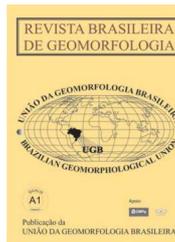




www.ugb.org.br  
ISSN 2236-5664

## Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 16, n° 4 (2015)



### MORFODINÂMICA ESTUARINA E VARIAÇÕES DO DELTA DE MARÉ-VAZANTE NO RIO VAZA-BARRIS, SE, BRASIL

### ESTUARINE MORPHODYNAMICS AND VARIATIONS OF THE EBB-TIDAL DELTA IN THE VAZA-BARRIS RIVER, SE, BRAZIL

**Luana Santos Oliveira**

*Departamento de Geografia, Universidade Federal de Sergipe  
Av. Marechal Rondon, s/n Jardim Rosa Elze, São Cristóvão, Sergipe, CEP 49100-000, Brasil  
Email: luana.oliveira@ufs.br*

**Rosemeri Melo e Souza**

*Departamento de Geografia, Universidade Federal de Sergipe  
Av. Marechal Rondon, s/n Jardim Rosa Elze, São Cristóvão, Sergipe, CEP 49100-000, Brasil  
Email: romeufs@ufs.br*

#### Informações sobre o Artigo

Data de Recebimento:  
10/06/2015  
Data de Aprovação:  
26/08/2015

#### Palavras-chave:

Bancos Arenosos, Transpasse de Sedimentos, Sedimentação Costeira.

#### Keywords:

Sandy Bars; Bypassing Sediment; Coastal Sedimentation Processes.

#### Resumo:

As linhas de costa que são contíguas às desembocadura fluviais, tendem a apresentar grandes variações no seu posicionamento, principalmente se estiveram sob influência de deltas de maré-vazante. Dentro deste contexto, destaca-se a desembocadura do rio Vaza-Barris no estado de Sergipe, sob influência de um delta de maré-vazante, que torna a linha de costa das adjacências extremamente instáveis. À vista disso, o presente trabalho teve por escopo analisar evolução da desembocadura do rio Vaza-Barris, associado à influência do delta de maré-vazante nas variações do posicionamento da linha de costa. A pesquisa também se incumbiu de avaliar os perigos e riscos que estes ambientes podem oferecer diante da elevada dinamicidade. A metodologia consistiu no mapeamento dos bancos arenosos e da linha de costa a partir da linha de preamar de 1831; de cartas náuticas (1868); de fotografias aéreas (1965, 1971, 1978 e 1986); de imagens de satélite QuickBird (2003, 2008 e 2014) e imagens de satélite Rapideye (2010 e 2014). O mapeamento e a interpolação dos dados foram realizados no programa de geoprocessamento ArcGis 10.2.1. Constatou-se que o modelo evolutivo que mais se aproxima da desembocadura do Vaza-Barris é o “Rompimento da Plataforma do Pontal” (Spit Platform Breaching). Os resultados obtidos mostraram que as linhas de costa das áreas adjacentes à referida desembocadura apresentaram elevada variabilidade. A comparação entre o posicionamento da linha de costa ao longo dos últimos 50 anos apontou que a barlamar houve tendência geral à progradação, com avanços variando entre 200 e 600m. Enquanto que a sotamar, identificou-se tendência geral à erosão, com recuos de até aproximadamente 1000m. Destaca-se que, apesar da tendência geral observada dentro o período de análise, houve eventos de sedimentação e erosão de menores proporções em

ambas as margens da desembocadura. Esta elevada dinamicidade foi atribuída à dinâmica do delta de maré-vazante defronte à desembocadura do referido rio. Foi verificada uma estreita relação entre a proximidade ou distância dos bancos arenosos, aos processos de progradação ou erosão da linha de costa, respectivamente. Tal estudo revelou que as áreas próximas à desembocadura estudada apresentam perigos à ocupação, em função da elevada vulnerabilidade à erosão costeira. Apesar da não existência de ocupação efetiva, as proximidades da desembocadura tem se constituído alvo da especulação imobiliária, o que a classifica como área de riscos em potencial. Destarte, tal estudo expõe a importância do conhecimento da dinâmica das desembocaduras fluviais associadas à dinâmica do delta de maré-vazante na configuração da linha de costa, para fins de planejamento ambiental.

#### **Abstract:**

The contiguous coastlines to the river mouth tend to vary widely their position, especially if they were under the influence of ebb-tidal deltas. In this context the mouth of the Vaza-Barris river located in the state of Sergipe call the attention because it's under the influence of a ebb-tidal delta, which makes the adjacent coastline extremely unstable. From this perspective, the present study intended to analyze the evolution of the Vaza-Barris river's mouth associated to the way that ebb-tidal delta influences variably of the shoreline position. The survey also proposed to avaiate the dangers and risks that these environments can offer because of their intense dynamics. The methodology consisted in mapping the sandy bars and coastline from the high tide line 1831; nautical charts (1868); aerial photographs (1965, 1971, 1978 and 1986); QuickBird satellite images (2003, 2008 and 2014) and RapidEye satellite images (2010 and 2014). The mapping and data interpolation were performed in the GIS program ArcGIS version 10.2.1. It was found out that the evolutionary model which is closest to the Vaza-Barris's mouth can be classified as a Spit Breaching Platform. The results obtained showed that the coastlines of adjacent areas are submitted to an intense morphological variability. The comparison between the position of the shoreline over the last 50 years indicated for the shoreline as the updrift side of the river mouth a general tendency to progradation, with advances ranging between 200 and 600meters. In opposition for the downdrift side a general tendency to erosion with decreases up to about 1000meters was observed. Despite the general trend observed among the analysed interstice, it's important to contrast that there was events minor of sedimentation and erosion in both the margins. This high dynamism was attributed to the dynamics of tide ebb delta front of the mouth of that river. A close relationship between the proximity or distance of sandy bars and respectively progradational or erosive processes was found. This work confirmed that the human occupation should be avoided around areas near the river mouth studied because the high vulnerability to coastal erosion. Even though the absence of effective occupation nowadays, the vicinity of the mouth has being object of real estate speculation which contributes to classify it as a potentially hazardous area. Thus, this study exposes the importance of knowledge of the dynamics of river mouths associated to dynamics of tide ebb delta on the shoreline configuration in order to environmental planning propositions.

#### **Introdução**

O ambiente costeiro constitui uma paisagem que apresenta grande complexidade devido à interação dos elementos físicos (continente, atmosfera e oceano) e antrópicos. Dentre os elementos físicos que modelam a paisagem costeira, destacam-se as ondas, as correntes litorâneas, o regime de marés, o regime de ventos, a variação do nível do mar, entre outros (DAVIS; FITZGERALD, 2004; ESTEVES, 2003; STIVE *et al.*, 2002; BIRD, 2008, CLAYTON *etal*, 1992, MORTON *et al.*, 1983; TERICH *et al.*, 1987).

A linha de costa, definida como a interface entre a terra e a água (DOLAN *et al.*, 1980), é extremamente

instável em função de ser suscetível a elevada dinâmica dos referidos agentes costeiros, os quais contribuem para as constantes modificações no posicionamento da linha de costa ao longo do tempo. Acrescenta-se, ainda, que as linhas de costa associadas às desembocaduras fluviais são extremamente instáveis, uma vez que estão correlacionadas, além de todos os agentes citados, às variações na descarga fluvial (COOPER, 1999; ESTEVES, 2003; WRIGHT, 1977).

As desembocaduras, assim, representam uma interrupção no sistema de transporte sedimentar ao longo da costa (FITZGERALD, 1982), em que o movimento dos sedimentos é constante, em razão da ação

