

Análise da Dinâmica Morfológica da Foz do Rio São Francisco no Período de 1979 a 2008

Brenner Maia-Rodrigues – graduando de Geografia IGC/UFMG; bhmrodrigues@yahoo.com.br
Miguel Fernandes Felipe – mestrando em Geografia e Análise Ambiental IGC/UFMG; felippe@ufmg.br
Antônio Pereira Magalhães Jr. – Departamento de Geografia IGC/UFMG; magalhãesufmg@yahoo.com.br

Abstract: The objective of this work is to analyze the morphologic dynamics of the São Francisco river's outfall through the last three decades, specializing the modification of the river's margins and the appearance of fluvial-marine bars. Satellite images and geoprocessing tools were used as methodological proceedings, also hydrological data of the river were analyzed. The preliminary results show that there's a continue growing of the emerged areas in the basin outfall without clear relation with the river flow. Although, new questions are formulated that may influence future works.

Keywords: fluvial-marine bars; outfall; São Francisco river.

Resumo: O objetivo do presente trabalho é analisar a dinâmica morfológica da foz do rio São Francisco nas três últimas décadas, espacializando as modificações das margens do rio e o aparecimento de barras fluvio-marinhas. Imagens de satélites e ferramentas de geoprocessamento foram usadas como procedimentos metodológicos, associados aos dados hidrológicos do rio. Os resultados preliminares mostram que há um crescimento das áreas emersas e que não demonstra uma clara relação com a vazão do rio. Entretanto, novas questões são formuladas, podendo influenciar trabalhos futuros.

Palavras-chave: barras fluvio-marinhas; foz; rio São Francisco.

1. Introdução

A bacia do rio São Francisco é um espaço em que se estabelecem complexas relações geográficas, marcadas por desigualdade social e diversidade ambiental. As alterações na bacia do São Francisco são históricas, remontando aos usos para agricultura e pecuária há alguns séculos. Todavia, a partir da década de 1950, as intervenções na calha fluvial, sobretudo para aproveitamento hidrelétrico, engatilharam uma série de impactos que tem chamado atenção da comunidade científica e da sociedade civil.

A alteração na energia das águas do São Francisco, ocasionada pelos sucessivos represamentos, modificam a dinâmica sedimentar do canal, como já atestaram alguns autores (Cunha, 2006; Fontes, 2003; Lima *et al.* 2001). Adicionam-se a tal processo, eventos os mais diversos que possuem como resultantes modificações na dinâmica fluvial, como a retirada de água para irrigação, desmatamento, conseqüentemente a intensificação dos processos erosivos, impermeabilização do solo, entre outros.

As atividades humanas, em maior ou menor grau, promovem alterações significativas na energia do rio que resultam em nova dinâmica hidrossedimentológica. Nesse sentido, têm sido verificadas, pelo meio acadêmico, pela imprensa e pela população local, modificações significativas na morfologia da foz do rio São Francisco.

Geomorfologicamente, a área da foz do Rio São Francisco é marcada pela planície costeira – com altitudes inferiores a 100 metros – e os tabuleiros do Grupo Barreiras – com altitude entre 200 e 100 metros. Além das feições modeladas no Grupo Barreiras existem também na planície flúvio-marinha e aluvial do rio, sedimentos quaternários (dunas e aluviões) e algumas manchas de sedimentos cretáceos (Medeiros, 2003). O trecho da foz possui uma grande quantidade de barras de canal constituídas de areias finas e médias.

Em uma época de emergência das questões ambientais, é necessário investigar as possíveis interferências antrópicas na dinâmica geomorfológica do São Francisco. Neste sentido, o objetivo deste trabalho é verificar a dinâmica morfológica da foz do rio São Francisco nas últimas três décadas, tendo em vista as modificações nas margens do canal e o surgimento e desaparecimento de barras flúvio-marinhas. Duas idéias serão contrapostas previamente – de forma não excludente: os represamentos a montante – sobretudo os mais próximos à foz; e a diminuição do nível da lâmina d’água.

A área estudada compreende a região do baixo São Francisco, mais especificamente a região estuária, incluindo a porção oceânica diretamente influenciada pelo canal fluvial (FIGURA 1). Trata-se de uma área extremamente dinâmica do ponto de vista geomorfológico, cuja evolução é condicionada por inúmeras variáveis.

