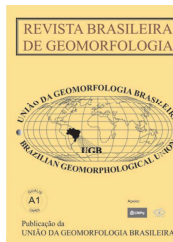


www.ugb.org.br  
ISSN 2236-5664

## Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 21, n° 4 (2020)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v21i4.1643>



### DINÂMICA DOS PONTAIS ARENOSOS NO FLANCO NORTE DO DELTA DO RIO PARAÍBA DO SUL (RJ) ENTRE 1984 E 2017

### DYNAMICS OF SANDY SPITS IN NORTHERN FLANK OF THE PARAIBA DO SUL RIVER DELTA (RJ) BETWEEN 1984 E 2017

**André Paulo Ferreira da Costa**

*Departamento de Geografia, Universidade Federal Fluminense*

*Av. General Milton Tavares de Souza, s/n°, Niterói, Rio de Janeiro. CEP: 24210-346. Brasil*

*ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5783-3271>*

*E-mail: [dacostaandre01@gmail.com](mailto:dacostaandre01@gmail.com)*

**Thaís Baptista da Rocha**

*Departamento de Geografia, Universidade Federal Fluminense*

*Av. General Milton Tavares de Souza, s/n°, Niterói, Rio de Janeiro. CEP: 24210-346. Brasil*

*ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5268-8009>*

*E-mail: [thaisitc5@yahoo.com.br](mailto:thaisitc5@yahoo.com.br)*

**Guilherme Borges Fernandez**

*Departamento de Geografia, Universidade Federal Fluminense*

*Av. General Milton Tavares de Souza, s/n°, Niterói, Rio de Janeiro. CEP: 24210-346. Brasil*

*ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4217-9021>*

*E-mail: [guilhermefernandez@id.uff.br](mailto:guilhermefernandez@id.uff.br)*

#### Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):  
22/04/2019

Aceito (Accepted):  
12/09/2020

#### Palavras-chave:

Delta do rio Paraíba do Sul, *spits* arenosos, morfodinâmica, LANDSAT.

#### Keywords:

Paraíba do Sul River delta, sandy spits, morphodynamics, LANDSAT.

#### Resumo:

O delta do rio Paraíba do Sul apresenta feições típicas associadas a deltas assimétricos dominados por ondas. Destas feições, os pontais (*spits*) arenosos que ocorrem no flanco norte do delta tem particular importância para a evolução da planície deltaica. O modelo de formação e evolução mais recente descreveu a ocorrência de ciclos regulares de emersão, crescimento e assimilação à planície desses *spits* arenosos. Entretanto, diversos trabalhos presentes na literatura argumentam que a morfodinâmica das desembocaduras em deltas possui caráter não-linear ou irregular. Diante disso, o presente trabalho tem por objetivo analisar a dinâmica dos *spits* arenosos no flanco norte do delta do rio Paraíba do Sul a partir de imagens da série histórica LANDSAT, dados de vazão e índices de oscilação das águas do Pacífico Sul (SOI). Para tanto, foi realizado o mapeamento geomorfológico da área de estudo, análise dos dados de vazão e os Índices de Oscilação das águas do Pacífico Sul (SOI). Os resultados obtidos mostraram diversos períodos de emersão, crescimento, conexão à planície e retrabalhamento dos *spits* arenosos, sugerindo ocorrência de ciclos curtos não-lineares de evolução dessas feições. Os resultados mostraram uma possível relação entre os períodos de retrabalhamento dos *spits* arenosos com as estações secas e ocorrência do fenômeno La Niña.

**Abstract:**

The Paraíba do Sul river delta has typical characteristics associated with asymmetric deltas dominated by waves. Of these features, the sandy spits that occur in the north of the delta are of particular importance to the evolution of the delta plain. The most recent formation and evolution model describes the occurrence of regular cycles of emersion, growth and assimilation of the plains of these sandy spits. However, several works claim that the morphodynamics of delta mouths has a non-linear or irregular character. In view of this, the present work aims to analyze the sandy spit evolution on the north coast of the Paraíba do Sul River based on images from the LANDSAT historical series, leakage data and oscillation indexes of the waters of the South Pacific (SOI). For this purpose, geomorphological mapping of the study area, leak data analysis and oscillation indexes of the waters of the South Pacific (SOI) were carried out. The results obtained showed several periods of expansion, growth and connection to the plain and erosion of spits, suggesting the occurrence of short and non-linear cycles of evolution. The results showed a possible relationship between the periods of rework of the sandy spits with the dry seasons and the occurrence of the La Niña phenomenon.

**1. Introdução**

O litoral brasileiro possui diversos exemplos de deltas do tipo “dominado por ondas” (segundo o modelo de GALLOWAY, 1975), cujas principais características são a presença da morfologia em cúspide da frente deltaica e a progradação da planície a partir da incorporação de barreiras costeiras arenosas, como *spits* e cristas de praia. Essas feições resultam do retrabalhamento de sedimentos depositados próximos à foz por ação das ondas e do transporte litorâneo (FERNANDEZ & ROCHA, 2015; VASCONCELOS *et al.*, 2016). Particularmente, no contexto de deltas assimétricos dominados por ondas, como o Paraíba do Sul, é muito comum a ocorrência de *spits* arenosos e cristas de praia. Ambos ocorrem em flancos opostos da desembocadura fluvial e parecem estar necessariamente condicionados à direção da deriva litorânea (BHATTACHARYA & GIOSAN, 2003; GIOSAN, 2007; ANTHONY 2015).

A planície deltaica do rio Paraíba do Sul teve sua formação condicionada às oscilações do nível médio do mar no Quaternário, particularmente a partir do clímax do último evento transgressivo do Holoceno (aproximadamente 6.000-5.000 anos A.P.), no qual o nível do mar esteve aproximadamente 4m acima do nível atual (ANGULO *et al.*, 2006). A planície apresenta um vasto sistema de paleocristas de praia, com feições distintas ao norte e ao sul da foz. O flanco sul se caracteriza pela presença de sistemas de paleocristas de praia intercaladas por depressões alongadas de orientação geral NE-SW, mas que podem estar separados por truncamentos erosivos. Por outro lado, no flanco norte, se verifica a alternância de paleocristas arenosas com depressões lamosas, onde, por vezes, se desenvolvem

brejos, manguezais e lagoas. Esta distinção é reflexo de processos costeiros diferenciados que ocorrem ao norte e ao sul da foz (VASCONCELOS *et al.*, 2016).

No flanco norte, os trabalhos de Dias *et al.* (1984) e Vasconcelos *et al.* (2016) demonstram que os feixes de cristas de praia se formam em parte através da emersão de barras submarinas e o posterior desenvolvimento de *spits*, que se conectam à planície e isolam pequenos corpos lagunares (figura 1). No extremo setentrional do flanco norte e no flanco sul do delta, o desenvolvimento das cristas de praia e a consequente progradação da planície ocorre através da incorporação de bermas, processo comum gerado pelo acúmulo de sedimentos arenosos na face de praia, decorrentes da ação de espraiamento das ondas (FERNANDEZ & ROCHA, 2015).

Especificamente sobre o desenvolvimento dos *spits* no flanco norte do delta, o modelo proposto por Vasconcelos *et al.* (2016), com base em Dan (2011), apresenta seis estágios de evolução do *spit* que se repetiriam de maneira cíclica. Em suma, o modelo propõe a formação de bancos arenosos na frente deltaica e reorganização desses bancos em uma única barra que emerge, podendo já isolar corpos lagunares. Posteriormente, essa barra cresce vertical e longitudinalmente, se comportando como *spit*. Esse *spit* tende a crescer obliquamente à linha de costa, se conectando à planície, também com a participação de processos de transposição de ondas, até formar um sistema barreira-laguna. O ciclo finda com a colmatação desse sistema lagunar e incorporação da barreira na forma de uma crista de praia. O ciclo recomeçaria com a formação de novos bancos na frente deltaica. Entretanto, os autores alertam que este é um processo espacialmente limitado às adjacências da desembocadura do rio Paraíba do Sul, no

flanco norte. Informações temporais sobre a duração dos estágios também são imprecisas no modelo, embora a descrição sugere a ideia de uma ciclicidade linear entre o fim e o início desses estágios.

Giosan *et al.* (2005), Van Marren (2005) e Giosan (2007), argumentam que a morfodinâmica de desembocaduras em deltas possui forte caráter não-linear, uma vez que envolveria uma série de fatores, tais como o clima de ondas, a deriva litorânea, a vazão líquida e sedimentar na desembocadura, características dos sedimentos e o perfil do delta subaquoso. Essa questão da ciclicidade e da dinâmica não-linear nos processos de evolução dos deltas, têm sido investigados, sobretudo na escala histórica, envolvendo as últimas centenas ou dezenas de anos, cujos dados de mapeamento podem ser obtidos com o auxílio de fotografias aéreas, imagens de satélites e cartas antigas digitalizadas.

Giosan (2007) mostrou a evolução do delta do rio Danúbio desde 1856, sinalizando áreas de acreção e erosão da planície. Van Marren (2005) apresentou dados que mostram a evolução do delta Ba Lat desde 1830, sugerindo a fossilização dos sistemas barreira-laguna a cada 100 anos. Especificamente no delta do rio Paraíba do Sul, Costa & Rocha (2017) mostraram que entre 1926 e 2008 ocorreu acreção no flanco norte da planície deltaica da ordem de 890m, a partir da incorporação de um antigo *spit* ao continente. O mapeamento preliminar a partir de uma série de registros históricos, já sugeria a possibilidade da ocorrência de vários ciclos de emersão, crescimento e soldagem do *spit* à planície.

Frente à carência de registros históricos presentes na literatura que tenham intervalos temporais regulares de análise, o inventário de imagens do programa LANDSAT se mostra uma alternativa interessante para obtenção de registros que testemunham a evolução recente da planície deltaica. Ativo desde 1972, o programa conta com o maior inventário de imagens orbitais da superfície da terra, o qual se encontra disponível gratuitamente desde 2009. A partir de 1984, com o lançamento do satélite LANDSAT-5, as imagens passaram a ter resolução espacial de 30m, fato que ampliou em muito as potencialidades de suas aplicações (NASA, 2017).