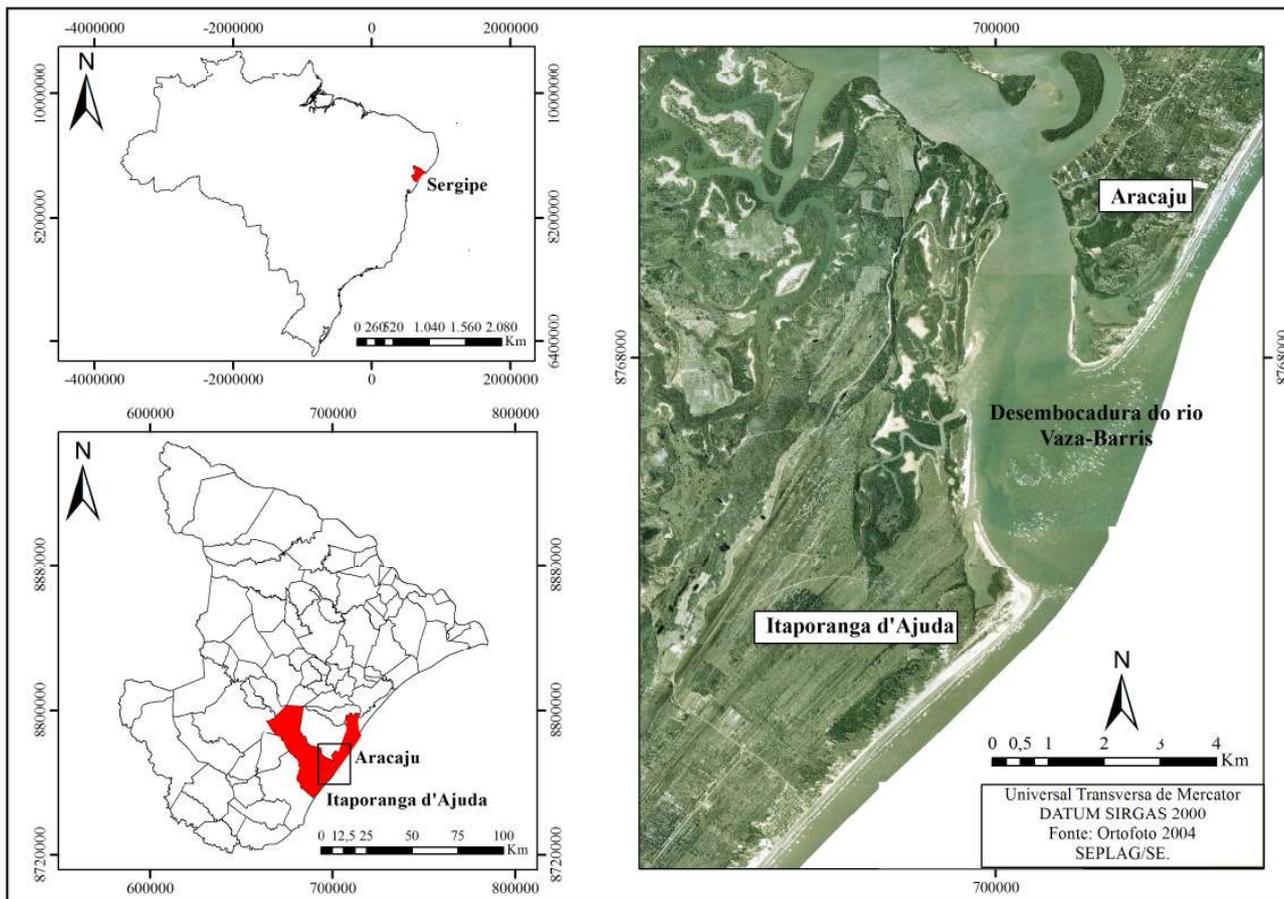


Figura 1 - Localização da Área de Estudo

combinada de ondas e correntes, sobreposto a batimetria altamente variável dos canais (FITZGERALD, KRAUS, HANDS, 2000). Essa instabilidade também pode ser associada ao transporte sedimentar, já que as desembocaduras fluviais diminuem a capacidade de transporte de sedimentos do sistema de deriva litorânea, causando alterações no comportamento a barlamar (*updrift*) e a sotamar (*downdrift*) (MARTIN *et al.*, 1996). Em função dessas características, as proximidades deste ambiente são complexas, tornando-se um dos sistemas mais difíceis, dentro da zona costeira, de se analisar (FITZGERALD, KRAUS, HANDS, 2000).

O transporte de sedimentos nas desembocaduras é designado de *bypassing*, o qual é definido como o processo que move os sedimentos de barlamar (*updrift*) para sotamar (*downdrift*) (FITZGERALD; HUBBARD; NUMMEDAL 1978; FITZGERALD 1982; 1984; 1988). FitzGerald; Hubbard; Nummedal (1978) destacaram os modelos de transpasse (*bypassing*) de sedimentos e evolução para canais de maré, que também podem ser

aplicados às análises de evolução das desembocaduras fluviais. Em trabalho posterior, FitzGerald, Kraus, Hands (2000), acrescentaram seis modelos aos três já conhecidos, totalizando nove.

Dentre as feições costeiras que influenciam sobremaneira na morfologia das linhas de costa contíguas às desembocaduras fluviais, destacam-se os deltas de maré-vazante (*ebb-tidal deltas*). Estes são definidos como acumulações de areia, defronte às desembocaduras, formados pela interação das correntes de maré e das correntes geradas pelas ondas, ou seja, da corrente longitudinal (FITZGERALD, 1984). Estas feições constituem uma importante reserva de sedimentos para as linhas de costa adjacentes às desembocaduras (ELIAS, 2001).

A progradação e a erosão da linha de costa associadas aos deltas de maré vazante foram estudadas por diversos autores como: Angulo (1993), Bittencourt *et al.* (2001), Elias (2001), Elias; Spek (2006), Elias; Stive; Roelvink (2005), Fenster; Dolan (1996), FitzGerald

(1982), FitzGerald (1984), FitzGerald *et al.* (2002), FitzGerald; Hubbard; Nummedal (1978), FitzGerald; Pendleton (2002), Lynch-Blosse; Kumar (1976), Leeuwen; Vegt; Swart (2003), entre outros. Todos os autores citados constataram que as áreas que estão sob influência dos deltas de maré-vazante tendem a apresentar grandes variações no posicionamento da linha de costa nas vizinhanças das desembocaduras.

Para além das considerações a respeito da dinâmica natural, há de se considerar que em função da elevada variabilidade morfodinâmica destes ambientes, tais áreas apresentam elevada fragilidade ambiental, além de oferecer riscos à ocupação, em função de eventos naturais como a erosão costeira. Não obstante as fragilidades e os riscos apresentados, o ambiente costeiro apresenta um complexo paisagístico muito valorizado e especulado pelo turismo e pelas empresas imobiliárias.

Dentro desta complexa relação, destaca-se a desembocadura do rio Vaza-Barris, no estado de Sergipe, Brasil. No que concerne aos aspectos naturais, observa-se a existência de um delta de maré-vazante associado à referida desembocadura. Neste ambiente têm ocorrido grandes variações nos processos de sedimentação e erosão nas últimas décadas.

Já no que se refere à interferência antrópica, atualmente é um ambiente com ocupações incipientes, que não agem diretamente sobre a dinâmica natural. Apesar desta atual característica a referida área tem sido alvo de especulação, altamente cotada para novos empreendimentos turísticos e residenciais.

Destarte, o presente trabalho tem por escopo identificar como se deu a evolução da desembocadura do rio Vaza-Barris, a partir do modelo de transpasse (*bypassing*) de sedimentos, associados às modificações do posicionamento da linha de costa e da morfologia do delta de maré-vazante. Tal estudo irá contribuir no sentido de apontar os perigos e riscos que podem estar associados à ocupação nestes ambientes.

### Área de Estudo

A área investigada compreende a desembocadura do rio Vaza-Barris no estado de Sergipe (Figura 1). A margem esquerda está contida no município de Aracaju-SE e compreende a praia do Mosqueiro. Já a margem direita da desembocadura está contida no município de Itaporanga D'Ajuda-SE e compreende a praia da

Caueira.

A paisagem costeira da região é formada por depósitos holocênicos do Quaternário. Tais depósitos foram individualizados e descritos por Bittencourt *et al.* (1983) em:

- Depósitos Marinheiros: São compostos por areias bem selecionadas, podendo conter conchas marinhas. Compreendem os terraços marinheiros holocênicos os quais estão localizados na borda externa dos terraços pleistocênicos ao longo de toda a costa.

- Depósitos de Mangue: São compostos de sedimentos argilo-siltosos, ricos em material orgânico. São encontrados em regiões sob influência das marés. Compreendem as áreas de planície de maré, as quais, na área de estudo, subdividem-se em: inframaré (porção sub-aquaosa), intermarés (vegetada pelo mangue) e supramaré (área de apicum).

- Depósitos Eólicos: São constituídos por sedimentos arenosos de granulometria fina, bem selecionados, com grãos arredondados. Estes depósitos compreendem as dunas que bordejam todo o litoral. Ocorrem sobre os terraços marinheiros holocênicos.

O clima da área investigada é do tipo tropical úmido, com temperatura média anual de 28°C e precipitação pluviométrica média anual de 1.200 mm.

O regime de marés da região é do tipo meso-maré de caráter semi-diurno, com amplitude máxima de 2,0 m e mínima de -0,1 m. As maiores amplitudes ocorrem nas marés de sizígia, principalmente nos meses de março, abril, agosto, setembro e outubro (Diretoria de Hidrografia e Navegação, 2015).

De acordo com o modelo de ondas elaborado por Pianca; Mazzine; Siegle (2010) e por Oliveira (2003), para o setor que compreende esta porção do litoral de Sergipe, detectou-se que as ondas incidentes são geradas pela ação dos ventos alísios, possuindo a predominância de E e secundariamente de SE. As ondas são reforçadas durante o inverno por ondas de S e SSE, associadas ao avanço das frentes polares, com o aumento na altura das ondas, que podem chegar a 3 m ou 4 m de altura (PIANCA; MAZZINE; SIEGLE, 2010).

No que se refere à deriva litorânea, como a orientação da linha de costa de Sergipe é de NE-SW, e a direção que predomina na incidência de ondas é de E, a corrente de deriva litorânea, e conseqüentemente, o sentido do transporte de sedimentos é predominantemente de NE-SW (OLIVEIRA, 2003).

No que concernem as vazões médias do rio Vaza-Barris, observa-se elevada variação nas últimas décadas. A tabela 1 aponta para tais médias entre os anos de 1971 e 2014.

**Tabela 1: Vazão média anual por m<sup>3</sup> entre 1971 e 2014 da desembocadura do rio Vaza-Barris/SE.**

Ano	Vazão	Ano	Vazão	Ano	Vazão
1971	6,29	1986	9,42	2001	3,08
1972	6,76	1987	5,49	2002	14,23
1973	16,73	1988	24,58	2003	2,60
1974	32,38	1989	24,11	2004	18,47
1975	21,26	1990	12,06	2005	6,14
1976	4,31	1991	8,98	2006	1,62
1977	11,91	1992	13,40	2007	7,64
1978	21,29	1993	3,06	2008	8,20
1979	9,12	1994	10,22	2009	10,70
1980	13,15	1995	5,88	2010	9,93
1981	14,33	1996	6,81	2011	7,54
1982	5,63	1997	17,09	2012	4,05
1983	3,30	1998	4,79	2013	7,76
1984	6,01	1999	5,71	2014	7,51
1985	23,45	2000	5,21		

Fonte: Agência Nacional das Águas – ANA.

## Materiais e Métodos

Os mapas que compuseram este trabalho foram confeccionados sobre uma base cartográfica composta por:

- Linha de preamar de 1831, cedida pela Secretária de Patrimônio da União (SPU) - DPU/SE;
- Cartas náuticas de 1868, da Diretoria de Hidrografia e Navegação;
- Fotografias aéreas de 1965, cedidas pela PETROBRAS;
- Fotografias aéreas de 1971, cedidas pela TERRA-FOTO;
- Fotografias de 1978 e 1986, cedidas pela Secretária de Planejamento do estado de Sergipe;
- Ortofotos de 2004 - cedidas pela Secretária de Planejamento do estado de Sergipe;

- Imagens de satélite Quickbird de 2003, 2008 e 2014, cedidas pela Empresa Municipal de Obras e Urbanização de Aracaju/SE;

- Imagens de satélite RapidEye de 2012 e 2014, cedidas pelo Ministério do Meio Ambiente.