2. Procedimentos Metodológicos

Com o intuito de determinar períodos de maior e menor profundidade do canal do rio São Francisco, foram obtidos dados de duas estações fluviométricas¹ a partir do sistema de informações hidrológicas – *Hidroweb* – da Agência Nacional de Águas – ANA. Assim, foi realizada a análise da evolução da variável “cota” do rio São Francisco no período 1979-2007.

Posteriormente, obtiveram-se quinze imagens dos satélites CBERS 2, CBERS 2B, Landsat 2, Landsat 3 e Landsat 5, de acordo com a disponibilidade no catálogo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. As datas das imagens correspondem aproximadamente às datas apontadas na avaliação das mais elevadas e reduzidas cotas. Todavia, ajustes foram necessários devido à impossibilidade de trabalho com algumas imagens, mormente pela grande concentração de nuvens.

No programa ArcGIS 9.1 as imagens obtidas foram trabalhadas afim de viabilizar a vetorização das barras flúvio-marinhas. Buscou-se a melhoria no contraste pela alteração de

¹ Pelo critério de proximidade com a foz, foram selecionadas as estações de Brejo Grande-SE, código 49775000 e Penedo-AL, código 01036005.

seus histogramas de forma que a vetorização manual fosse menos subjetiva possível, sobretudo em termos da distinção de terras emersas úmidas e imersas. Não se acredita que a vetorização automática possa apresentar melhores resultados, devido às limitações impostas pela resolução espectral das imagens.

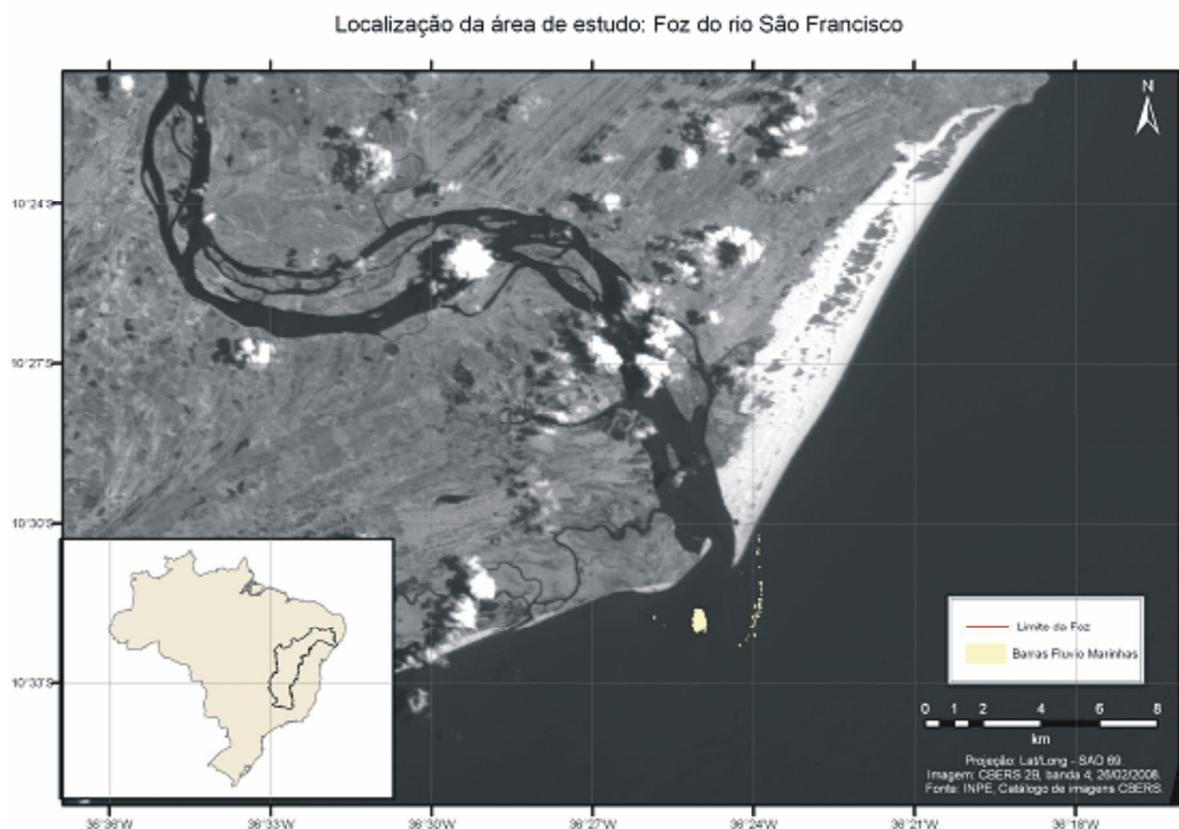


FIGURA 1: Localização da área de estudo: Foz do rio São Francisco
Fonte: INPE, Catálogo de imagens CBERS.