Além da reconstituição histórica acerca da evolução dos *spits*, é necessário analisar as relações entre essa evolução e as forçantes que interferem em seus processos. A interação de duas dessas forçantes, vazão líquida

e clima de ondas, se faz muito importante no contexto de deltas dominados por ondas (ANTHONY, 2015). Ambas forçantes sofrem alterações sazonais marcantes e estão sujeitas à modificações interanuais significativas. A ocorrência dos eventos *El Niño* e *La Niña*, por exemplo, modifica o comportamento das células de circulação atmosférica em escalas global e interanual, tendo, portanto, impacto indireto sobre o regime de vazão do rio e o clima de ondas na Bacia de Campos (TIMMERMAN *et al.*, 2018). Nesse sentido, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a dinâmica dos *spits* arenosos do flanco norte do delta do Rio Paraíba do Sul, a partir de dados históricos, tais como imagens da série histórica LANDSAT (1984-20017). Além disso, buscando compreender de forma mais apurada os processos envolvidos na evolução desses *spits* arenosos, o trabalho objetiva relacionar os resultados obtidos aos dados históricos de vazão do rio e à ocorrência de fenômenos *El Niño* e *La Niña*.

## 2. Área de estudo

A área de estudo se localiza integralmente no município de São Francisco de Itabapoana-RJ, na localidade de Gargaú, em um conjunto de paleocristas de praia posicionadas na margem esquerda do rio Paraíba do Sul e a norte de sua foz.

Em termos geológicos e geomorfológicos a área se encontra no complexo deltaico do rio Paraíba do Sul (CDRPS) (figura 1). O CDRPS é compreendido por uma extensa planície de idade Quaternária que teve sua formação condicionada à sedimentação do rio Paraíba do Sul e às oscilações eustáticas ocorridas durante o Quaternário (SILVA, 1987; FERNANDEZ & ROCHA, 2015). Segundo Silva (1987), o CDRPS pode ser interpretado como um conjunto de ambientes deposicionais relacionados às fases de desenvolvimento deltaico do rio Paraíba do Sul. Estes ambientes se dividem em duas grandes províncias. A primeira a sul do eixo Campos-Cabo São Tomé está ligada ao desenvolvimento deltaico durante o Pleistoceno (Silva, 1987). Por outro lado, a segunda província que se estende a norte do eixo Campos-Cabo São Tomé, na qual se encontra a área de estudos, está atrelada à fase atual do delta com sedimentação holocênica. Essa área apresenta extensas cristas de praia com morfologias diferenciadas ao sul e ao norte da foz. Ao norte, a planície é composta por sucessivas cristas arenosas separadas por depressões

argilosas irregulares. Por outro lado, a sul, a planície se caracteriza pela presença de cristas e depressões arenosas, de orientação geral NE-SW, conectadas por truncamentos de orientação (SILVA, 1987; ROCHA et al. 2018).

Dias (1981) separa este conjunto de cordões arenosos ou cristas de praia em 7 sistemas distintos, de acordo com as suas orientações. Para ele, os truncamentos de orientação observados são frutos de hiatos deposicionais em geral acompanhados de erosão. Para Martin et al. (1984), por outro lado, essas discontinuidades estariam relacionadas ao efeito de molhe hidráulico exercido pelo fluxo fluvial. De acordo com Martin et al. (1984), em períodos de enchente, o fluxo do rio barraria sedimentos trazidos pela deriva litorânea de sul para norte, formando pontais arenosos e cristas de praia. Em períodos de menor descarga, o fluxo do rio não seria

suficiente para barrar sedimentos. O pontal e as cristas anteriormente formadas seriam parcialmente erodidos. Os sedimentos retrabalhados dariam forma a barreiras arenosas, e seriam incorporados ao norte da planície.

As distinções morfológicas observadas no delta atual refletem os diferentes processos de progradação que ocorrem a sul e a norte da foz. Estes processos, por sua vez, são provavelmente condicionados pela descarga líquida e sedimentar do rio e, sobretudo, pelas forçantes oceanográficas (deriva litorânea, clima de ondas e regime de marés). A este respeito, Vasconcelos et al. (2016) ao carregar dados de ondas entre 2004-2007 e calcular a assimetria de ondas, sugere um clima de ondas bimodal com predominância de ondas dos quadrantes NE e SE. As ondas de NE apresentariam períodos médios entre 6-8 segundos, enquanto as ondas de SE apresentariam período médio de 8-10 segundos.

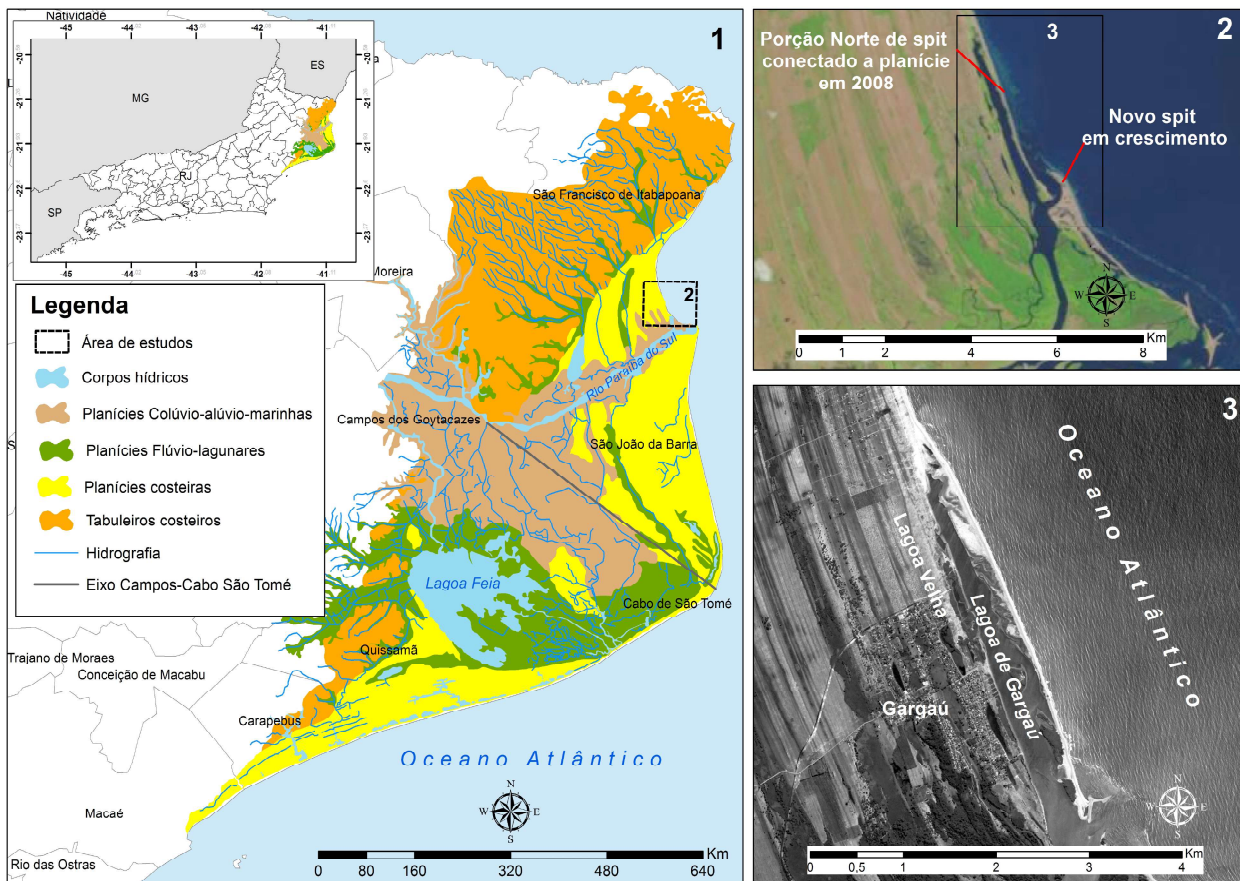


Figura 1 - Localização e contexto geológico-geomorfológico da área de estudos. 1) Mapa Geomorfológico do complexo deltaico do Rio Paraíba do Sul (CDRPS) destacando a área de estudos. (Adaptado da fonte: CPRM). 2) Imagem LANDSAT-8 do ano de 2017, composição RGB-234, mostrando o flanco norte do delta do Rio Paraíba do Sul com destaque ao spit arenoso estudado. 3) Imagem ALOS do ano de 2018 mostrando o sítio urbano de Gargaú, a Lagoa de Gargaú destacada pelo spit arenoso e a Lagoa Velha.

Quanto aos sentidos do transporte litorâneo foram observadas divergências na literatura. Alguns autores, como Dias & Gorini (1980) e Dias *et al.* (1984), defendem a ocorrência de transporte litorâneo de direção norte-sul no flanco sul do delta e sul-norte no flanco norte. Outros autores, como Martin *et al.* (1984) e Dominguez *et al.* (1996), defendem a ocorrência de deriva litorânea sul-norte que seria barrada pelo efeito de “molhe hidráulico” em períodos de grande vazão do rio. Há ainda autores, como Vasconcelos *et al.* (2016), que defendem a convergência de correntes de direções sul-norte e norte-sul no flanco norte do delta.

A variação de marés na área de estudo configura padrão característico de micromaré com amplitude máxima em torno de 1,8m entre a preamar e a baixamar de sizígia (ROCHA *et al.* 2018). As tábuas de marés da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) para o Porto do Açú mostra duas preamares e duas baixamares de mesma magnitude, configurando comportamento semi-diurno.

Em termos climatológicos, a área de estudo apresenta clima caracterizado como tropical úmido, com uma estação chuvosa no verão e uma seca no inverno. Apresenta temperatura média anual de 22°C e precipitação média anual de 1300mm. O mês de dezembro concentra as chuvas do ano, com média de 150mm precipitados (BERNARDES, 1957). Na maior parte do ano fica sob influência do Anticiclone do Atlântico Sul (ASAS) e, portanto, os ventos dominantes na área provêm do quadrante NE, com velocidades em torno de 5-10 nós. Nas estações do outono e inverno, impulsionadas pelo Anticiclone Migratório Polar (ACMP), as frentes frias trazem ventos do quadrante S, SE e menos frequentemente SW (PINHO, 2003).

### **3. Materiais e métodos**

#### **3.1 Mapeamento da evolução dos *spits* arenosos entre 1984 e 2017**

O mapeamento da evolução dos *spits* arenosos no período de 1984 e 2017 foi feito com base em imagens da série LANDSAT. A partir das imagens selecionadas e através de edição vetorial no programa ArcGIS 10.1®, foram produzidos 30 mapas geomorfológicos da área de estudo nas escalas de 1:60.000 e 1:70.000. Nestes

mapas geomorfológicos foram ressaltados 3 tipos de feições: Cristas de praia; depressões/manguezais; e *spits* arenosos.