As fotografias aéreas e imagens de satélite foram georreferenciadas com auxílio do programa GLOBAL MAPPER 15, tomando por base ortofotos do ano de 2004. Utilizou-se o sistema de projeção UTM e o datum SIRGAS BRASIL 2000. Após o georreferenciamento, foram confeccionados os mosaicos da área de estudo com o auxílio do programa de geoprocessamento ARC GIS 10.2.1.

Posteriormente, foram confeccionados, também com auxílio do ARC GIS 10.2.1., os mapas multitemporais da linha de costa e dos bancos arenosos, que constituem o delta de maré vazante.

O posicionamento da linha de costa e dos bancos arenosos foi adquirido para os anos de 1965, 1971, 1978, 1986, 2003, 2008, 2012 e 2014 para a margem esquerda da desembocadura do rio Vaza-Barris, e para os anos de 1965, 1971, 1986, 2003, 2012 e 2014 para a margem direita da desembocadura. A inexistência de imagens aéreas da margem direita do referido rio impossibilitou o mapeamento, para fins de análise comparativa, dos anos de 1978 e 2008.

Para o mapeamento da linha de costa foi utilizado o indicador da linha de preamar máxima, a qual é identificada nas imagens aéreas como o limite entre a areia seca e areia molhada (ESTEVES, 2003). Ressalta-se que, não obstante as ressalvas existentes quanto ao referido indicador (MUEHE; KLUMB-OLIVEIRA, 2014), este foi adotado tendo em vista os seguintes fatores: a morfodinâmica da praia, que apresenta características dissipativa; a amplitude das variações que superam consideravelmente a amplitude da variação da largura média da praia; e o uso de uma série multitemporal de imagens que, de acordo com Muehe; Klumb-Oliveira (2014), reduz notadamente possíveis erros de interpretação.

As linhas de costa e as bancos arenosos dos diferentes anos foram sobrepostos, de forma a possibilitar a análise multitemporal e comparativa, a fim de visualizar as modificações no seu posicionamento ao longo do tempo.

As análises realizadas nesta pesquisa tiveram um suporte teórico e metodológico fornecido por FitzGerald, Kraus, Hands (2000), no que concerne à evolução das desembocaduras, em que foi aplicado o modelo de transpasse de sedimentos. Tal modelo expõe diversas formas de mobilidade do canal, das quais se destacam: Canais Estáveis (*Stable Inlet Processes*), Quebra do

Delta de Maré-Vazante (*Ebb-Tidal Delta Breaching*), Migração do Canal e Quebra do Pontal Arenoso (*Inlet Migration Spit Breaching*), Canal Exterior Deslocável (*Outer Channel Shifting*), Quebra da Plataforma do Pontal Arenoso (*Spit Platform Breaching*), Canal Dominado pela Ação das Ondas (*Wave-Dominated inlets*). Estes estão expostos na figura 2.

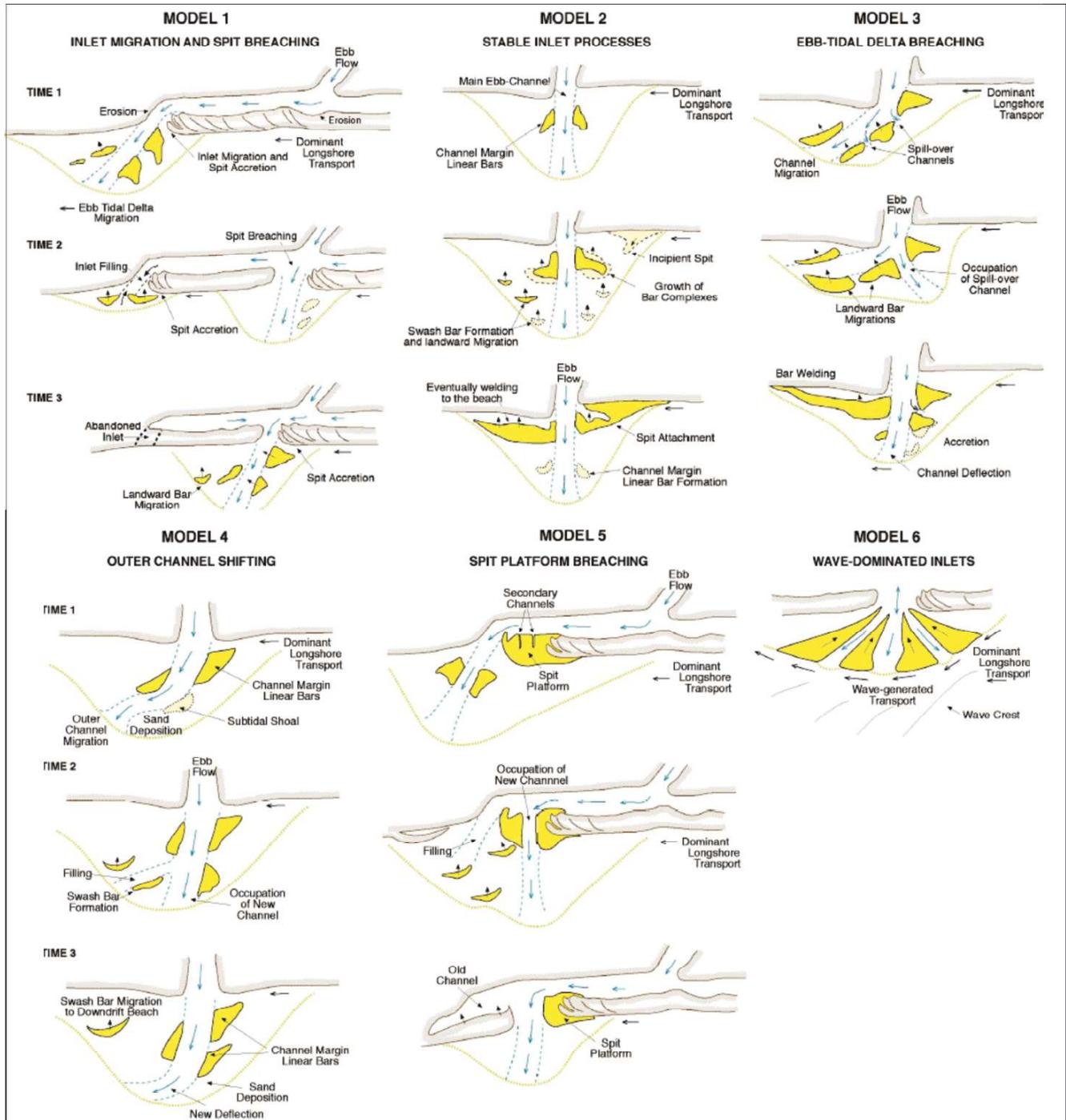


Figura 2 - Modelos conceituais de evolução das desembocaduras associados ao transpasse (bypassing) de sedimentos.

Já para análise da relação entre a movimentação dos bancos, que compõe o delta de maré-vazante, e as variações no posicionamento da linha de costa, utilizou-se o modelo conceitual exposto por Elias (2001) e FitzGerald (1982, 1988). As considerações realizadas pelos referidos autores foram transpostas para a figura 3.

Ressalta-se que as análises aqui realizadas, basearam-se em modelos de evolução, logo podem apresentar

pequenas distorções quando transpostos a realidades distintas.

A partir da análise dos mapas elaborados, juntamente a aplicação dos modelos supracitados, associado à utilização de outras bibliografias, foi possível identificar como se deu a evolução da desembocadura do rio Vaza-Barris, a migração do delta de maré vazante e sua correlação com a movimentação da linha de costa.

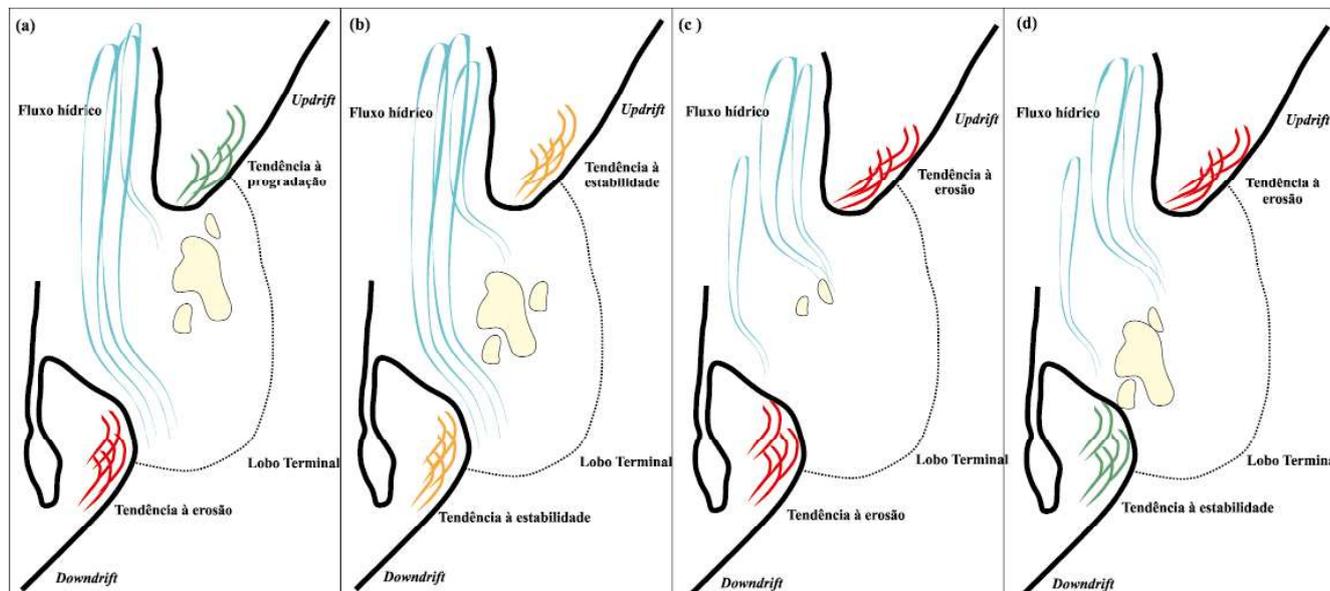


Figura 3 - Modelo esquemático da movimentação dos bancos do delta de maré-vazante nas desembocaduras.