Após a vetorização, foi calculada a área total das barras flúvio-marinhas em cada imagem. Isso possibilita avaliar o crescimento – ou decréscimo – das barras, contribuindo para a interpretação dos processos que modelam a foz do rio São Francisco. A espacialização desses sedimentos é, também, de suma importância, posto que as alterações na energia das águas podem mudar os locais preferenciais de sedimentação e erosão.

As três variáveis estudadas – tempo, área das barras e cotas do Rio – foram organizadas em uma tabela. A verificação da correlação entre as variáveis foi um instrumento importante na construção e refutação de hipóteses para as mudanças morfológicas que estão em curso. Por fim, foi realizada uma avaliação da dinâmica morfológica da foz do rio São Francisco, entre 1979 e 2007, em função das cotas e de intervenções humanas, sobretudo as de grande magnitude, na dinâmica fluvial.

3. Alterações na dinâmica fluvial do rio São Francisco

Ao longo do rio São Francisco existem diversas intervenções estruturais, dentre as quais se destacam as barragens das usinas hidrelétricas. A diminuição da vazão e a redução da descarga de sedimentos invariavelmente resultam na redução da produtividade primária, na perda de recursos pesqueiros, na desestabilização da costa e na intrusão de águas marinhas na região do estuário (Lorenzzetti et al, 2007). Além disso, ocorre uma perda significativa da água dos reservatórios por evaporação e por infiltração.

A deposição dos sedimentos nas represas gera impactos em toda a dinâmica dos processos erosivos a jusante, visto que os sedimentos são os responsáveis pelo atrito que promove a retirada de material (Christofolleti, 1981). A regularização do baixo curso do rio eliminou as fortes correntezas das enchentes, reduzindo assim a potencialidade cíclica do rio de transportar sedimentos até a foz (Oliveira, 2003). O trecho a jusante de Xingó, por exemplo, possui uma declividade acentuada, com presença de corredeiras e turbulências, o que associado à pequena quantidade de sedimentos em suspensão, propicia a erosão do leito do rio com cascalho. Oliveira (2003) afirmam que os perfis batimétricos transversais ao rio, na região de Piranhas (AL), que possuíam a forma de V com sedimentos em seu leito, atualmente indicam o aprofundamento do talvegue do rio em função da intensificação de processos erosivos e a remoção dos sedimentos anteriormente encontrados. Sendo assim, o canal atualmente apresenta um perfil em forma de U.

Durante o período de 1980 a 2000 a vazão do Rio São Francisco foi reduzida em cerca de 30%. Nesse período as concentrações, cargas e as descargas específicas de matéria em suspensão foram reduzidas de 70 a 5 mg/l, de 7 a 0,3 x 10⁶ t/ano e de 4,2 a 0,2 t/km²/ano, respectivamente, em função da retenção de materiais pelas barragens (LORENZZETTI et al, 2007).

A variação das cotas do rio São Francisco registradas na estação fluviométrica de Penedo mostra a existência de dois comportamentos bem distintos (GRAFICO 1). Do final da década de 1970 até o início da década de 1990 verifica-se a alternância entre períodos de baixas com cotas, com outros de altas. A partir de 1994 observa-se a estabilização da lâmina d'água, visto que os valores não apresentam grandes mudanças como outrora. Esse período coincide com o início da ativação da represa de Itaparica, o que permite o estabelecimento de relações entre sua construção e a dinâmica de transporte de sedimentos. Os valores

verificados nesse gráfico possuem uma nítida correlação com as cotas registradas a montante em Brejo Grande (AL), cujos valores também foram utilizados no presente trabalho.