A obtenção das imagens LANDSAT foi realizada através do endereço eletrônico “LANDSAT look Viewer” do Serviço Geológico Americano (USGS). Devido à baixa resolução dos primeiros sensores, optou-se neste trabalho por utilizar somente as imagens obtidas a partir de 1984 pelos sensores TM e OLI dos satélites LANDSAT-5 e 8, respectivamente. O sensor ETM+ do satélite LANDSAT-7 apresentou problemas que comprometeram a qualidade de seu imageamento, por isso não foram utilizadas imagens obtidas por esse sensor. As imagens foram selecionadas e exportadas em formato “geotiff” com referência espacial no datum WGS84 do Sistema Universal Transverso de Mercator (UTM). Além disso, as imagens foram exportadas já em composição RGB 321 (sensor TM) e 432 (sensor OLI) dentro do espectro visível.

Ao todo foram carregadas 392 imagens entre os anos de 1984 e 2017. Destas 392 imagens foram selecionadas e exportadas 45 imagens. Destas 45 imagens, foram selecionadas as 30 imagens que evidenciavam alterações mais representativas na morfologia dos *spits*. Os anos de 1987, 1989, 1992, 2009, 2010, 2012, 2013, 2015 e 2016 foram omitidos do mapeamento justamente porque não foram percebidas modificações importantes nas imagens relativas a esses anos. Por outro lado, para outros anos, como 1986 e 1994, frente as consideráveis alterações morfológicas notadas, foram selecionadas mais de uma imagem para a realização do mapeamento.

Uma vez elaborados todos os mapas, se calculou as áreas em Km<sup>2</sup> referentes ao *spit* arenoso emerso em cada mapa, através da ferramenta de cálculo geométrico disponível no programa Arcgis 10.1. Desta forma, foi gerado um gráfico de variação que sintetiza as variações de área associadas a processos de acreção, erosão e destruição total ou parcial dos *spits* arenosos. A partir dos mapas elaborados foram extraídos os polígonos relativos aos *spits* emersos e ligados a planície. Para efeito de comparação foi criado, através do programa ArcGIS 10.1® um mapa contendo todos esses polígonos.

### 3.2 Mapeamento da linha de costa entre os anos de 2008 e 2017

O mapeamento da variação da linha de costa, referente ao período de 2008 a 2017, foi realizado com base em imagens obtidas através do software Google Earth Pro versão 7.3 e uma imagem ALOS pancromática (5 m de resolução espacial), previamente georreferenciada do ano de 2008. As imagens Google Earth foram exportadas com a resolução máxima (4800x2718) e altitude do ponto de visão de 2 Km.

Ao todo foram exportadas 25 imagens referentes aos anos de 2011, 2014, 2015, 2016 e 2017. As imagens exportadas pelo *Google Earth Pro* foram georreferenciadas a partir da imagem ALOS de 2008 (adquirida já georreferenciada) através do software Arcgis 10.1. Após serem georreferenciadas, foram determinados o posicionamento e o mapeamento das linhas de costa, utilizando como critério o limite entre os sedimentos secos e os molhados no prisma praial. Apenas as linhas de 2008, 2011, 2014 e 2017 foram selecionadas para compor o mapa das linhas de costa, uma vez que somente nestes anos foram notadas alterações perceptíveis entre essas linhas.

Uma vez desenhadas as linhas de costa, foram traçados 6 transectos perpendiculares entre elas. Nos pontos onde foram traçados tais transectos foram aferidos, com auxílio da régua do Arcgis 10.1, as distâncias entre as linhas de 2008-2011, 2011-2014 e 2014-2017. Com as distâncias aferidas, foram calculadas as taxas de variação da linha de costa nos pontos avaliados e gerados gráficos de barras mostrando a variação das taxas calculadas.

### 3.3 Obtenção de dados de vazão de uma estação fluviométrica do Rio Paraíba do Sul

Os dados de vazão hidrológica do rio foram obtidos no endereço eletrônico HIDROWEB, disponibilizado pela Agência Nacional de Águas. Os dados hidrológicos correspondem a estação de número 58974000, localizada na Cidade de Campos, distante aproximadamente 25 km da foz do Paraíba do sul. A partir da série histórica obtida, a qual remonta ao ano de 1934, foi elaborado um gráfico de vazões médias mensais para o período de 1984-2017. Buscamos com isso avaliar se há relação estreita entre a vazão do rio e o retrabalhamento dos *spits*.

### 3.3 Obtenção dos Índices de Oscilação Sul (SOI) para as águas do pacífico sul

Através do endereço eletrônico do Bureau of Meteorology do governo australiano foi obtida a série histórica dos Índices de Oscilação Sul (SOI) que serve para se determinar períodos de *El Niño* ou *La Niña*. A partir dos dados obtidos, foi construído um gráfico com todos os índices aferidos desde 1984, destacando valores inferiores a -8 e superiores a 8 que representam, respectivamente, períodos de *El Niño* e *La Niña*. Buscamos avaliar se há alguma relação entre a ocorrência dos fenômenos *El Niño* e *La Niña* com períodos erosivos e construtivos dos *spits* arenosos.

## 4. Resultados e discussões

### 4.1 Evolução dos *spits* arenosos entre 1984-2017

A partir das imagens LANDSAT selecionadas foram elaborados 30 mapas ressaltando as feições relativas às cristas de praia, depressões/manguezais e *spits* arenosos (figura 2, 3 e 4). Esses mapas foram apresentados em sequência cronológica para evidenciar as variações geomorfológicas sofridas ao longo do tempo em cada novo *spit* formado a partir do extremo norte da Ilha da Convivência. A partir da observação desses mapas foi possível avaliar a morfodinâmica desses *spits* no período selecionado, principalmente no que diz respeito aos períodos de crescimento lateral e retrabalhamento.

De forma geral, foram observados 8 períodos com predominância erosiva (tabela 1), que levaram a abertura de canais de maré ou *inlets* e retrabalhamento dos sedimentos dos *spits* arenosos: 1º período entre maio e novembro de 1986; 2º período entre janeiro e novembro de 1994; 3º período entre julho de 1997 e setembro de 1998; 4º período entre outubro de 2001 e março de 2002; 5º período entre julho e outubro de 2003; 6º período entre agosto de 2005 e junho de 2006; 7º período entre maio de 2007 e agosto de 2007; 8º período entre agosto de 2008 e setembro de 2011. Nos períodos 1, 2, 3 e 5 observamos retrabalhamentos proeminentes que culminaram na destruição de grandes porções dos *spits* arenosos. Para todos os quatro períodos, tal destruição ocorreu após abertura de canais de maré e se concentrou na porção norte dos *spits*. Nos demais períodos, foi observado diminuição da largura dos *spits*



e/ou alargamento de *inlets*, seguidos de retomada de crescimento longitudinal. Dentre esses últimos, o 8º período erosivo parece ser um caso à parte. Ao invés de representar uma oscilação passageira seguida de

crescimento longitudinal e aumento da área emersa, o 8º período mostra um longo e considerável decréscimo de área emersa do *spit*. Tais observações se encontram sumarizadas na Tabela 1.

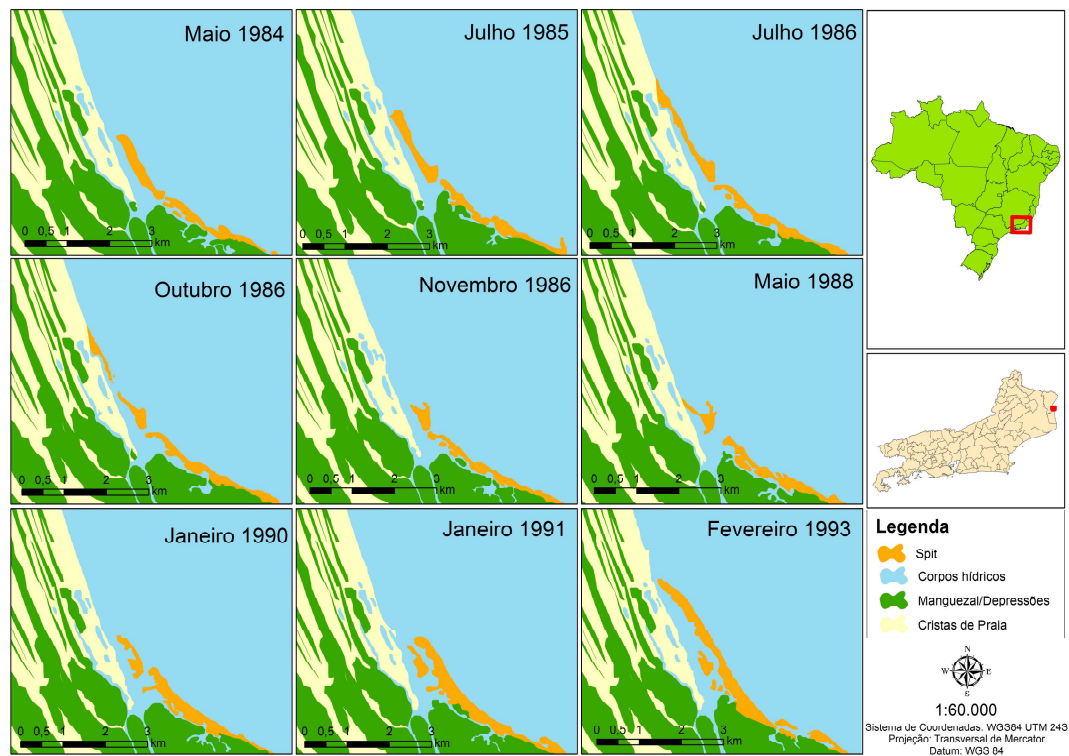


Figura 2 - Figura mostrando a evolução dos spits arenosos entre maio de 1984 e fevereiro de 1993 na escala de 1:60.000.