## Resultados e Discussão

### Transpasse (*Bypassing*) de Sedimentos e Evolução da Desembocadura do Rio Vaza-Barris

FitzGerald (1982) definiu que o transpasse (*bypassing*) de sedimentos e a consequente migração dos bancos arenosos nas desembocaduras está associado ao tipo de energia predominante. De acordo com esse autor, onde há a predominância das correntes geradas pela ação das ondas, os sedimentos são continuamente transferidos em torno do canal pela ação destes bancos emersos ou submersos. Já onde há predominância da ação das correntes de maré, o transporte acontece a partir da migração dos bancos e posterior anexação à costa.

Em acréscimo, Hubbard *et al.* (1979), aponta que os bancos que constituem o delta de maré vazante dominados por ondas tendem a posicionar-se no interior dos canais ou desembocaduras, enquanto que os bancos nos deltas de maré-vazante dominados pelas marés tendem a se estender para *offshore*.

Na área em estudo, observou-se que não obstante

os bancos tenham migrado constantemente em direção às proximidades das margens, não houve registro de episódio em que estes se anexaram à praia. Ou seja, constituíram-se basicamente como reserva de sedimentos à costa. Tal característica, baseado nas aferições de FitzGerald (1982), aponta para o fato de que o transpasse de sedimentos é realizado pelos bancos e que a referida desembocadura é dominada pela ação das correntes geradas pelas ondas (figura 4). Em adendo, enfatiza-se que os bancos localizaram-se majoritariamente no interior da desembocadura ao longo do período estudado, o que ratifica a circunstância de que o delta de maré-vazante presente na área é dominado pela ação das ondas, e não pelas correntes de maré.

Com a finalidade de classificar a evolução da desembocadura do rio Vaza-Barris, comparou-se as linhas de costa pretéritas e a evolução em médio prazo, aos modelos conceituais de evolução apontados por FitzGerald, Kraus, Hands (2000) (vide figura 2). Para tal analogia, foi analisada a linha de costa de 1831, a morfologia da desembocadura em 1868 e a morfologia atual.

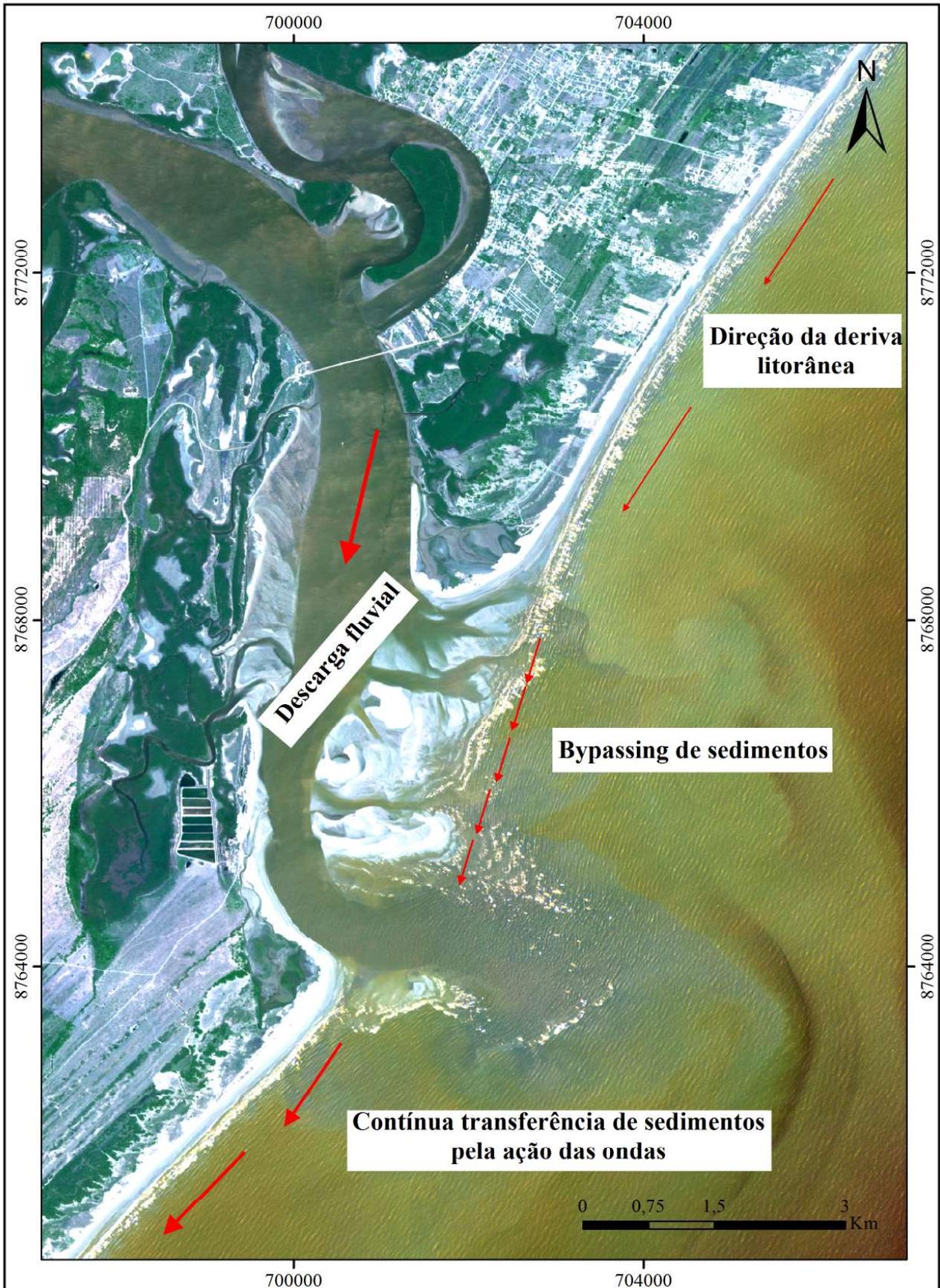


Figura 4 - Transpasse (bypassing) de sedimentos na desembocadura do rio Vaza-Barris.

A partir das análises realizadas constatou-se que o modelo evolutivo que mais se aproxima da desembocadura do Vaza-Barris é o “Quebra da Plataforma do Pontal Arenoso” (*Spit Platform Breaching*). A analogia entre o referido modelo e a evolução da desembocadura está exposto na Figura 5. Neste modelo grandes quantidades de areia são movidas, em função do transpasse de sedi-

mentos, quando um canal secundário rompe a barreira do pontal arenoso. Isto pode ocorrer em função da existência de canais menores sobre a plataforma do pontal, que em momentos de maior vazão podem rompê-los (FITZGERALD, KRAUS, HANDS, 2000). A tendência é que o pontal arenoso, mesmo depois de rompido, continue a ser acrescido, resultando na migração do canal.

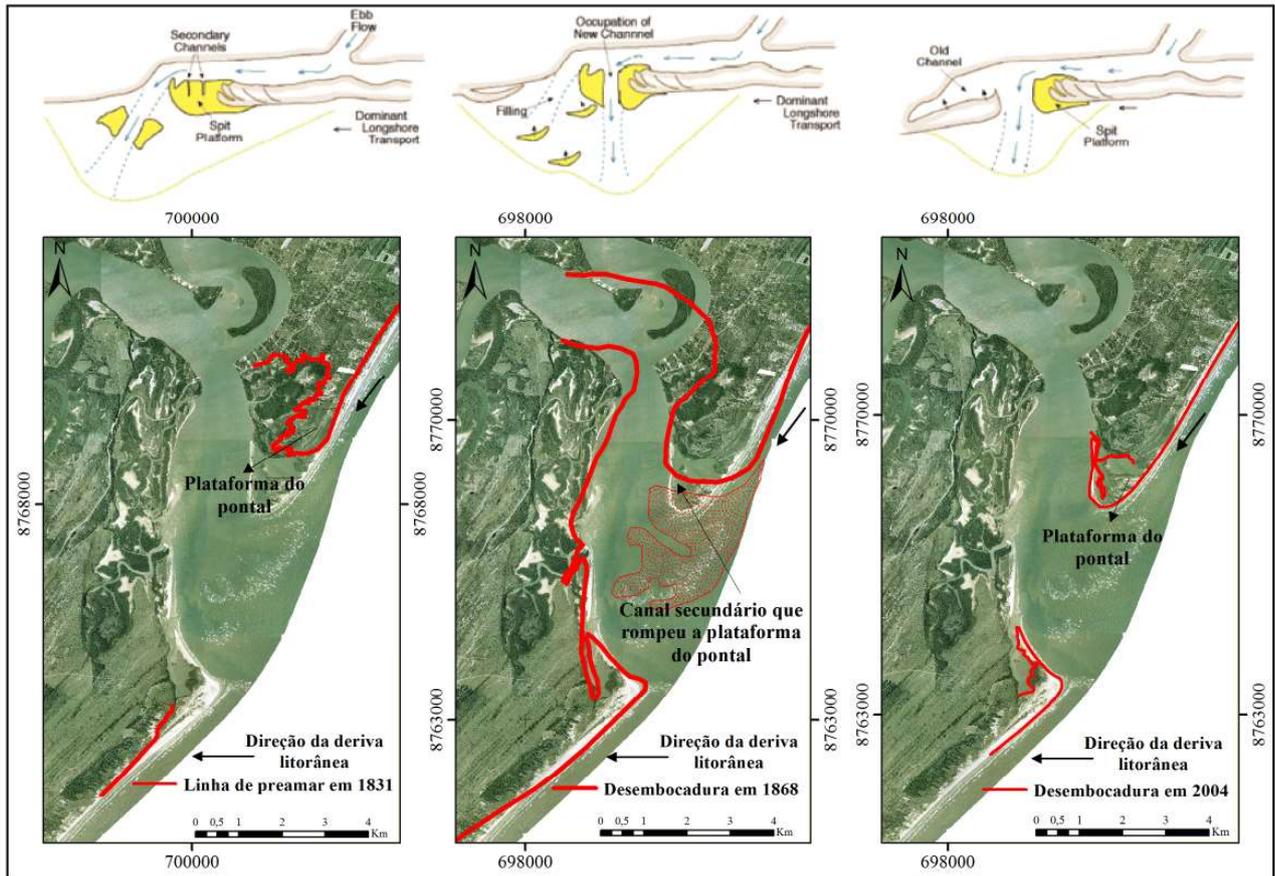


Figura 5 - Evolução da desembocadura do rio Vaza-Barris comparado ao modelo “Quebra da Plataforma do Pontal Arenoso” (*spit platform beaching*).