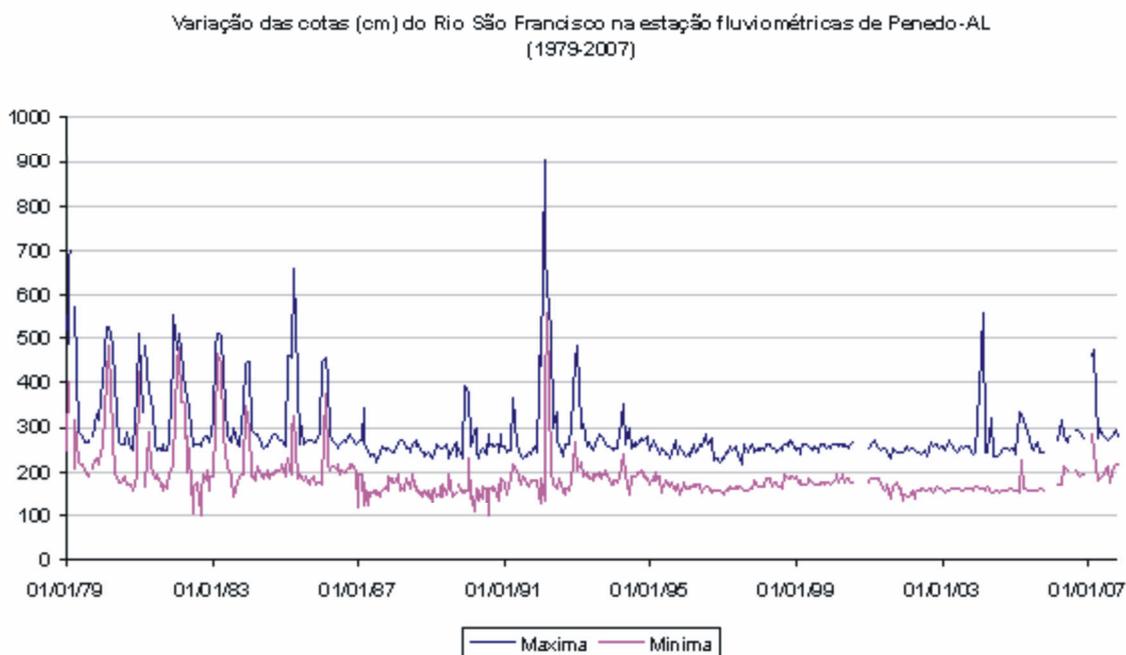


GRÁFICO 1: Variação das cotas (cm) do Rio São Francisco na estação fluviométrica de Penedo-AL (1979-2007) Fonte: ANA – *Hidroweb*. Estação fluviométrica de Penedo-AL

4. Modificações morfológicas da foz do rio São Francisco no período 1979-2008

A dinâmica hidrossedimentológica fluvial, associada à deriva litorânea, modificou em larga escala a morfologia da foz do rio São Francisco. As conseqüências se evidenciam, sobretudo na década de 2000, com o aumento da área emersa formada por barras fluvio-marinhas. Todavia, esse processo não é exclusivamente atual. Como mostra as figuras 2 e 3, desde 1979 já se pode verificar a existência de sedimentos emersos. A intensidade das mudanças, por outro lado, se intensifica na última década.

No estuário, os fluxos do rio tendem a possuir baixa energia e depositar os sedimentos carreados. Em concomitância, os fluxos marinhos também contribuem para a alocação da carga, já que promovem alterações na energia da foz. Tal dinâmica promove, normalmente, o espriamento dos sedimentos na plataforma continental em todas as direções.

Na foz do rio São Francisco é muito claro o limite dessa dispersão, como mostraram Lorenzetti et al (2007). Há um arco de deposição nítido que abarca todas as direções a partir da foz. A formação das barras fluvio-marinhas ocorre, justamente, sobre esse arco que marca a maior distância de deposição. Mesmo em épocas em que a quantidade de

barras emersas não é grande – como em 1979, 1980 e 2005 – a turbidez das águas indica a existência de sedimentos imersos. Percebe-se, também, que o raio do arco varia no tempo em função de possíveis variações na energia das águas fluviais e marinhas.