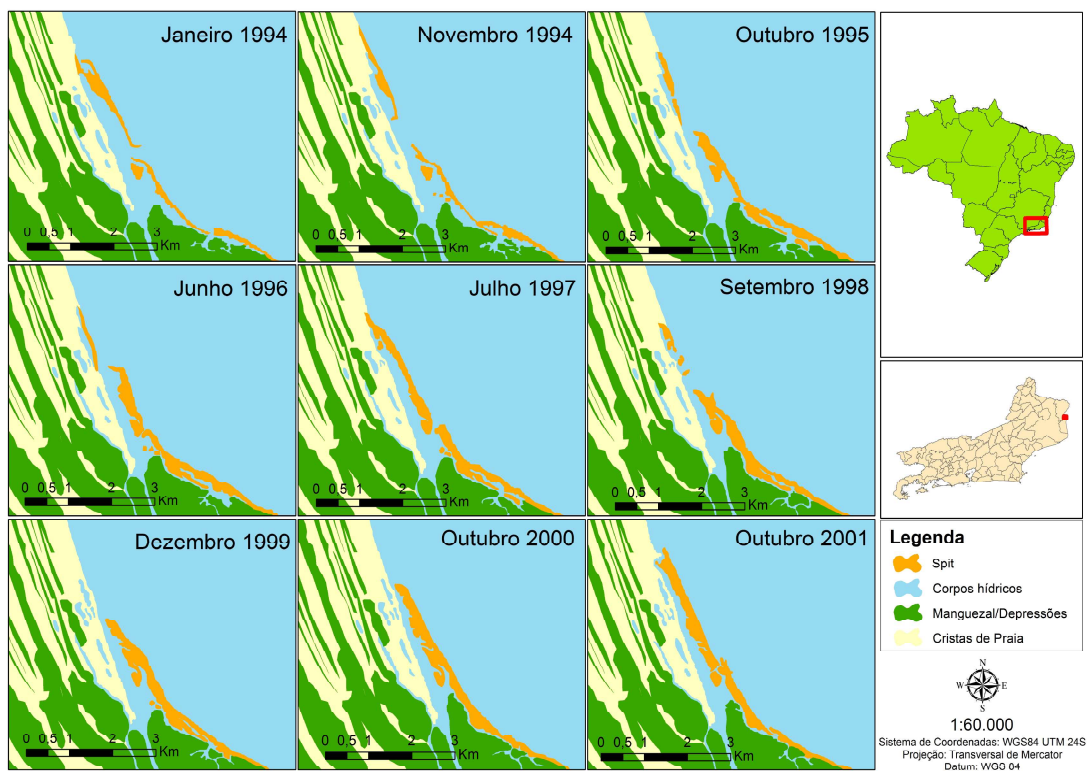


Figura 3 - Figura mostrando a evolução dos spits arenosos entre janeiro de 1994 e outubro de 2001 na escala de 1:60.000.

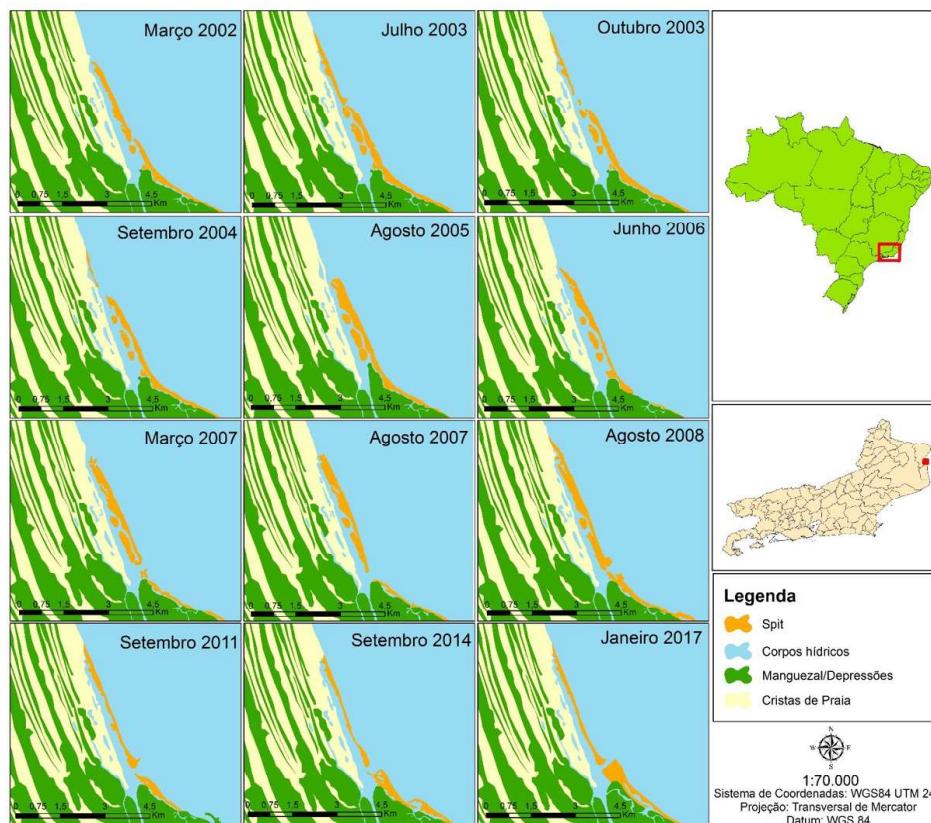


Figura 4: Figura mostrando a evolução dos spits arenosos entre janeiro de 2002 e outubro de 2017 na escala de 1:60.000.

Tabela 1: Estágios sumarizados de evolução das barreiras arenosas entre maio de 1984 e janeiro de 2017.

Intervalos	Descrições
Maio de 1984 a julho de 1986	Crescimento longitudinal e soldagem do spit à planície.
Julho de 1986 a novembro de 1986	Erosão, abertura de inlet no meio da porção norte do spit, destruição parcial da porção norte e incorporação de sedimentos à planície.
Novembro de 1986 a setembro de 1988	Submersão da porção norte do spit e persistência de um pequeno banco de areia emerso a frente do canal principal do rio.
Setembro de 1988 a fevereiro de 1993	Crescimento longitudinal de um novo spit a partir do extremo norte da Ilha da Convivência até soldagem a planície.
Fevereiro de 1993 a novembro de 1994	Erosão, abertura de inlet e separação de duas porções do spit, destruição parcial da porção norte, incorporação parcial de sedimentos à planície e destacamento de uma pequena lagoa.
Novembro de 1994 a julho de 1997	Retomada do crescimento longitudinal de um novo spit, abertura de inlet a sul e separação desse novo spit, continuação do crescimento e soldagem a planície.
Julho de 1997 a setembro de 1998	Erosão, destruição parcial da porção norte do spit, assimilação parcial de sedimentos a planície e destacamento de uma pequena lagoa.
Setembro de 1998 a outubro de 2001	Franca retomada do crescimento longitudinal de um novo spit, abertura de inlet a sul do spit e soldagem a planície.
Outubro de 2001 a março de 2002	Modesta erosão com alargamento do inlet a sul sem destruição do spit.
Março de 2002 a julho de 2003	Nesse período, se verifica a ocorrência concomitante de erosão a norte do inlet e crescimento longitudinal de um novo spit a sul do inlet, com predominância do segundo processo
Julho de 2003 a outubro de 2003	Erosão, destruição parcial da porção norte do spit e incorporação dos sedimentos à planície. Destacamento de uma pequena lagoa.
Outubro de 2003 a agosto de 2005	Franca retomada de crescimento longitudinal.
Agosto de 2005 a junho de 2006	Erosão levando ao afinamento de todo o spit, marcadamente da porção sul, sem destruição do spit.
Junho de 2006 a março de 2007	Retomada do crescimento longitudinal e aumento da área emersa do novo spit.
Março de 2007 a agosto de 2007	Abertura de inlet e separação do spit, levando a diminuição da área emersa sem destruição do spit.
Agosto de 2007 a agosto de 2008	Retorno do crescimento longitudinal e soldagem da porção norte do spit a planície.
Agosto de 2008 a setembro de 2011	Erosão levando a diminuição considerável da área emersa sem destruição da porção norte do spit.
Setembro de 2011 a janeiro de 2017	Estabilização da porção norte e adoção de comportamento de retrogradação.



Em complemento, foram quantificadas as áreas relativas às porções de *spit* emerso para todos os 30 mapas produzidos. A figura 5 mostra a curva de variação da área no período analisado. Nela estão demarcados os 8 períodos erosivos que levaram a diminuição da área emersa dos *spits*. A partir de sua observação foi notado que os períodos 1, 2 e 8 se destacaram em relação a todos os

demais períodos, apresentando diminuições mais significativas de área e corroborando, desse modo, a análise dos mapas apresentados nas figuras 2, 3 e 4. Inoportunamente, existem lacunas de imageamento entre fevereiro de 1993 e janeiro de 1994 e entre julho de 1997 e setembro de 1998 que impediram o mapeamento com maior detalhe do retrabalhamento ocorrido em ambos os períodos.

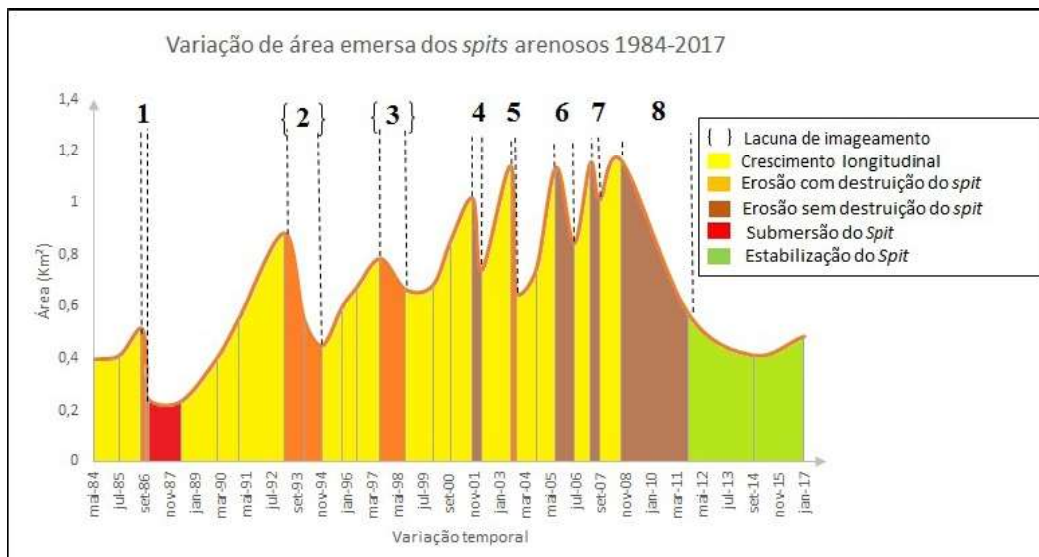


Figura 5 - Variação de área emersa dos spits entre 1984-2017. Os picos erosivos estão destacados pelas linhas pontilhadas e enumerados conforme ordem de ocorrência. Veja que dentre os picos erosivos os maiores decréscimos de área são observados no 1, 2, 5 e 8. Os três primeiros levaram a destruição do spit.

Outra observação importante a ser realizada diz respeito a mudança de escala adotada para os mapas elaborados a partir de março de 2002 (figura 4). O crescimento longitudinal de um novo *spit* em direção ao continente se processou de tal maneira que em 2003 se soldou à planície em um ponto mais ao norte. Ponto este que ficava fora do quadro de mapeamento na escala de 1:60.000. Por esse motivo, para o enquadramento total do *spit*, foi necessário a redução para a escala de 1:70.000.