Aplicando tais preceitos à desembocadura estuária, detectou-se, a partir da linha de preamar do ano de 1831, a formação pretérita de um pontal arenoso a barlar (*updrift*) que, possivelmente, foi rompido, resultando no surgimento de um canal secundário que separava a plataforma do pontal da margem esquerda. Tais feições são aparentes na carta náutica de 1868 (vide figura 5). Após este processo, houve continuidade do crescimento do pontal arenoso à barlar, detectado a partir de 1978 (figura 6). Este fato indica que a desembocadura fluvial tem migrado de NE para SW, no sentido da deriva litorânea.

No que se refere à migração lateral da desemboca-

dura, FitzGerald, Kraus, Hands (2000) consideram que na maioria dos canais que apresentam tal tendência, é comum, à barlar encontrar uma plataforma de um pontal arenoso, tal como visto para a área em estudo. Esta plataforma pode se estender de 100 a 1000m para o interior da desembocadura, gerando um canal assimétrico. Assim, há um canal principal na retrobarreira, geralmente paralelo à retaguarda do pontal, o qual flui até a desembocadura em torno do pontal, assemelhando-se a um padrão de curva de um rio meândrico, em que há uma porção onde ocorre erosão (sotamar) e outra em que há acúmulo (barlar) (FITZGERALD, KRAUS, HANDS, 2000).

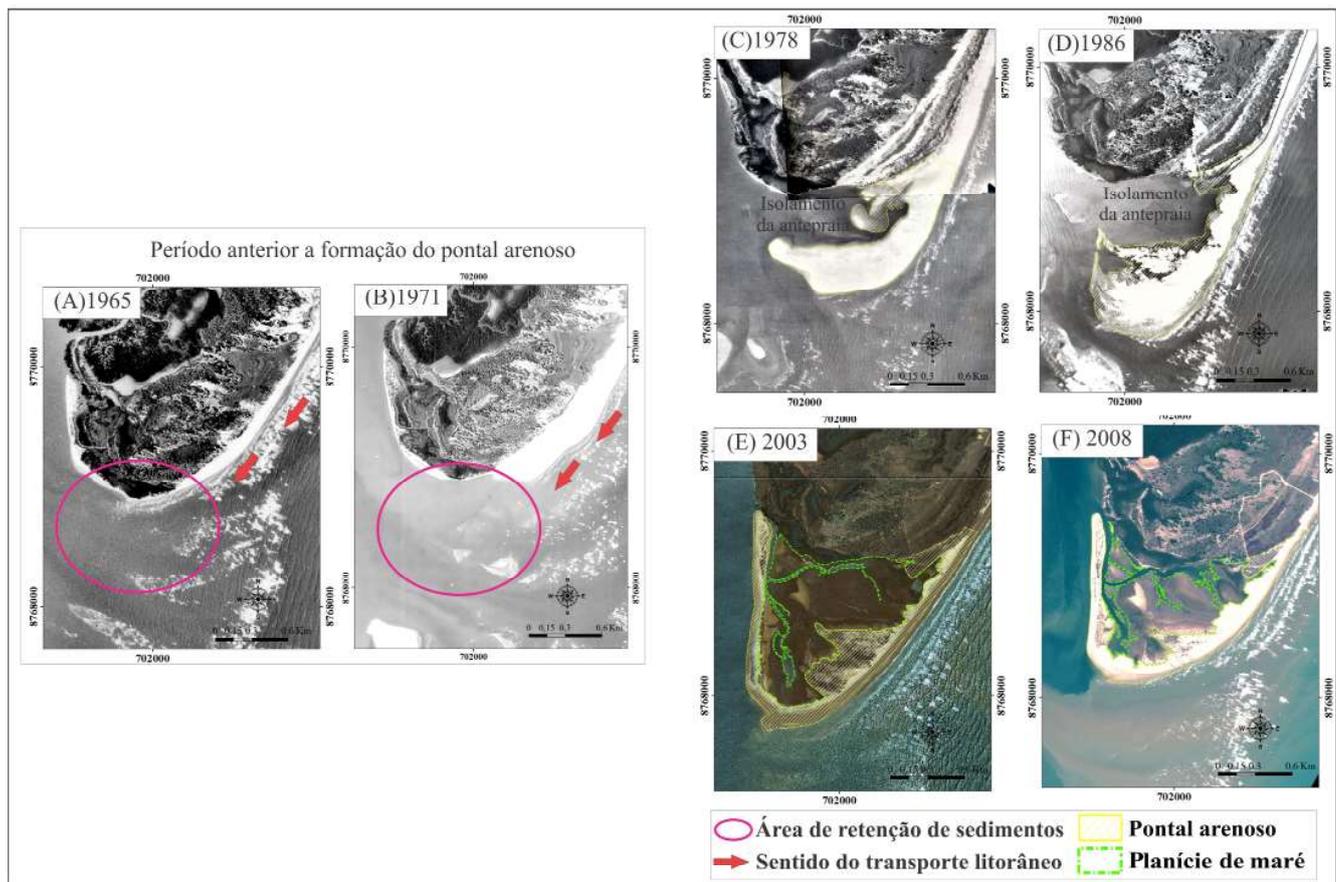


Figura 6 - Formação do pontal arenoso na margem esquerda da desembocadura do rio Vaza-Barris.

### Variações da Linha de Costa em Médio Prazo nas Adjacências da Desembocadura do Rio Vaza-Barris

A linha de costa nas áreas contíguas à desembocadura do rio Vaza-Barris apresentou grande variabilidade na escala temporal estudada, de 1965 a 2014 (Figura 7).

Na margem esquerda, que compreende a praia do Mosqueiro, houve progradação da linha de costa entre 1965 e 1986, em função de eventos deposicionais de grandes proporções. As taxas de avanço variaram entre 300m e 1000m. Vale ressaltar que neste período foi desenvolvido na referida margem um pontal arenoso. Este teve sua origem associada à retenção de sedimentos trazidos pela corrente costeira que apresenta sentido preferencial de NE para SW (vide figura 6).

Já entre os anos de 1986 e 2003 houve uma inversão do comportamento, com recuo da linha de costa na porção leste. Os sedimentos erodidos migraram para o interior da desembocadura, progredando a linha de costa neste setor (figura 8a).

A tendência erosiva manteve-se de 2003 até 2010, com taxas de recuo variando entre 100 e 400m. Não

foram observadas grandes variações na linha de costa entre os anos de 2011 e 2014, mantendo-se praticamente estável.

Vale ressaltar que, mesmo com a tendência à erosão e posterior estabilidade verificada para os últimos 28 anos, a linha de costa atual, ainda encontra-se progredada em relação à de 1965.

Já para a margem direita da desembocadura, que compreende a praia da Caueira, observou-se uma tendência geral a erosão no período estudado, entremeadado por eventos deposicionais. Entre 1965 e 1971, houve acréscimo sedimentar que resultou em pequeno avanço da linha de costa (entre 100 e 200m). Dentre o período de 1971 e 1986, ocorreu erosão da linha de costa, chegando a mais de 500m de recuo. O processo erosivo continuou entre os anos de 1986 e 2003, em maiores proporções, com recuos de até 1000m. Neste episódio os sedimentos erodidos na porção norte foram acumulados na porção leste (figura 8b). A tendência erosiva continuou até 2011. Já entre este ano e 2014 houve tendência à estabilidade, sem grandes variações.

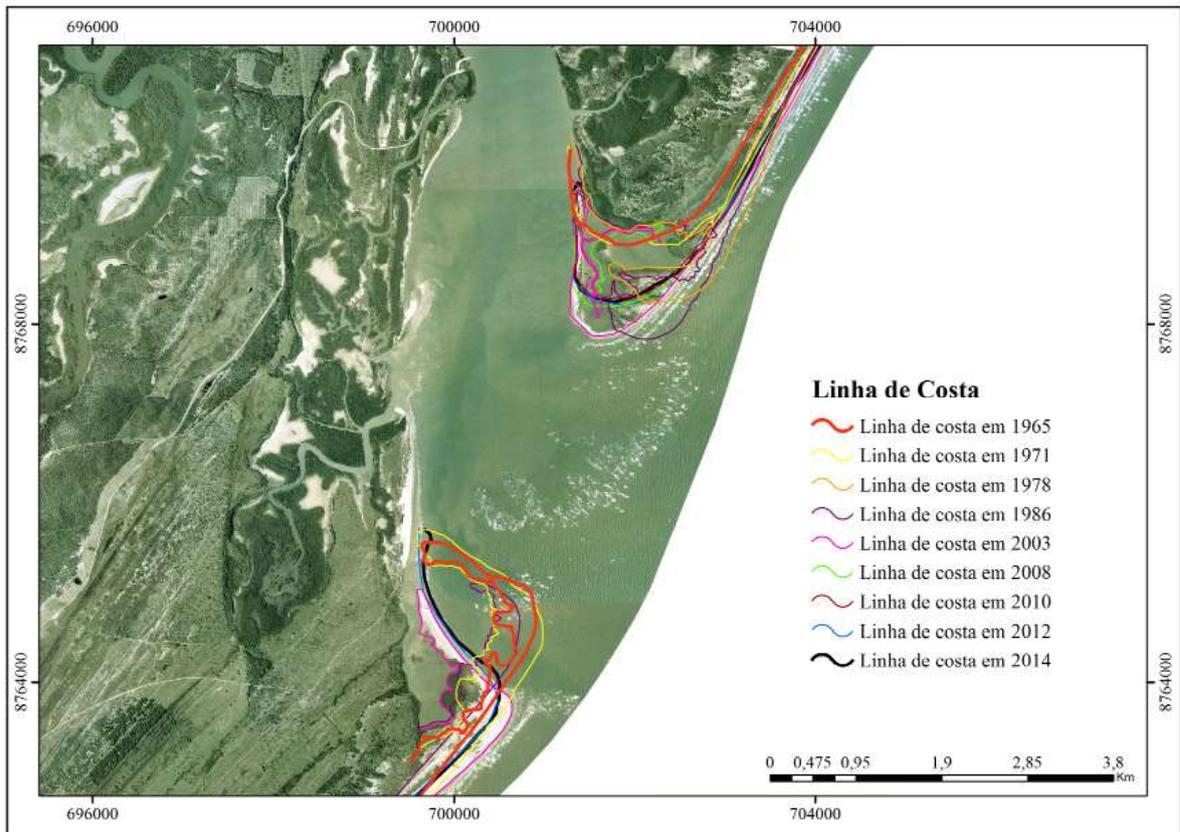


Figura 7 - Variações na linha de costa entre 1965 e 2014 na desembocadura do rio Vaza-Barris.