Pode ser verificado ainda que, na foz, a margem direita apresenta maiores evidências de erosão, com fluxos de maior energia. A concavidade formada por essa remoção é aparente, sobretudo no período entre 1979 e 1992. Todavia, a partir de 1997 há um turbilhonamento desse fluxo que continua o processo erosivo e, simultaneamente, deposita sedimentos em uma “língua” formada na extremidade margem direita. Surge nessa margem uma reentrância do rio para o sul e a acreção, que ainda permanece, promove o estreitamento entre as margens na foz – a menor distância é verificada na imagem de 2008 (Figura 1).

A acreção ocorre também no contato da margem esquerda com a linha de costa. Sobretudo a partir de 1997, percebe-se que há formação de uma ponta nesta margem que aumenta constantemente; o ângulo formado entre a margem esquerda e a linha de costa se torna cada vez mais agudo. A deposição nesse local evidencia a direção do fluxo de energia principal do rio, na direção sudoeste.

Esse fluxo coincide com a formação da maior barra fluvio-marinha cartografada, à jusante da margem direita. Essa barra não é aparente em todas as datas estudadas, encontrando-se emersa em 1979, 1980, 1990, 2007 e 2008. A posição que ela ocupa em relação à foz, também não é constante; todavia os deslocamentos verificados são pequenos. Além disso, essa barra coincide com a ponta da margem direita formada no ano de 1984. Tal dinâmica não pode ser explicada pelas variáveis analisadas neste estudo; acredita-se que a dinâmica marinha contribua significativamente para tais processos.

Apesar da impossibilidade de se explicar, no momento, os processos envolvidos na dinâmica dessas barras, as modificações na morfologia da foz são evidentes. A forma da grande barra no ano de 2007 – concavidade voltada para o mar – indica que há um deslocamento em direção ao oceano. Isso pode indicar que, ao menos nesse período, a energia do rio era suficiente para deslocar os sedimentos em maiores distâncias.

Em princípio, poder-se-ia afirmar que as causas das modificações na morfologia da foz do São Francisco estariam relacionadas às alterações – naturais ou induzidas – nas cotas do rio. Os resultados encontrados se distanciam dessa idéia (Tabela 1). Verifica-se que entre 1979 e 1990 a área das barras possui uma relação mais próxima com as cotas; ou seja, épocas de menores cotas correspondem às maiores áreas emersas.