Estas observações merecem destaque, haja a vista que, após destruição parcial desse *spit* ainda em 2003 (figura 4), um novo *spit* arenoso voltou a crescer longitudinalmente a partir da Ilha da Convivência até atingir a planície em um ponto ainda mais ao norte no ano de 2008 (figura 6). Ao mesmo tempo esse novo *spit* aparenta ter sofrido uma leve deflexão em sua orientação de NW-SE para NNW-SSE (figura 6). Desde então, o *spit* entrou no período mais longo sem sofrer abertura

de *inlets* e destruição de sua estrutura, assumindo um comportamento retrogradante, migrando em direção ao continente. Conforme afirma Dan *et al.* (2011), os *spits* arenosos representam feições que migram mantendo sua forma até se alinharem em uma posição de equilíbrio. Posição de equilíbrio esta que é reflexo direto do clima de ondas característico que chega à linha de costa. É provável que a mudança verificada foi responsável por conferir estabilidade ao *spit* arenoso.

O modelo proposto por Vasconcelos *et al.* (2016) admite a possibilidade de rompimentos nos *spits* arenosos frente a ação de eventos de alta energia e que, após se conectar ao litoral, o *spit* recua em direção ao continente, através do mecanismo de transposição de ondas (*overwash*), isolando um corpo lagunar que é progressivamente colmatado pela sedimentação fluvial. O modelo não admite, no entanto, a possibilidade de retrabalhamentos que levem a destruição de grandes porções dos *spits* arenosos.

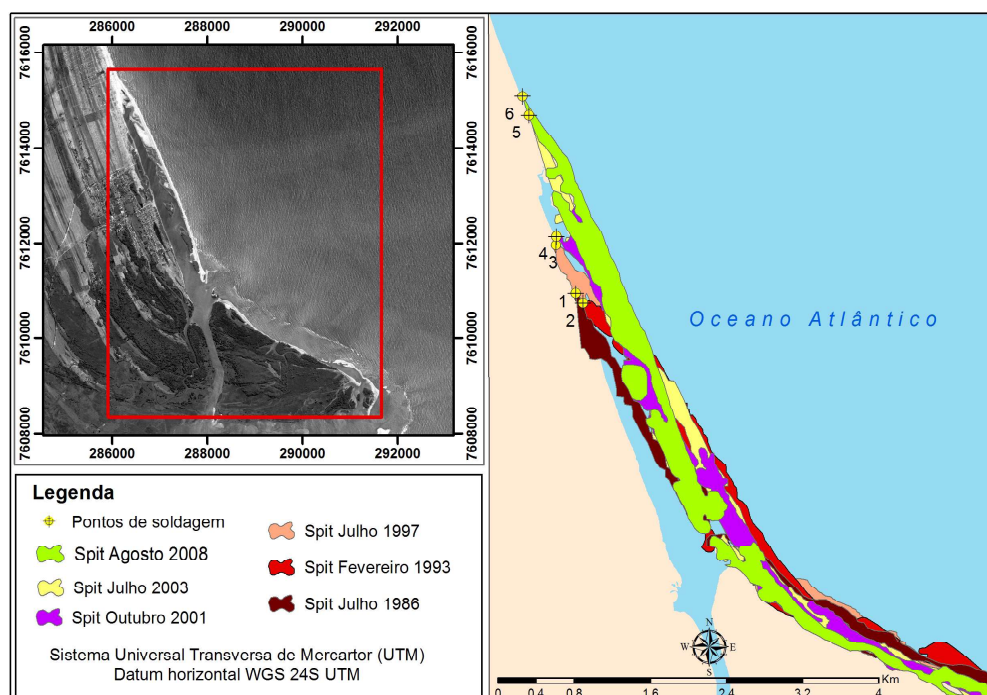


Figura 6 - Comparação dos momentos em que o spit aparece conectado à planície costeira, nos anos de 1986, 1993, 1997, 2001, 2003 e 2008. Os pontos amarelos marcam os pontos de contato entre esses spits e a planície. Notar que com o decorrer do tempo o spit foi progressivamente se ligando a pontos mais ao norte.

Muito embora o comportamento cíclico de evolução de *spits* arenosos seja muito bem descrito por diversos trabalhos (OGDEN, 1972; NICHOLLS & WEBBER, 1987; DAN *et al.*, 2011; VESPREMEANU-STROE & PREOTEASA, 2015; PREOTEASA *et al.*, 2016), existem muitas pesquisas presentes na literatura demonstrando que a morfodinâmica de desembocaduras deltaicas possui forte caráter não-linear. Uma evolução linear ou regular desses *spits* pressupõe a regularidade de todas as forças envolvidas nessa evolução (ondas, transporte litorâneo, vazão líquida, descarga sedimentar). Em termos práticos tal regularidade não existe. Essas forças influenciam-se mutuamente através de mecanismos diversos de retroalimentação. Flutuações dessas forças geram modificações nesses mecanismos de retroalimentação tendo consequências processuais e morfológicas (GIOSAN *et al.*, 2005; VAN MARREN, 2005 e GIOSAN, 2007).

Os resultados encontrados no presente trabalho mostraram a ocorrência de 8 períodos erosivos distintos alguns dos quais levaram a destruição de grandes porções dos *spits* arenosos emersos a intervalos irregulares de tempo, sugerindo a não-linearidade da evolução dessas feições no delta do rio Paraíba do Sul. Tais resultados sugerem que existem ciclos de emersão, crescimento, conexão e colmatação de corpos lagunares mais curtos do que os ciclos propostos por Vasconcelos *et al.* (2016). A ocorrência desses ciclos curtos sugere o mecanismo de

formação dos vários corpos lagunares observados na área de estudo (figura 1). Desses corpos lagunares formados no período avaliado, ao menos um perdura contíguo a lagoa de Gargaú. A Lagoa Velha formada pela conexão de um *spit* arenoso em 1926, conforme registrado por Lamego (1934), também perdura ainda hoje com espelho d'água provavelmente inferior ao de outrora (figuras 1 e 7).

#### 4.2- Alterações da linha de costa entre 2008 e 2017

A observação das imagens LANDSAT obtidas para os anos seguintes a 2008 (figura 4) deixou claro que o *spit* arenoso não sofreu notáveis alterações morfológicas, mantendo-se íntegro durante todo o período de 2008-2017. Entretanto Vasconcelos *et al.* (2016) e Costa & Rocha (2017), mostram o comportamento de retrogradação assumido pelo *spit* desde sua conexão a planície em 2008. O estudo de Fernandez e Rocha (2015) mostra ainda a franca progradação da praia ao norte do ponto de conexão do *spit* arenoso, onde a dinâmica de emersão de barras não se faz presente. Portanto, em complemento ao mapeamento da evolução dos *spits* entre 1984 e 2017, foi produzido um mapa das linhas de costa dos anos de 2008, 2011, 2014 e 2017. O mapa endossa a tendência de retrogradação do *spit* apontada em trabalhos prévios, além de confirmar a franca progradação da praia ao norte da área de emersão do *spit* (figura 8).

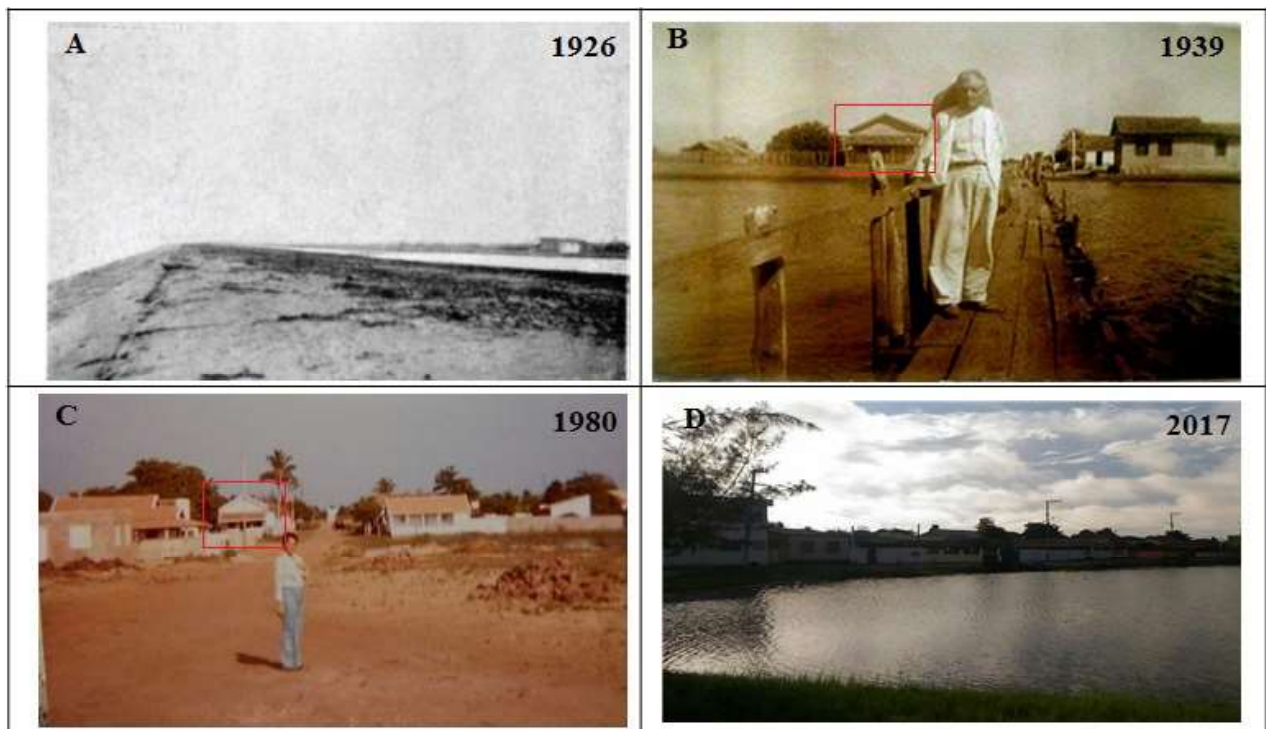


Figura 7 - A) Lagoa Velha – 1926 (Ver localização na fig. 1). Fotografia tirada após conexão de spit arenoso em 1926. Fonte: Lamego, 1946. B) Lagoa Velha – 1939. Fotografia do Sr.º José Antônio de Mattos tirada em um passadiço sobre a Lagoa Velha em 1939. Fonte: Blog Museonlinesfi. C) Lagoa Velha -1980. Fotografia da Sr.ª Hévia de Mattos tirada em um ponto próximo ao da fotografia anterior. Demarcado em vermelho, percebe à esquerda Sr.ª Hévia a mesma casa presente a esquerda do Sr.º José. Fonte: Blog Museonlinesfi. D) Lagoa Velha – 2017. Fotografia tirada em 2017 mostrando o pequeno espelho d'água que restou da Lagoa Velha. Fonte: Acervo dos autores.

