francisco se configura como um típico quadro de conflito pelo uso das águas e entre desenvolvimento e meio ambiente. A operação dos reservatórios, centralizada na geração de energia e no fornecimento de água para irrigação, considerando marginal o atendimento de prioridades ecológicas, ao passo em que fomentou o desenvolvimento do nordeste, gerou um forte passivo ambiental e sócio-econômico. (ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2003)

Com relação aos principais impactos gerados pela construção das grandes barragens cabe aqui destacar como mais importantes na região da foz a diminuição das cheias, redução na capacidade de transporte do rio, a diminuição do teor de nutrientes e partículas finas em suspensão no rio, modificação na dinâmica costeira, desequilíbrio entre processos marinhos e fluviais, déficit de aporte de sedimentos, recuo da linha de costa, por erosão, destruição do povoado Cabeço em Sergipe pela erosão e diminuição na quantidade de camarões e peixes sobretudo as espécies mais nobres.

Para se analisar a influência das barragens sobre o regime hídrico e sedimentológico do rio São Francisco podem ser adotados três períodos.

O primeiro período (1978-1987) corresponde à fase em que se iniciou a influência da Barragem de Sobradinho sobre o regime hidrosedimentológico. Sobradinho representa um marco na história hidrológica e sedimentológica do São Francisco e representa a mais significativa intervenção e controle do homem sobre estas condições.

O segundo período (1988-93), corresponde a fase em que são somadas as participações de Sobradinho e Itaparica, além de Paulo Afonso IV e Moxotó (este, um reservatório de regularização semanal), ampliando o controle sobre as vazões e a retenção de sedimentos no trecho abaixo de Sobradinho. Esta fase é importante, pois, além da maior redução no aporte de sedimentos, representa um maior controle sobre as altas vazões e eventuais cheias. Quanto à carga sedimentar e de nutrientes, além da sucessiva retenção promovida por cada barragem, a ausência de descarregadores de fundo impossibilita uma reposição, mesmo que parcial.

O terceiro período (1994-2001), correspondente à fase sob influência direta da Usina Hidroelétrica de Xingó. Pela sua posição e influência, Xingó pode ser considerada como uma nascente artificial do rio para o trecho compreendido até a Foz, que a rigor não pode mais ser considerado um rio natural. Apesar de Xingó ser uma usina que trabalha a fio d'água, ela representa um marco significativo na artificialização e controle das condições hidrosedimentológicas do trecho compreendido até a foz.

Fica claro assim a correlação dos eventos ocorridos na foz e a construção de grandes barramentos ao longo do curso do rio São Francisco.

6. Conclusões

Este trabalho contribui para a compreensão do atual processo de erosão que vem ocorrendo na foz do delta do Rio São Francisco e fornece subsídios para auxiliar a minimização dos impactos atuais e futuros na região, por meio de um planejamento mais adequado à realidade local.

As conclusões mais evidentes oriundas de tudo o acima exposto são as seguintes:

- A intervenção das barragens no processo de sedimentação e erosão costeira foi fundamental para a modificação da dinâmica da foz.
- O processo que se iniciou com a barragem de Sobradinho, se agravou sensivelmente após a construções das barragens de Itaparica, de Paulo Afonso IV e Moxotó, isto devido a um maior controle sobre as vazões e maior retenção de sedimentos em seus reservatórios.
- A linha de costa à norte da foz regrediu, devido principalmente a influência da Corrente Brasil que passa próximo a linha da costa local. O material erodido nesta área é depositado na margem nordeste da foz do rio devido à interação da Corrente Brasil com as águas do rio São Francisco.
- A margem sudoeste da foz sofreu um processo intenso de erosão porque além da corrente fluvial transportar agora menos sedimentos, sua vazão decaiu muito sendo rompendo assim o equilíbrio hidrodinâmico local.

As principais dificuldades encontradas para a realização deste trabalho foi a carência de dados históricos confiáveis, das redes de monitoramento de órgãos Estaduais e Federais para dar embasamento às idéias aqui desenvolvidas. Algumas questões ficaram em aberto, tal como quanto a construção das barragens influenciou no processo de erosão, já que no litoral brasileiro existem outros casos de erosão acelerada em rios onde não há a construção de

barragens; houve alguma mudança na direção das correntes marítimas que pudesse estar influenciando a região; houve alterações no nível do mar e no regime de marés.