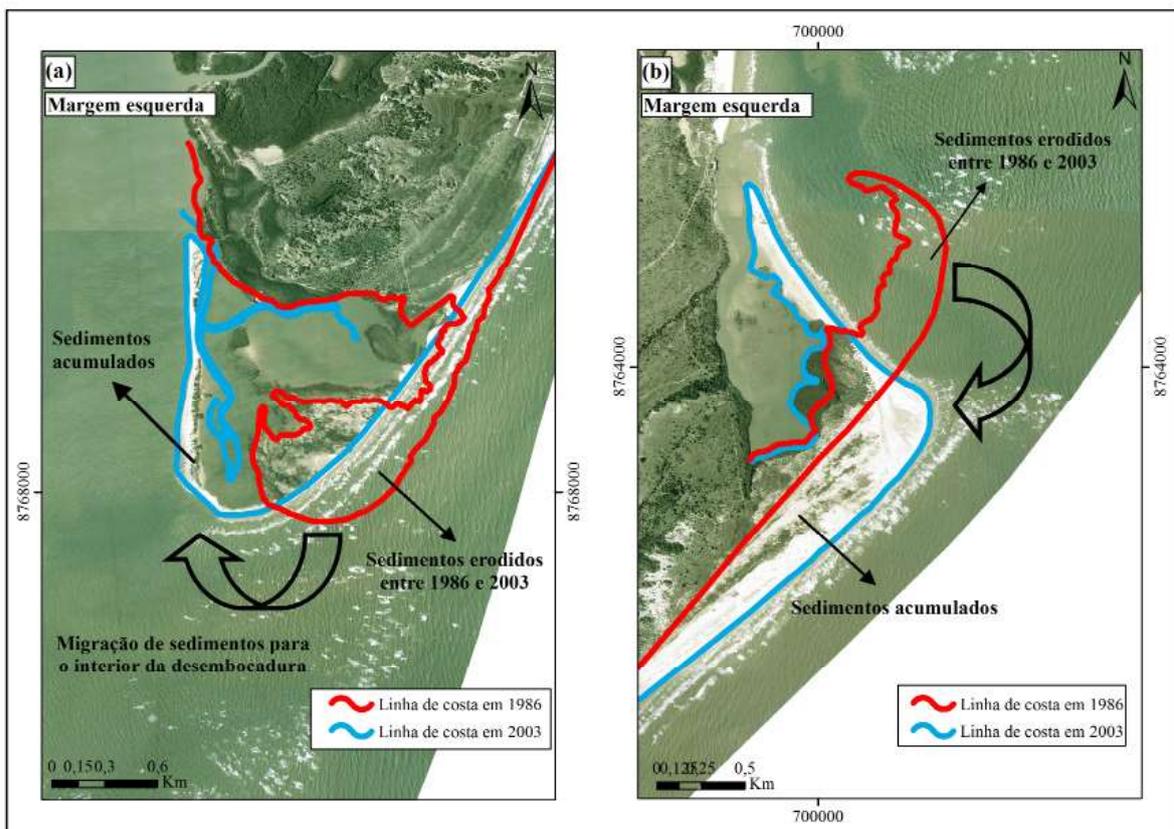


Figura 8 - Erosão e acúmulo de sedimentos na desembocadura do rio Vaza-Barris.

Conforme exposto, nota-se que para a área investigada a influência da desembocadura do rio Vaza-Barris foi responsável pelas grandes variações da linha de costa, uma vez que nas áreas adjacentes a esta desembocadura há grande variabilidade morfodinâmica, o que resulta em elevada oscilação do posicionamento da linha de costa. Tal aspecto corrobora as aceções de autores como Angulo (1993), Bittencourt *et al.* (2001), Cooper (1999), Esteves (2003), Wright (1977), FitzGerald (1982) e FitzGerald *et al.* (2000), Projeto Orla - MMA (2002) os quais definiram em seus estudos que as áreas que sofrem influência da dinâmica fluvial, tendem a ser altamente instáveis e apresentar elevada variabilidade devido a ação conjunta entre dinâmica fluvial e marinha.

### Influência da Dinâmica do Delta de Maré-Vazante no Posicionamento da Linha de Costa

Os deltas de maré-vazante (*ebb-tidal deltas*) têm influência direta na troca sedimentar com as linhas de costas adjacentes às desembocaduras. Estes podem

constituir-se como reserva sedimentar, além de influenciar diretamente no processo de sedimentação nas margens dos canais (ELIAS, 2001).

A partir das análises realizadas, identificou-se que as mudanças na linha de costa nas proximidades da desembocadura do rio Vaza-Barris, entre outros fatores, estão associadas às variações e à migração dos bancos arenosos marginais associadas ao delta de maré-vazante presente na área. A análise multitemporal revelou a relação direta entre a migração e aproximação dos bancos arenosos da costa com as variações no processo de acumulação e erosão nas adjacências da desembocadura (Figura 9).

Entre o período de 1965 a 1986, os bancos migraram para as proximidades da margem esquerda do rio. Este fato resultou na progradação da linha de costa à barlamar com formação de um pontal arenoso (cerca de 1000m) e, erosão a sotamar, com recuo de linha de costa de até 300m. Ressalta-se que os bancos em 1965 e 1975 mediam aproximadamente 500m<sup>2</sup>. Já em 1986 o banco foi acrescido passando a possuir cerca de 1000m<sup>2</sup>.

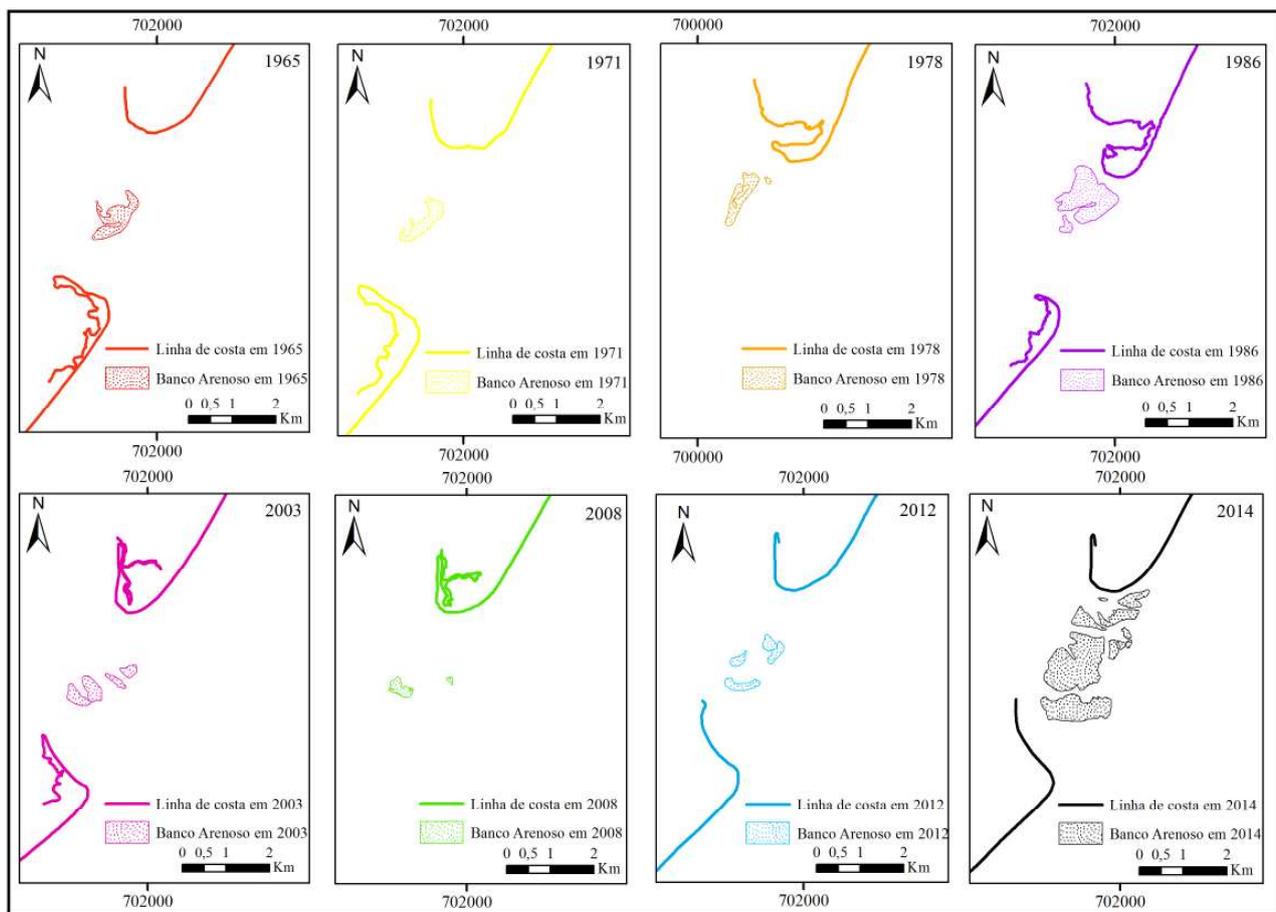


Figura 9 - Posicionamento dos bancos arenosos na desembocadura do rio Vaza-Barris entre 1965 e 2014.