As linhas de costa juntam-se em um ponto convergente (representado pelo transecto 2 da figura 8) onde não houve alterações de posição no período analisado. Ao norte do transecto 2 as linhas tendem a se separar e avançar em direção ao mar. Por outro lado, ao sul do transecto 2 as linhas tendem progressivamente a se separar e avançar em direção ao continente. Esta tendência é bruscamente interrompida próximo ao canal principal do rio, onde as linhas convergem novamente em um ponto na porção final do *spit*.

A figura 9 mostra as taxas de avanço e recuo das linhas de costa entre os anos analisados. De forma geral, as taxas de recuo tendem a crescer em direção a porção sul do *spit*, atingindo os maiores valores no transecto 5. Outro aspecto interessante a se notar é a diferença existente entre as taxas calculadas para o período 2008-2011 e demais períodos. Tanto o recuo quanto o avanço do *spit* arenoso se mostraram muito mais notáveis entre 2008 e 2011 quando comparados aos anos que se seguiram. Isto se reproduz no mapa (figura

8) através do espaçamento entre a linha de 2008 e 2011. Em comparação, o espaçamento entre as linhas de 2011, 2014 e 2017 se mostrou consideravelmente mais curto (figura 8). Fato este que endossa, a provável estabilidade dinâmica atingida pelo *spit* a partir de 2011, apontada anteriormente nas figuras 4, 5 e 6.

Em todo caso, a distinção observada pode estar relacionada também a flutuações da linha d'água em função das marés, ocorrida na data de aquisição das imagens que serviram de base para o mapeamento. As imagens de 2011 e 2017 foram obtidas em dias de maré de sizígia, enquanto a imagem de 2014 foi obtida em dia de maré de quadratura. Klumb-Oliveira & Albino (2014) encontraram amplitude horizontal média de 6m em praias refletivas/intermediárias sob regime de micromaré semi-diurna entre as preamares de Sizígia e Quadratura. Dessa forma, a distância aferida entre as linhas pode estar acrescida ou diminuída nesta ordem de grandeza.

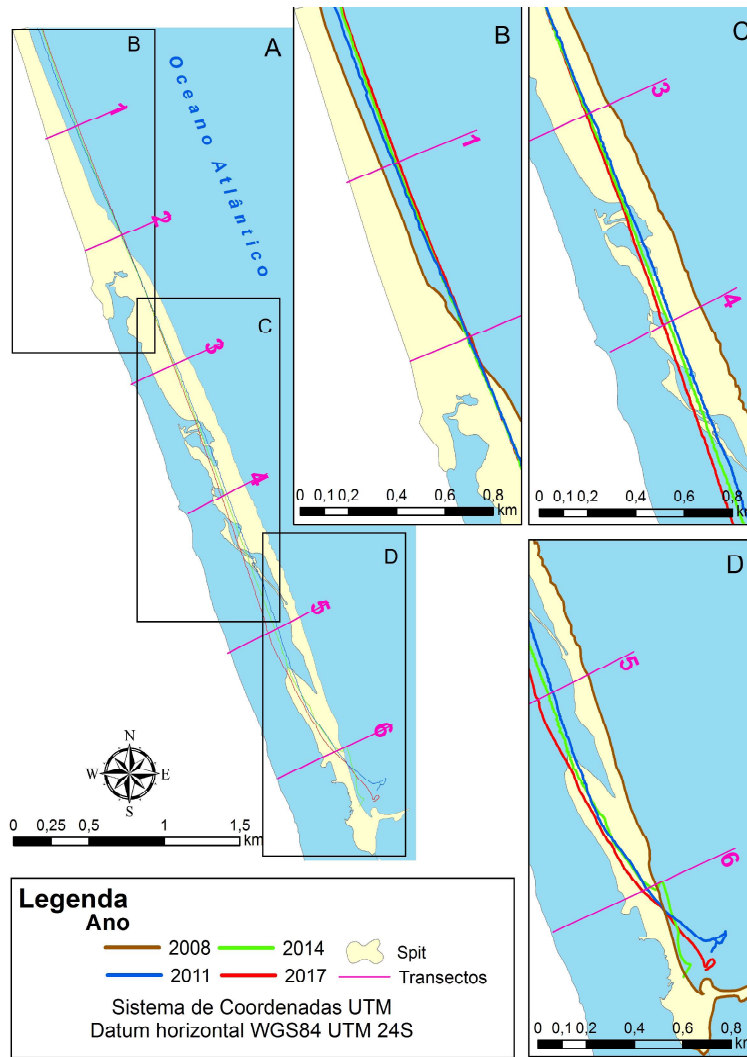


Figura 8 - Linhas de costa entre 2008-2017. A esquerda: As linhas por todo o comprimento do spit apresentadas na escala 1:24.000. A direita: O spit e as linhas parceladas em três partes apresentadas na escala 1:15.000. Cabe ressaltar que o spit mapeado no mapa é referente ao ano de 2008.

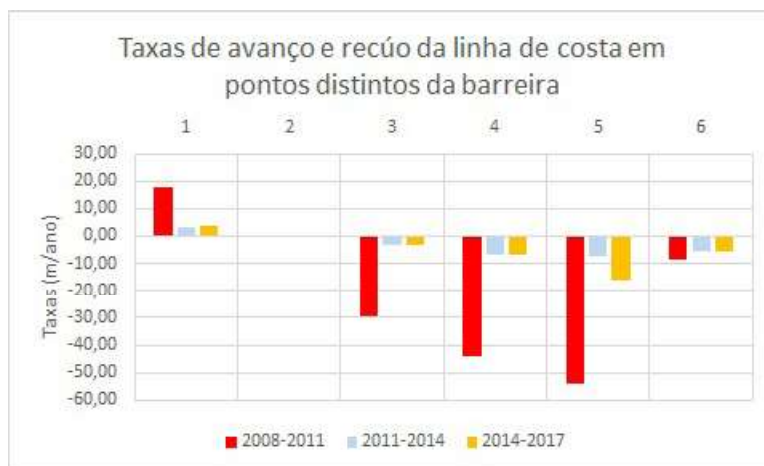


Figura 9 - Gráfico de variação das taxas e distâncias de avanço e recuo da linha de costa entre 2008 e 2017, de acordo com o número dos transectos presentes na figura 7.



#### 4.3 Série histórica de vazão líquida da estação fluviométrica Campos-Ponte Municipal

Buscou-se através dos dados históricos de vazão líquida do rio Paraíba do Sul estabelecer comparações entre os períodos de emersão, crescimento, erosão e destruição dos *spits* arenosos com episódios de cheia ou seca do rio. Os dados obtidos tiveram como resultado todo o perfil de vazões médias mensais para o período de 1984 até o último registro disponibilizado para a

estação em maio de 2016 (figuras 10 e 11).

Os meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março se destacaram por apresentarem os valores mais elevados de vazão, o que era esperado devido ao regime de precipitação da região. Particularmente o mês de janeiro mostrou as maiores médias para a maioria dos anos analisados, ora sendo substituído pelos meses de fevereiro, ora pelos meses de dezembro e menos frequentemente pelos meses de março (figura 12).

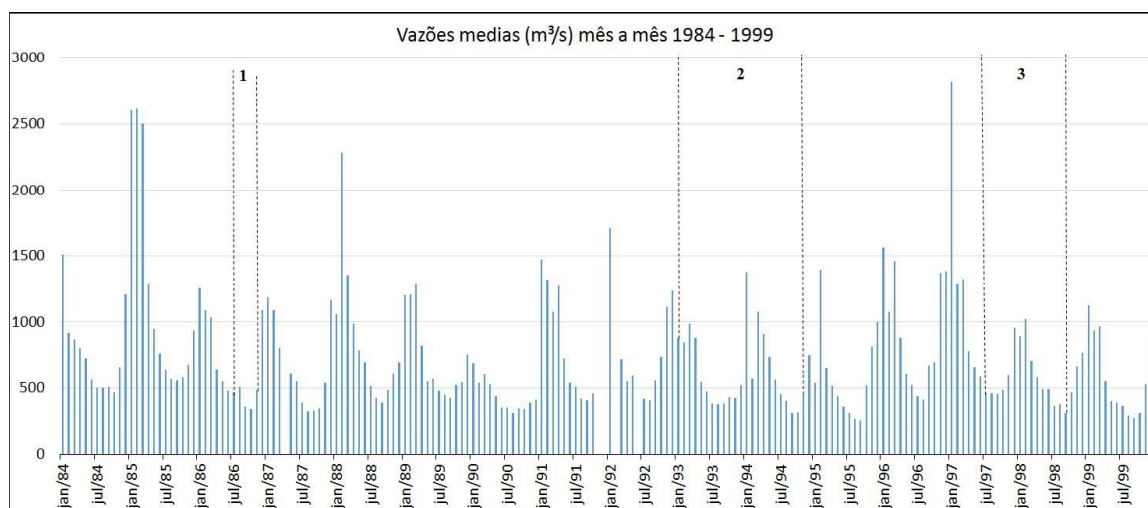


Figura 10 - Gráfico de vazões médias mensais para o período de 1984-1999. As linhas tracejadas delimitam o lapso temporal onde foram identificados os momentos de erosão dos *spits*.

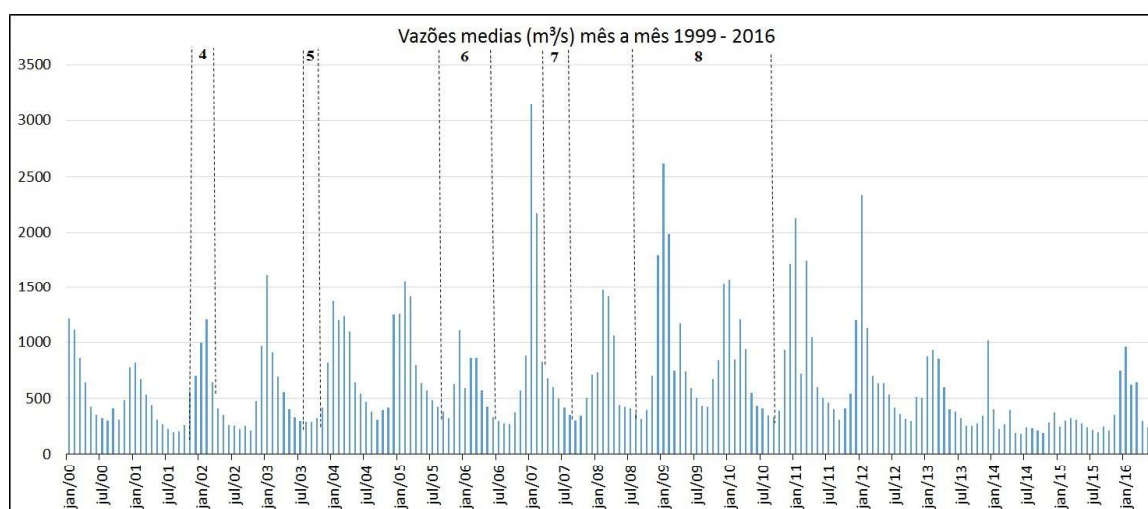


Figura 11 - Gráfico de vazões médias mensais para o período de 1999-2016. As linhas tracejadas delimitam o lapso temporal onde foram identificados os momentos erosivos.