Morfologia da foz do rio São Francisco no período de 1979 a 1992

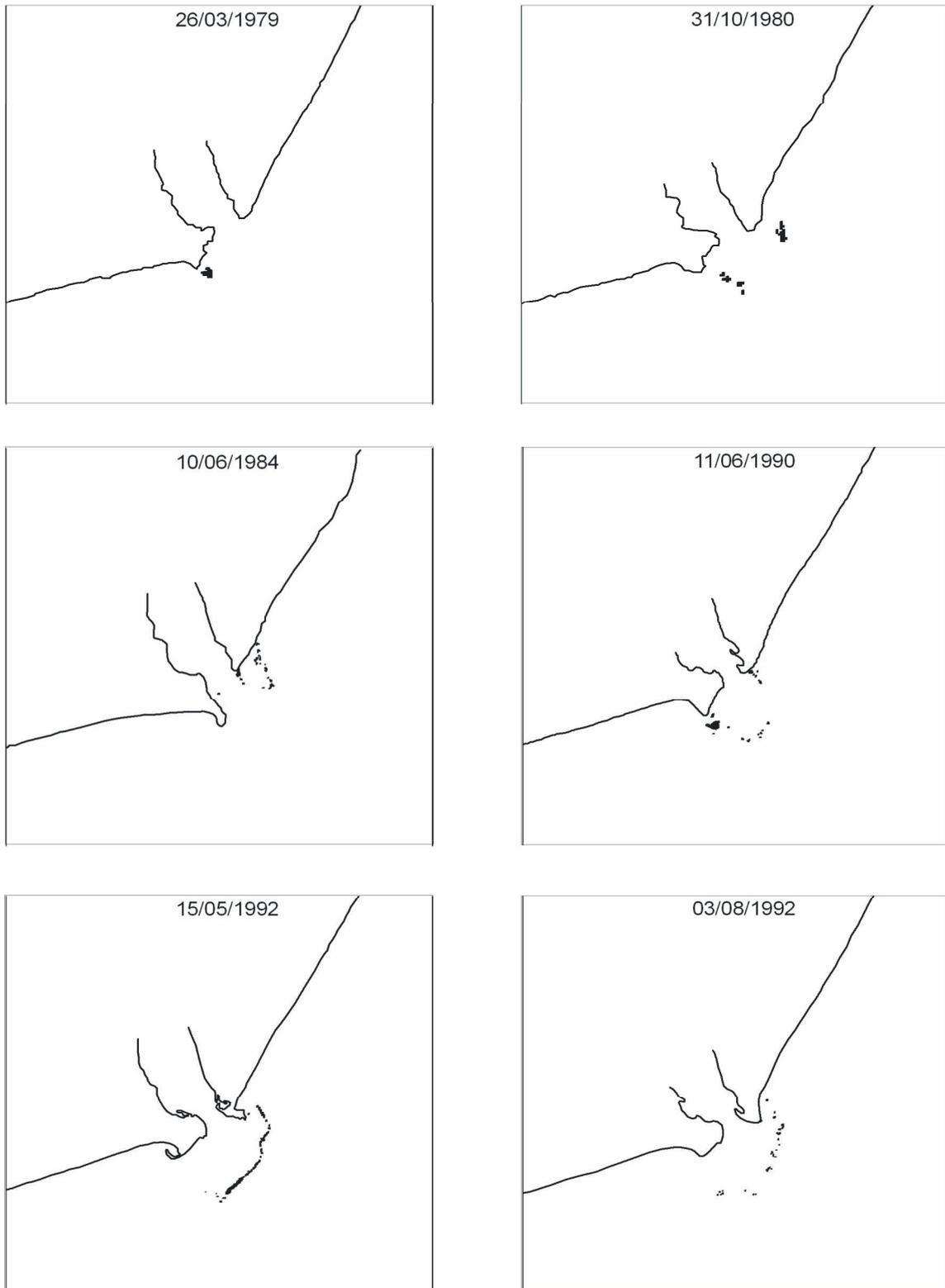


FIGURA 2: Morfologia da foz do rio São Francisco no período de 1976-1992.

Fonte: Imagens de satélite.