Em contrapartida, entre os anos de 2003 e 2008, os bancos apareceram fragmentados e em proporções menores em relação aos anos anteriores. Identificou-se que esses diminuíram significativamente passando a medir conjuntamente cerca de 415m<sup>2</sup> em 2003 e 150m<sup>2</sup> em 2008. No que se refere à localização, entre o referido período, os bancos migraram e mantiveram-se afastados de ambas as margens, realocando-se no centro da desembocadura.

Durante este período a linha de costa a barlamar, antes progradada, apresentou processos erosivos severos, com recuos de até 400m. Esse processo resultou na destruição parcial de uma rodovia presente na área. Como os bancos mantiveram-se ao centro da desembocadura entre o referido período e apresentaram menores proporções, também ocorreu erosão a sotamar, mantendo a tendência geral à erosão nesta margem.

Entre os anos de 2008 e 2012 os bancos arenosos voltaram a ser acrescidos totalizando uma área de 400m<sup>2</sup> em 2012. Durante este período, o processo erosivo nas duas margens cessou.

Já em 2014, os bancos arenosos tornaram a possuir grandes proporções, tais como visto na década de 80. Estes ainda mantinham-se fragmentados, embora totalizarem uma área de cerca de 2280m<sup>2</sup>. Diante do grande acúmulo de sedimentos nos bancos, e sua localização do centro da desembocadura, as linhas de costas adjacentes também mantiveram-se estáveis durante este período.

O processo ocorrido na linha de costa da área investigada, corrobora o modelo conceitual da relação entre os deltas de maré-vazante e as variações das linhas de costa adjacentes, concebido por Elias (2001) e FitzGerald (1982) (vide figura 3). Os supracitados autores concluíram que a distribuição da energia das ondas em ambientes estuarinos, pode ser alterada em função da presença de bancos que compõem os deltas de maré-vazante. Os referidos autores defendem que quando os bancos estão próximos da costa há a dissipação das energias das ondas, que chegam à praia com menor intensidade. Enquanto que, o afastamento dos bancos da costa possibilita uma ação mais efetiva das ondas sobre a praia. Estes dois processos podem resultar em ciclos de sedimentação e de erosão, respectivamente.

Assim, para a área de estudo, os bancos arenosos, que compõem o delta de maré-vazante, quando

próximos à costa atuaram como uma barreira natural às ondas, além de terem constituído uma reserva de sedimentos que alimentou a linha de costa adjacente à margem esquerda do rio Vaza-Barris, resultando na progradação da costa. Ao se afastarem da margem direita do rio, estes bancos deixaram de fornecer sedimentos à costa, além de não protegê-la da ação das ondas, o que resultou em eventos consecutivos de erosão. Recentemente os bancos mantiveram-se ao centro da desembocadura, apresentando proporções diferenciadas ao longo dos anos, como demonstrado. Desta forma, o comportamento esperado para as linhas de costa adjacentes é a estabilidade.

Distingue-se que, as linhas de costa estão sujeitas a outros tantos processos como ventos, ondas, marés e correntes. Desse modo, como afirma Elias (2001), esse modelo conceitual de relação entre os deltas de maré-vazante e as variações da linha de costa, não suprem todos os vieses de análise. A referida relação é significativa, mas não única responsável pela elevada dinâmica das linhas de costa contíguas às desembocaduras.

No que se refere às variações da dimensão dos bancos arenosos ao longo das décadas, identificou-se que para além da relação com a dinâmica costeira (ondas e correntes) há uma relação direta entre a proporção dos bancos e as vazões médias anuais do rio Vaza-Barris (vide tabela 1). Constatou-se que em períodos de vazões médias mais expressivas, os bancos apresentavam dimensões menores, em contrapartida, quando havia diminuição progressiva das referidas médias, os bancos tornavam a ser acrescidos. As datas mais representativas deste processo foram 1986 e 2014, em que os bancos apareceram com as maiores dimensões, em detrimento de baixas vazões.

Diante do que foi exposto infere-se que a migração dos bancos arenosos é resultado de mudanças naturais na morfologia dos deltas, decorrentes da influência dos regimes de ondas, marés e, principalmente, do transporte de sedimentos, de grande importância para o estudo das linhas de costa.

O conhecimento do transpasse de sedimentos e da morfologia dos deltas de maré-vazante é de primordial importância para o planejamento da ocupação nestes ambientes, uma vez que pode auxiliar em medidas preventivas e evitar prejuízos socioeconômicos e ambientais.

### Riscos em Áreas de Desembocaduras Fluviais

Os ambientes costeiros são naturalmente vulneráveis a determinados eventos em função da elevada fragilidade das feições presentes. Quando a continuidade da zona costeira é interrompida por uma desembocadura fluvial, esse ambiente torna-se ainda mais vulnerável em função da elevada variabilidade morfodinâmica que estas áreas apresentam. Para o caso das desembocaduras associadas aos deltas de maré vazante, há de se considerar também os ciclos de sedimentação e erosão de grandes proporções que influenciam o modelado natural desta paisagem.

Desta forma, a complexidade deste ambiente acarreta no surgimento de perigos naturais, os quais podem efetivar-se como risco no caso da existência de ocupação.

No caso da área estudada, o perigo natural existe, por se tratar de uma desembocadura associada aos deltas de maré-vazante, comprovadamente sujeita a eventos erosivos sequentes. No entanto, não pode ser classificada como área de risco elevado em função da não existência de ocupações consolidadas nas proximidades,

a exceção de uma rodovia.

Na figura 10 são mostradas as consequências de um processo erosivo severo ocorrido entre 2004 e 2008, na margem esquerda da desembocadura, o qual ocasionou a destruição parcial da rodovia José Sarney. Vale ressaltar que no período em que a rodovia foi construída, década de 1980, a linha de costa encontrava-se bastante progredida em relação a décadas anteriores, em função de um ciclo deposicional de elevadas proporções, fruto da atuação dos bancos arenosos associados ao delta de maré-vazante. O ciclo de erosão subsequente provocou recuo da linha de costa afetando a referida estrutura.

Assim, a não consideração dos agentes naturais atuantes na área resultou em prejuízos socioeconômicos. Tal fato reforça a necessidade de medidas dentro da perspectiva do gerenciamento costeiro, a fim de avaliar a morfodinâmica do ambiente antes da construção de estruturas fixas.

Já na margem direita, conforme demonstrado, o processo erosivo foi ainda mais intenso, no entanto, a ausência de ocupação não trouxe prejuízos econômicos. O que aponta para o fato que o fenômeno da erosão cos-

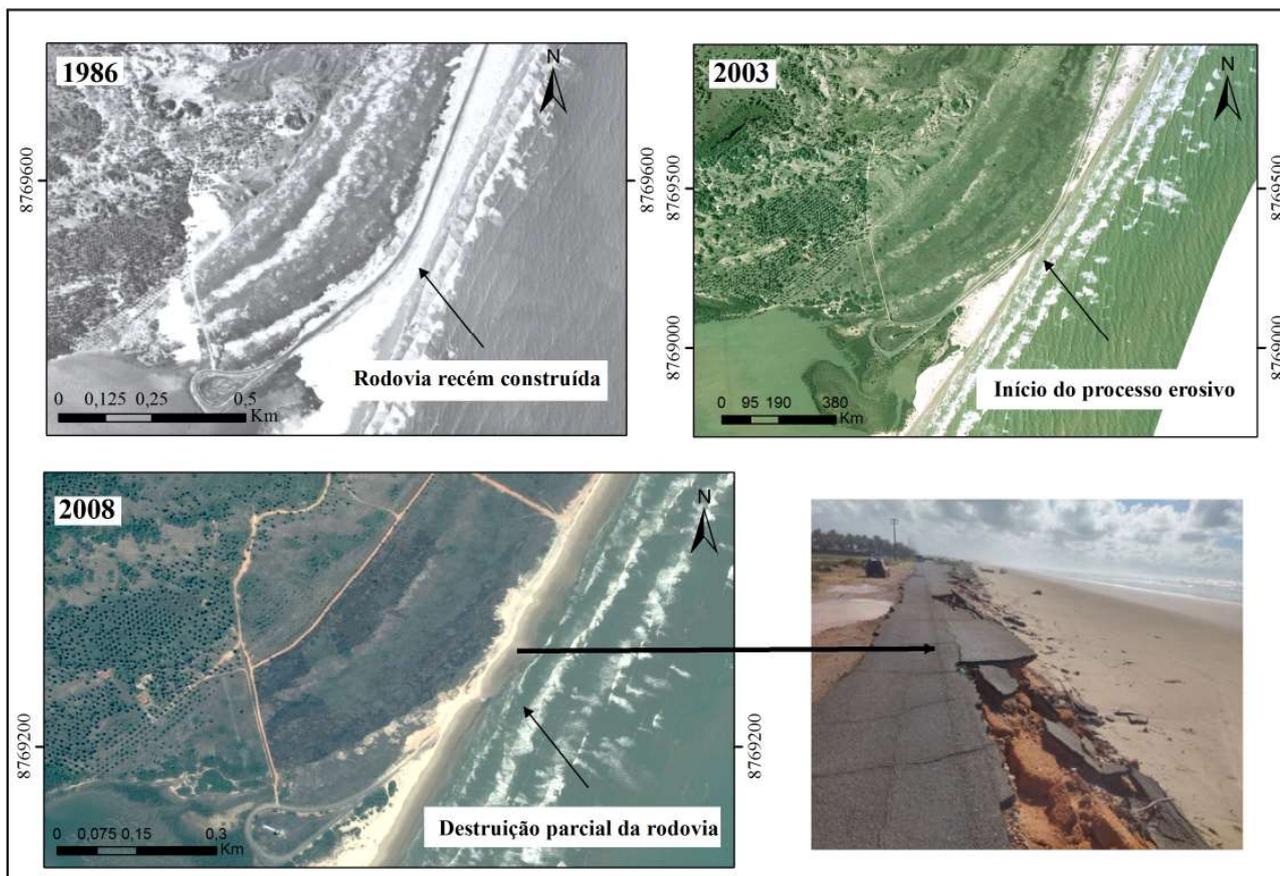


Figura 10 - Processo erosivo e destruição parcial da rodovia José Sarney – Aracaju/SE.

teira só é considerado um problema quando ela atinge áreas que apresentam algum tipo de uso e/ou ocupação (MORTON, *et al.*, 1983).