Por outro lado, os meses de junho, agosto, setembro e outubro se destacaram por apresentarem os valores mais baixos de vazão. O mês de setembro concentra os menores valores de vazões médias, ora

substituído pelos meses de agosto, outubro e menos comumente junho (figura 12). Tais resultados são condizentes com as características climáticas da área de estudo.



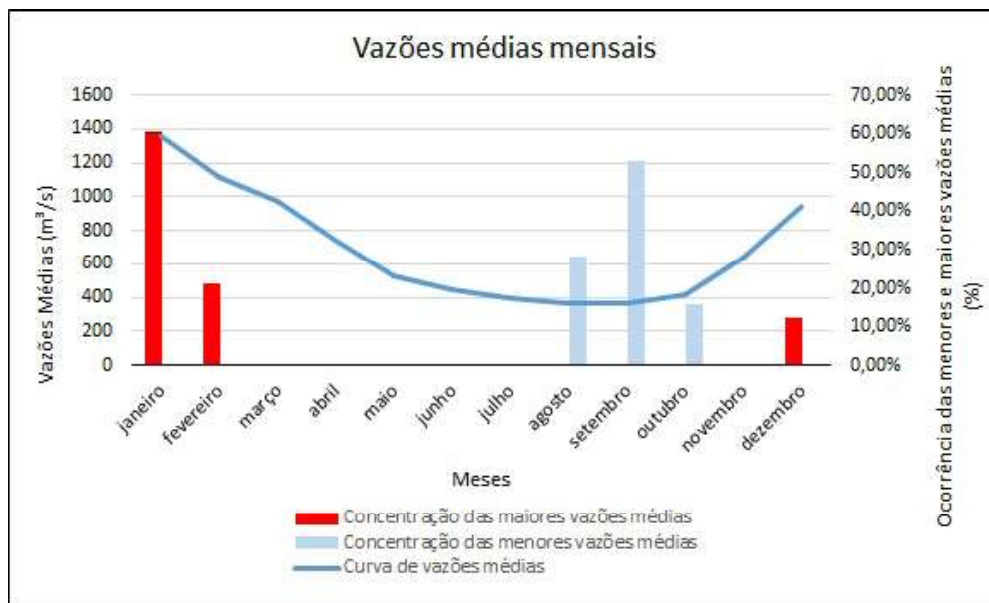


Figura 12 - Gráfico mostrando a curva de vazões médias mensais calculadas para o período estudado. A ocorrência dos maiores valores de vazões médias se concentrou nos meses de janeiro, fevereiro e dezembro. Já a ocorrência das menores vazões médias se concentrou nos meses de setembro, agosto e outubro.

Ao serem comparados os períodos erosivos dos *spits* arenosos ao gráfico de vazões médias mensais, foram notados que os períodos 1, 5 e 7 ocorreram justamente nas estações secas dos anos de 1986, 2003 e 2007. Infelizmente, as lacunas de imageamento existentes nos períodos 2 e 3 não possibilitam que sejam feitas comparações seguras entre os dados apresentados no gráfico e o mapeamento. Isto é especialmente factual para o período 3, haja a vista que entre julho de 1997 e setembro de 1998 se transcorreram as estações secas de 1997 e 1998 e chuvosa de 1998, não sendo possível determinar especificamente em qual período o retrabalhamento do *spit* se intensificou. O período erosivo 2, por outro lado, parece ter perdurado todo o intervalo entre fevereiro de 1993 e novembro de 1994. Contudo, como mostra a figura 5, a proeminente diminuição de área emersa entre fevereiro de 1993 e janeiro de 1994 sugere que o retrabalhamento do *spit* foi mais intenso nesse período que engloba toda a estação seca de 1993.

O quarto período erosivo, por outro lado, inversamente a tendência observada nos períodos 1, 2, 5 e 7, ocorreu na estação chuvosa do ano de 2002. O período erosivo 6 englobou a maior parte da estação chuvosa do 2006, contudo as vazões registradas para esse período se apresentaram abaixo do esperado para a época. Também foi interessante notar que a manutenção da estabilidade

dinâmica alcançada pelo *spit* a partir de 2011, coincidiu com a grande estiagem que atingiu o país, sobretudo na Região Sudeste, a partir de 2013 (figura 11).

#### 4.4 Ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña entre 1984-2017

A construção do gráfico dos Índices de Variação Sul (SOI) tem por objetivo comparar os períodos de retrabalhamento dos *spits* arenosos com períodos de *El Niño* e *La Niña*, uma vez que esses fenômenos podem influenciar a descarga líquida do rio em função de possíveis alterações na precipitação; e podem também influenciar o regime de ondas, devido a alterações no padrão de ventos (MUEHE *et al.*, 2015). Os resultados obtidos não mostram uma clara relação entre referidos períodos erosivos dos *spits* com a ocorrência de nenhum dos dois fenômenos. Contudo, a ocorrência de vários meses de fenômeno *La Niña* intenso entre 1993 e 1994 e entre 1997 e 1998, sugere certa relação entre os períodos erosivos 2 e 3 com esse fenômeno. Durante os demais períodos erosivos, no entanto, as condições das águas do pacífico sul-leste encontravam-se em normalidade ou, menos frequentemente, aquecidas (figura 13).

Pereira & Klumb-Oliveira (2015), analisando os efeitos dos fenômenos *El Niño* e *La Niña* para o litoral central fluminense, mostraram o aumento em frequência

de ondas de tempestade superiores a 3 metros vindas dos quadrantes sul, sudeste e sudoeste durante períodos de *La Niña*. Ribeiro *et al.* (2016), ao simularem ondas extremas no modelo Mike21, observou que os espectros direcionais dos quadrantes nordeste, leste e sudeste sofrem menores atenuações quebrando com alturas parecidas na área de estudo. Nesse contexto, as ondas de tempestade advindas especialmente de sudeste ganhariam ainda mais importância para os períodos de retrabalhamento dos *spits* durante a ocorrência do fenô-

meno. Em todo caso, deve-se ressaltar que não ocorreu a destruição total dos *spits* durante os episódios de *La Niña*. A não verificação de ocorrência do fenômeno *La Niña* em todos os episódios de retrabalhamento e a verificação de crescimento longitudinal durante alguns períodos de sua ocorrência sustentam tal afirmação. Em todo caso, é importante ressaltar que a influência dos fenômenos *El Niño* e *La Niña* sobre o clima de ondas nas adjacências da Bacia de Campos ainda não foi sistematicamente investigada.

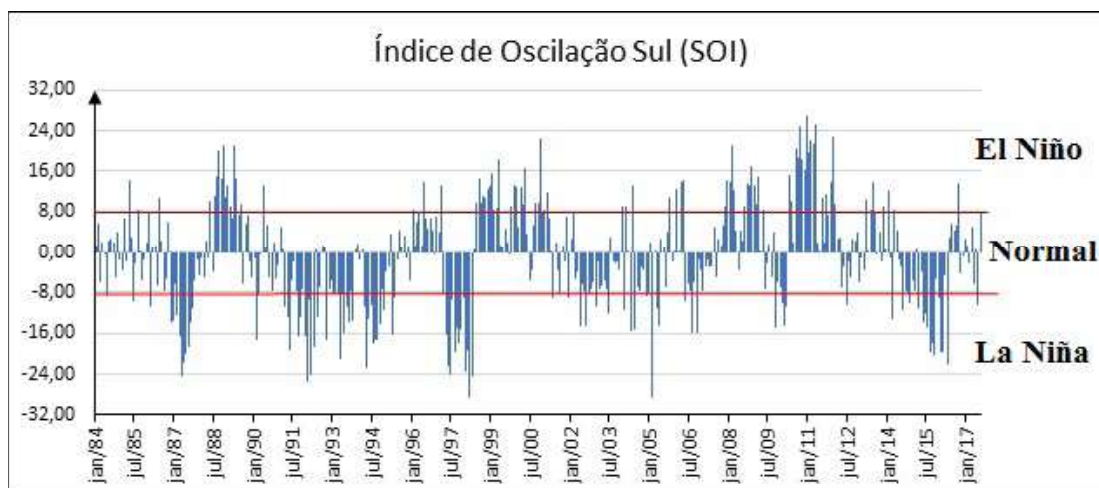


Figura 13 - Gráfico de variação dos índices SOI entre 1984 e 2017.

## 5. Considerações finais

Os resultados obtidos no escopo desta pesquisa mostraram que a dinâmica de construção não-linear do *spit* arenoso no flanco norte do delta do rio Paraíba do Sul se complementa a proposta do modelo de Vasconcelos *et al.* (2016). Frente a ação das forçantes oceanográficas, especialmente de ondas de alta energia, estes *spits* estão suscetíveis a constantes retrabalhamentos que podem levar a destruição parcial dos mesmos.

Complementando os longos ciclos de emersão, crescimento, conexão à planície e colmatção de corpos lagunares propostos por Vasconcelos *et al.* (2016), foram observados 8 períodos erosivos intercalados por períodos de emersão e crescimento longitudinal em forma de *spits*, no presente trabalho. Estes episódios representam ciclos mais curtos de emersão, crescimento, conexão e incorporação parcial de sedimentos à planície deltaica. Em cada um desses episódios de retrabalhamento, parte dos sedimentos que compunham os *spits* foram assimilados à planície, destacando, por vezes, pequenos corpos lagunares. Este é um dado interessante que explica a origem das lagunas e brejos que marcam a área.

Após 2008, o *spit* assumiu um comportamento retrogradante e atingiu estabilidade dinâmica. Desde então, não foram observados episódios de erosão acentuada, abertura de *inlets* e destruição e submersão do *spit*. Do período de 33 anos analisados, esse é o período mais longo de estabilidade dinâmica observado e confere certa validade aos ciclos de evolução presentes na proposta de Vasconcelos *et al.* (2016). Tal estabilidade coincide com o período da estiagem que teve consequências gerais na bacia do rio Paraíba do Sul, gerando os menores valores de vazões observados na série histórica. Estes baixos valores de vazões não podem, contudo, justificar a estabilidade alcançada pelo *spit*. Pois como mostram os resultados, vários períodos erosivos ocorreram justamente durante períodos de baixa vazão do rio. Muito provavelmente essa estabilidade está relacionada a outros fatores, como mudanças de clima de onda, perfil batimétrico e orientação do *spit* arenoso.