A área de estudo é extremamente instável, portanto para qualquer intervenção no rio ou na região próxima a foz, devem ser levados em conta os possíveis impactos nesta região, além do devido planejamento nas fases anteriores à execução do projeto visando a minimização de impactos e redução de conflitos na região.

7. Referências Bibliográficas

ANA/GEF/PNUMA/OEA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS / FUNDO PARA O MEIO AMBIENTE MUNDIAL / PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE / ORGANIZAÇÃO DOS ESTADOS AMERICANOS. Resumo Executivo do Relatório Final, Estudo do Processo Erosivo das Margens do Baixo São Francisco e seus Efeitos na Dinâmica de Sedimentação do Rio, Aracaju – SE, 2003

ARAÚJO, A. E. M.; SEGUNDO, G.H.C.; HERNANDEZ, A. O.; SANTOS-Jr, R. C. S.; OLIVEIRA, A. M.. A Morte do Rio São Francisco. IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário - ABEQUA, II Congresso do Quaternário de Países de Língua Ibéricas e II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa. Recife, outubro de 2003

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Secretaria-Geral. Projeto RADAMBRASIL. Folhas SC.24/25 Aracaju/Recife; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1983, 856 p.

CARVALHO, M. E. S.; FONTES A. L.. Estudo Ambiental da Zona Costeira Sergipana Como Subsídio ao Ordenamento Territorial. GEONORDESTE, Ano XV, Nº 2, 2006

CBHSF, Comitê de Bacias Hidrográficas do Rio São Francisco, nº 01 – Julho e Agosto/2006. Boletim Impresso.

CODEVASF. Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco. Plano diretor para o aproveitamento dos recursos hídricos da Bacia do São Francisco no Estado de Sergipe. Brasília, 1984, 188 p.

DIAS-BRITO, D.; SEMENSATTO-Jr., D. L.. Análise Ambiental de uma Área Parálisa no Delta do rio São Francisco, Sergipe-Brasil, com Base na Sinecologia de Foraminíferos e Tecamebas (Protista). Revista Brasileira de Paleontologia nº 7, Janeiro/Junho 2004, 53-66 p.

FONTES, L. C. S. Evolução da linha de costa e erosão costeira na foz do rio São Francisco e relação com impactos de grandes barragens (provisório). Tese de Doutorado, Universidade Federal da Bahia, UFBA.

KNOPPERS B.; LORENZZETTI J. A.; MEDEIROS P. R. P.; NEGRI E.. Uso de imagens LANDSAT como subsídio ao estudo da dispersão de sedimentos na região da foz do rio São Francisco, Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 3429-3436.

MABESOONE, J. M.. Sedimentologia, 2ª edição. Universidade Federal de Pernambuco Editora Universitária, Recife – PE, 1983.

MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Erosão e progradação no litoral brasileiro, Brasília, 2006, 476 p.

SEPLAN. SECRETARIA DE ESTADO DO PLANEJAMENTO. Informes Municipais Brejo Grande. Governo do Estado de Sergipe, 2004.

SUASSUNA J.. Rio São Francisco: conflitos nos usos de suas águas. Fundação Joaquim Nabuco. Recife, 08 de junho de 1999.

<http://www.mma.gov.br/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=78&idMenu=5113&idConteudo=5627> última consulta em 13/10/07

<http://www.cpgg.ufba.br/lec/BEeros.htm> última consulta em 13/10/07

<http://www.ana.gov.br/> última consulta em 13/10/07

http://www.infonet.com.br/cinformmunicipios/municipio_brejo.htm última consulta em 13/10/07

<http://geografia.igeo.uerj.br/xsbgfa/cdrom/eixo3/3.3/343/343.htm> última consulta em 22/09/08

<http://www.inpe.br/> última consulta em 22/09/08

<http://www.saofrancisco.cbh.gov.br/> última consulta em 23/09/08