Não obstante a característica citada, no que concerne aos baixos índices de ocupação, em ambas as margens, há de se considerar que as proximidades da desembocadura têm sido extremamente especuladas para ocupações futuras de caráter residencial e, principalmente, de cunho turístico. De tal modo, considera-se a área em questão como um ambiente que apresenta riscos em potencial, diante da atual conjuntura de possíveis ocupações em curto e médio prazo.

### Conclusões

O estudo evolutivo da desembocadura do rio Vaza-Barris revelou que esta seguiu o modelo de evolução “Quebra da Plataforma do Pontal Arenoso” (*spit platform breaching*), em que há rompimento da plataforma do pontal arenoso em função do surgimento de um canal secundário, e posterior continuidade do crescimento do pontal, fato que resultou na migração da desembocadura na mesma direção da corrente de deriva litorânea, de NE para SW. No que concerne ao transpasse de sedimentos, identificou-se que é realizado pelos bancos e que a referida desembocadura é dominada pela ação das correntes geradas pelas ondas.

O mapeamento das variações na linha de costa adjacentes à referida desembocadura para os últimos 50 anos evidenciou que se trata de um ambiente sujeito a eventos erosivos e deposicionais de grandes proporções. A margem esquerda apresentou tendência geral à progradação, entremeados por processos erosivos. Já a margem direita apresentou tendência geral à erosão, com poucos eventos deposicionais.

A análise conjunta entre as variações no posicionamento da linha de costa e das variações do delta de maré-vazante presente na área de estudo, revelou que há correlação entre a migração dos bancos arenosos com o processo de sedimentação e erosão nas margens da desembocadura.

Identificou-se que os eventos erosivos sequentes na margem direita do rio estiveram associados, entre outros fatores, à distância que os bancos arenosos, que compõe o delta de maré-vazante, mantiveram da referida margem. Já nas adjacências da margem esquerda, houve sequenciados processos de acreção sedimentar,

muito em função da proximidade que os bancos mantiveram da costa. Esta margem só experimentou processo erosivo severo a partir de 2003, em função da migração dos bancos em direção ao centro da desembocadura.

Ademais, foi analisada a relação entre o comportamento da linha de costa e ocupação. Observou-se que até o presente momento, os problemas de maiores proporções decorrentes da erosão costeira incidiram no final da rodovia José Sarney. Tal fato ocorreu nesta área, em função da ocupação, sem o conhecimento adequado da dinâmica costeira, de uma área recém progradada e de alta variabilidade.

Concluiu-se que, apesar da elevada vulnerabilidade natural e dos perigos apresentados, o trecho analisado não pode ser classificado como de elevado risco, uma vez que não possui ocupação efetiva. Todavia, tendo por base cenários futuros de ocupação, em função da elevada especulação a qual é sujeitada a área, há a possibilidade de potencialização dos perigos, resultando no surgimento de riscos associados à ocupação.

### Referências Bibliográficas

- ANGULO, R.J. A Ocupação Urbana do Litoral Paranaense e as Variações da Linha de Costa. **Boletim Paranaense de Geociências**. V.41, p.73-81, Curitiba, PR, Brasil, 1993.
- BIRD, E. **Coastal Geomorphology: An Introduction**. Second Edition, P. Cm. John Wiley & Sons, Ltd. Geostudies, 2008.
- BITTENCOURT, A.C.S.P.; LESSA, G.C.; DOMINGUEZ, J.M.L.; MARTIN, L.; BÔAS, G.S.V.; FARIAS, F.F. High And Low Frequency Erosive and Constructive Cycles in Estuarine Beaches: An Example From Garcezpoint, Bahia/Brazil. **An. Acad. Bras. Cienc.** Vol.73, n.4 Rio de Janeiro, 2001.
- CLAYTON, T.D.; TAYLOR, Jr. L.A.; CLEARY, W.J.; HOSIER, P.E.; GRABER, P.H.F.; NEAL, W.J.; PILKEY, O.H. **Living With The Georgia Shore**. Duke University Press, 1992.
- COOPER, J.A.G. The role of extreme floods in estuary-coastal behaviour: contrasts between river-and tide dominated microtidal estuaries. **Sedimentary Geology**. 150:123-137, 2002.
- DAVIS, R.; FITZGERALD, D. **Beach and Coasts**. Blackwell Science Ltd. Austrália, 2004.
- DOLAN, R.B.; HAYDEN, B.; MAY, P.; MAY, S. The Reliability of Shoreline Change Measured from Aerial Photographs. **Shore & Beach**. V. 48, 22-29, 1980.
- ELIAS, E.P.L. **Updrift Barrier Inlet Dynamics**. Phd. Study

- of Edwin Elias. Faculty of Civil Engineering and Geosciences, 2001.
- ELIAS, E.P.L.; SPEK, A.J.F.VAN DER. Long-Term Morphodynamic Evolution of Texel Inlet and its Ebb-Tidal Delta (The Netherlands). **International Journal of Marine Geology**. Vol.225. 5-21, 2006.
- ELIAS, E.P.L.; STIVE, M.J.F.; ROELVINK, J.A. Impact of Back-Barrier Changes on Ebb-Tidal. **Journal of Coastal Research** . N.42, 460-472, 2005.
- ESTEVES, S. L. **Estado-da-Arte dos Métodos de Mapeamento da Linha de Costa**. Exame de Qualificação. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, Brasil, 2003.
- FENSTER, M.; DOLAN, R. Assessing the Impact of Tidal Inlets on Adjacent Barrier Island Shorelines. **Journal of Coastal Research**. N.12, 294-310, 1996.
- FITZGERALD, D. M. 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, 1988.
- FITZGERALD, D. M., HUBBARD, D.K., NUMMEDAL, D. Shoreline Changes Associated with Tidal Inlets Along the South Carolina Coast. **American Society of Civil Engineers**. P. 1973-1994, 1978.
- FITZGERALD, D.M. Interactions between the Ebb-Tidal Delta and Landward Shoreline: Price Inlet, South Carolina. **Jornal of Sedimentary Petrology**. Vol. 54, Nº 4, 1984.
- FITZGERALD, D.M. Sediment Bypassing at Mixed Energy Tidal Inlets. **Coastal Engineering**. n. 18, 1982.
- FITZGERALD, D.M.; BUYNEVICH, I.V.; DAVIS JR, R.A.; FENSTER, M.S. New England Tidal Inlets With Special Reference to Riverine-Associates Inlet Systems. **Geomorphology**. v. 48, p. 179-208, 2002.
- FITZGERALD, D.M.; KRAUS, N.C.; HANDS, E.B. **Natural Mechanisms of Sediment Bypassing at Tidal Inlets**. The U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, 2000.
- FITZGERALD, D.M.; PENDLETON, E. Inlet Formation and Evolution of the Sediments Bypassing System: New Inlet, Cape Cod, Massachusetts. **Journal of Coastal Research**. Specialissue, p. 290-299, 2002.
- LEEUVEN, S.M. VAN.; VEGT, M. VAN DER.; SWART, H.E. Morphodynamics of Ebb-Tidal Deltas: A Model Approach. **Estuarine Coastal and Shelf Science**. N.57. P.899-907, 2003.
- LYNCH-BLOSSE, M.A.; KUMAR, N. Evolution of Downdrift-Offset Tidal Inlets: A Model Based on the Brigantine Inlet System of New Jersey. **Journal of Geology**. Vol. 84, P.165-178, 1976.
- MARTIN, L.; SUGUIO, K.; FLEXOR, J.M.; DOMINGUEZ, J.M.L.; BITTENCOURT.A.C.S.P. Quaternary Sea-Level History And Variation In Dynamics Along The Central Brazilian Coastal Plain Construction. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. 68(3), P. 303-354, 1996.
- MORTON, R.A.; PILKEY, O.R.JR; PILKEY O.H.SR.; NEAL, W.J. **Living with the Texas Shore**. Duke University Press, Durham, North Carolina, 1983.
- MUEHE, D.; KLUM-OLIVEIRA, L. Deslocamento da linha de costa *versus* mobilidade praial. **Quaternary and Environmental Geosciences**. p. 121-124. 05 (2), 2014. Disponível em: <http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs/index.php/abequa/article/view/35884/23634>. Acesso em: 17 de outubro às 14h.
- OLIVEIRA, M.B. **Caracterização Integrada da Linha de Costa do Estado de Sergipe – Brasil**. Dissertação de Mestrado - Cursos De Pós-Graduação Em Geologia, Igeo, Universidade Federal da Bahia, 2003.
- PIANCA, C.; MAZZINE, P.L.F; SIEGLE, E. Brazilian Offshore Wave Climate Based on Nww3 Reanalysis. In: **Brazilian Journal of Oceanography**. 58(1): 53-70, 2010.
- STIVE, M.J.F.; AARNINKHOF, S.G.J., HAMM, J, HANSON, H.; LARSON, M.; WIJNBERG, M.K. NICHOLLS, R.J.; CAPOBIANCO, M. Variability of Shore and Shoreline Evolution. **Coastal Engineering**. V. 47, p. 211– 235, 2002.
- TERICH, T.A. **Living with the Shore of Puget Sound and the Georgia Strait**. Duke University Press. Durham, 1987.