Além disso, os resultados evidenciaram ainda que a evolução dos *spits* arenosos não se processa com uma sazonalidade bem demarcada. Entretanto, os resultados sugeriram que os meses de julho a novembro,

com destaque para o mês de setembro, parecem reunir as condições propícias a erosão e destruição dos *spits* emersos. Isto provavelmente pode estar relacionado com a forçante de ondas se sobrepondo em relação à vazão reduzida do período. Investigações acerca da influência do clima de ondas na evolução dos *spits* serão conduzidas nas próximas etapas da pesquisa.

De forma similar, não se verificou estreita relação de episódios de retrabalhamento com fenômenos de *El Niño* e *La Niña*. Ainda assim, em épocas de ocorrência do fenômeno *La Niña*, os *spits* arenosos podem se tornar mais suscetíveis a erosão frente ao aumento na frequência de ondas de alta energia vindas do quadrante sudeste. Nesse sentido, considera-se como relevante a continuação da investigação da dinâmica dos *spits*, considerando a perspectiva da modelagem de ondas, da interação com a dinâmica fluvial e da coleta de novas batimetrias do fundo submarino.

### Agradecimentos

Agradecemos a Fundação Carlos Chagas de Amparo à Pesquisa (FAPERJ) pela concessão de bolsa de iniciação científica essencial para a elaboração desta pesquisa. Agradecemos a Uellinton Soares, administrador do Blog MuseuonlineSf, e ao colaborador Maurício Ramos Pomar Bianco por nos cederem gentilmente algumas das fotografias utilizadas neste trabalho.

### Referências Bibliográficas

ANGULO, R. J.; LESSA, G. C.; SOUZA, M. C. A critical review of mid- to late-Holocene sea level fluctuations on the eastern Brazilian coastline. **Quaternary Science Reviews**, 25: 486–506. 2006

ANTHONY, E. J. Wave influence in the construction, shaping and destruction of river deltas: A review. **Marine Geology**, 361: 53–78. 2015.

BERNARDES, L. M. C. Tipos de clima do estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Geografia**, 14(1): 57-74. 1957.

BHATTACHARYA, J. P.; GIOSAN, L. Wave-influenced deltas: geomorphological implications for facies reconstruction. **Sedimentology**, 50: 187–210. 2003.

DA COSTA, A. P. F.; ROCHA, T. B. Evolução da linha de costa no flanco norte do delta do Rio Paraíba do Sul (RJ) a partir de

registros históricos. *In*: PERES FILHO, A.; AMORIM, R.R. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**. Campinas, Editora UNICAMP. p.2998-3003. 2017.

DAN, S.; WALSTRA, D. J. R.; STIVE, M. J. F.; PANIN, N. Processes controlling the development of a river mouth *spit*. **Marine Geology**, 280: 116-129. 2011.

DIAS, G. T. M.; GORINI, M. A. A Baixada Campista: Estudo Morfológico dos Ambientes Litorâneos. *In*: ANAIS DO XXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, Camboriú (SC), vol 1, p.588-602, 1980.

DIAS, G. T. M.; SILVA, C. G.; MALSCHITZKY, I. H. & PIERMES, C. A frente deltáica do rio Paraíba do Sul - fisiografia submarina e distribuição sedimentar. *In*: ANAIS DO XXXIII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, Rio de Janeiro (RJ), Vol. 4, p. 1565-1576. 1984.

DIAS, G.T.M. O complexo deltaico do Rio Paraíba do Sul. *In*: IV SIMPÓSIO DO QUATERNÁRIO. Publicação especial, n.2, p. 58-88. 1981.

DOMINGUEZ, J. M. L. The São Francisco strandplain: a paradigm for wave-dominated deltas? *In*: DE BAPTIST, M. & JACOBS, P. **Geology of Siliciclastic Shelf Seas**. Londres, Geological Society of London, Special Publication 117, p. 217–231. 1996.

DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A. C. S. P.; MARTIN, L. Esquema evolutivo da sedimentação quaternária nas feições deltaicas dos rios São Francisco (SE\AL), Jequitinhonha (BA), Doce (ES), e Paraíba do Sul (RJ). **Revista Brasileira de Geociências**, 11(4): 227-237. 1981.

DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A. C. S. P.; MARTIN, L. O Papel da deriva litorânea de sedimentos arenosos na construção das planícies costeiras associadas às desembocaduras dos Rios São Francisco (SE-AL), Jequitinhonha (BA), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ). **Revista Brasileira de Geociências**, 13(2): 98-105. 1983.

FERNANDEZ, G. B.; ROCHA, T. B. Barreiras costeiras holocênicas: geomorfologia e arquitetura deposicional no litoral do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 16(2): 301-319. 2015.

GALLOWAY, W. E. Process framework for describing themorphologic and stratigraphic evolution of delta depositional systems. *In*: BROUSSARD, M. L. **Deltas: Models for Exploration**. Houston, Houston Geological Society, p. 87–98. 1975.

GIOSAN, L. Morphodynamic feedbacks on deltaic coasts:

- lessons from the wave dominated Danube delta. **Coastal Sediments**, 239(63): 828–841. 2007.
- GIOSAN, L.; DONNELLY, J. P.; VESPREMEANU, E.; BATHACARYA, J. P.; OLARIU, C.; BUONAIUTO, F. S. River delta morphodynamics: examples from the Danube delta. In: GIOSAN, L & BATHACARYA, J. P. **River Deltas—Concepts, Models, and Examples**. Oklahoma, Society of sedimentary Geology, p. 393-411. 2005.
- KLUMB-OLIVEIRA L. A.; ALBINO, J. Mobilidade e erosão da enseada da Praia do Morro, Guarapari - ES, em diferentes escalas de tempo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 15(1): 103-117. 2014.
- LAMEGO, A. R. **A planície do solar e a senzala**. Rio de Janeiro: Livraria Católica, 170p. 1934.
- LAMEGO, A. R. **O Homem e a Restinga**. Rio de Janeiro, IBGE, 227p. 1946.
- MARTIN, L.; SUGUIO, K.; FLEXOR, J. M.; DOMINGUEZ J. M. L. & AZEVEDO, A. E. G. Evolução da planície costeira do Rio Paraíba do Sul (RJ) durante o Quaternário: influência das flutuações do nível do mar. In: **ANAIS DO XXXIII CONG. BRAS. DE GEOLOGIA**, Rio de Janeiro (RJ), V.1, p.84-97. 1984.
- MUEHE, D.; LINS-DE-BARROS, F.; OLIVEIRA, J. F. DE & KLUMB-OLIVEIRA, L. A. Pulsos erosivos e resposta morfodinâmica associada a eventos extremos na costa leste do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 16(3): 369-386. 2015.
- NASA. *Landsat Science: Hystory*. 2017. Disponível em <https://landsat.gsfc.nasa.gov/about/history/>.
- NICHOLLS, R. J.; WEBBER, N. B. The Past, Present and Future Evolution of Hurst Castle *Spit*, Hampshire. **Progress in oceanography**, 18: p.119-137. 1987.
- OGDEN, J. O. Shoreline Changes Along the Southeastern Coast of Martha's Vineyard, Massachusetts for the Past 200 Years. **Quaternary research**, 4: 496-508. 1974.
- PAULA, D.; MORAIS, J. O. DE.; FERREIRA, O.; DIAS, J. A. Análise histórica das ressacas do mar no litoral de Fortaleza (Ceará, Brasil): Origem, características e impactos. In: Paula, D & Dias, J. A. **Ressacas do Mar – Temporais e Gestão Costeira**. Fortaleza, Editora Premius, p. 173-211. 2015.
- PEREIRA, N. E. DA S.; KLUMB-OLIVEIRA, L. A. Analysis of the influence of ENSO phenomena on wave climate on the central coastal zone of Rio de Janeiro (Brazil). **Revista de Gestão Costeira Integrada / Journal of Integrated Coastal Zone Management**, 15(3): 353-370. 2015.
- PINHO, U.F. **Caracterização do estado do mar na Baía de Campos**. Rio de Janeiro, 145p. Dissertação de Mestrado. COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2003.
- PREOTEASA, L., VESPREMEANU-STROE, A., TATUI, F., ZAINESCU, F., TIMAR-GABOR, A.; CÎRDAN, I. The evolution of an asymmetric deltaic lobe (Sf. Gheorghe, Danube) in association with cyclic development of the river-mouth bar: Long-term pattern and present adaptations to human-induced sediment depletion. **Geomorphology**, 253: 59–73. 2016.
- RIBEIRO, M. G.; GOMES, T. B.; BULHÕES, E. M. R. Respostas morfodinâmicas e fisiográficas da zona costeira ao norte da Baía de Campos frente a eventos de tempestade. **Rev. Tamoios**, 2: 91-111. 2016.
- ROCHA, T. B.; MACHADO, B. A.; DA SILVA, J. C.; MELLO, G. S.; PEREIRA, T. G.; FERNANDEZ, G. B. Interação morfodinâmica entre praia e duna frontal no delta do rio Paraíba do Sul (RJ) a partir de uma década de monitoramento. **Revista Brasileira Geomorfologia (Online)**, 19(2): 283-301. 2018.
- Silva, C. G. **Estudo da evolução geológica e geomorfológica da região da Lagoa Feia, RJ**. Rio de Janeiro, 116 p. Dissertação (Mestrado em Geologia). Instituto Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 1987.
- TIMMERMANN, A., AN, S., KUG, J. El Niño - Southern Oscillation complexity. **Nature**, 559: 535–545. 2018.
- VAN MAREN, D. S. Barrier formation on an actively prograding delta system: the Red River Delta, Vietnam. **Marine Geology**, 224: 123–143. 2005.
- VASCONCELOS, S. C. DE; ROCHA, T. B. DA; PEREIRA, T.; ALVES, A. R.; FERNANDEZ, G. B. Gênese e morfodinâmica das barreiras arenosas no flanco norte do delta do Rio Paraíba do Sul (RJ). **Revista brasileira de Geomorfologia**, 17(3): 481-498. 2016.
- VESPREMEANU-STROE, A.; PREOTEASA, L. Morphology and the Cyclic Evolution of Danube Delta *Spits*. In: Randazzo, G.; Jackson, D. & Cooper, J. **Sand and Gravel Spits. Coastal Research Library**, 2015.