Morfologia da foz do rio São Francisco no período de 1997 a 2007

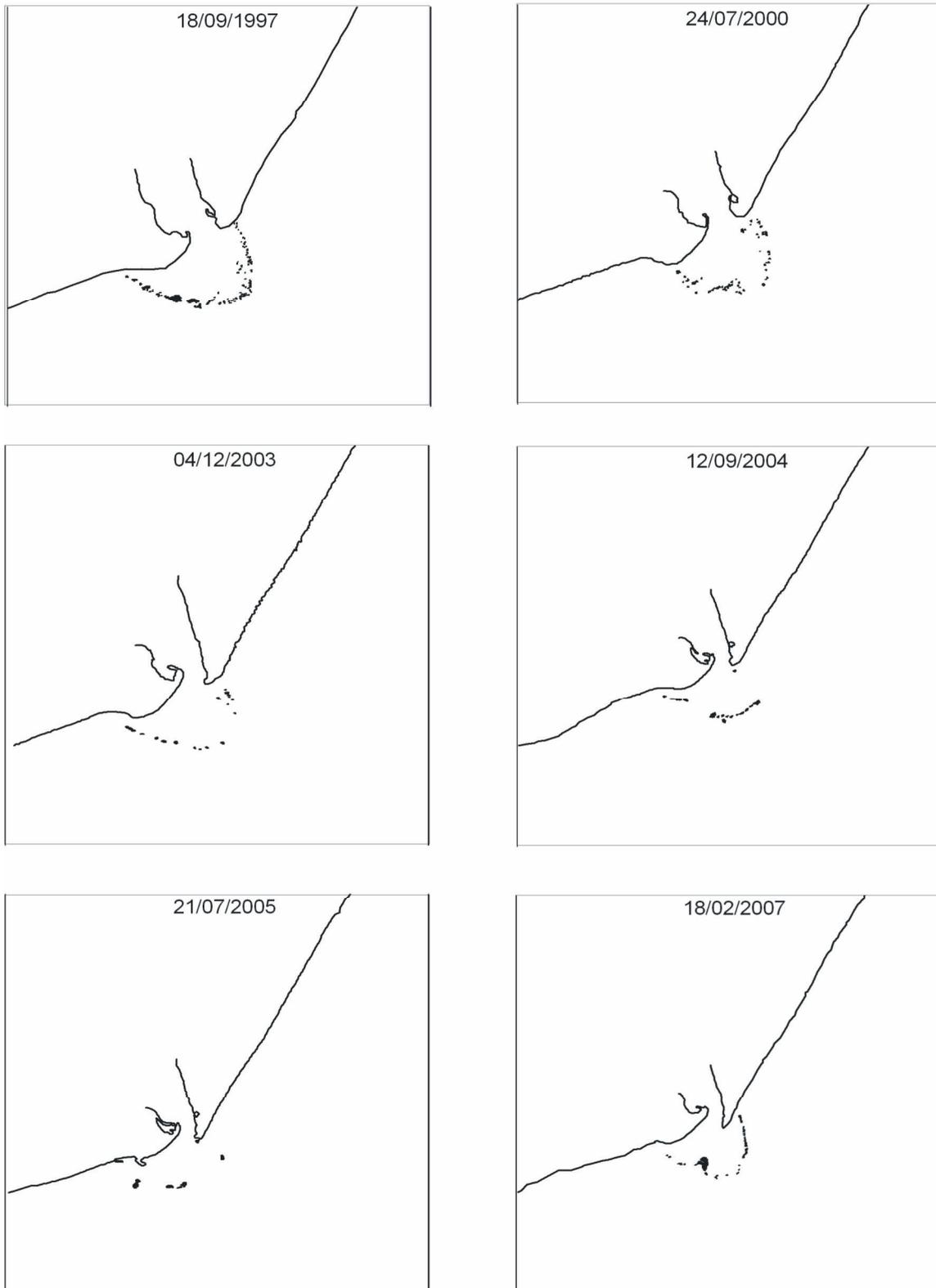


FIGURA 3: Morfologia da foz do rio São Francisco no período de 1997-2007.
Fonte: Imagens de satélite.

Imagens		Cotas (cm)			Área (km ²)
Satélite	Data	Penedo	Brejo	Média	
L3 - MSS	26/3/1979	542	550	546	0,093320
L2 - MSS	31/10/1980	183	291	237	0,233580
L5 - TM	10/6/1984	228	335	281,5	0,108661
L5 - TM	11/6/1990	209	375	292	0,167473
L5 - TM	15/5/1992	263	376	319,5	0,245644
L5 - TM	3/8/1992	230	375	302,5	0,073210
L5 - TM	18/9/1997	246	402	324	0,407517
L5 - TM	24/7/2000	181	303	242	0,456026
CB2 - CCD	4/12/2003	205,5	297	251,25	0,122063
CB2 - CCD	12/9/2004	246,5	347	296,75	0,283992
CB2 - CCD	21/7/2005	237	381	309	0,231786
L5 - TM	18/2/2007	458	459	458,5	0,380012
CB2B - CCD	26/2/2008	-	-	-	0,502935

Após 1992, entretanto, essa relação não se mantém. Este ano é, inclusive, marcado por uma inversão na lógica: entre maio e agosto a cota apresentou uma redução de 5,4% enquanto a área total das barras reduziu 70,2%. As datas seguintes mostram, novamente, que essa relação é incipiente. As áreas tendem a serem maiores, mesmo em cotas mais elevadas. O caso de 2007 é flagrante: mesmo no verão – fevereiro – e com uma cota elevada – 458,5 cm, segunda maior registrada – a área das barras flúvio-marinhas emersas é 0,38 km².

A constatação corrobora a idéia que não há uma dinâmica de emersão de barras, mas sim de aumento da deposição nesses locais. Todavia, devido à dificuldade de comparação entre períodos curtos – determinada pela resolução temporal dos satélites, bem como pela disponibilidade de imagens gratuitas – não se pode afirmar que essa dinâmica de aumento da deposição é responsável pelas modificações em todo o período estudado. No ano 2000 a elevada área de barras flúvio-marinhas emersas é condicionada, também, pela baixa cota da lâmina d'água, o que de forma alguma exclui a hipótese de aumento na carga de sedimentos.

5. Considerações Finais

Os resultados obtidos nesse trabalho confirmaram a viabilidade da metodologia aplicada – cruzamento de informações de imagens de satélites e dados hidrográficos – para a avaliação das modificações morfológicas na foz do rio São Francisco. Fica claro que não há uma relação clara entre a área das barras emersas e a cota da lâmina d'água.

Essa constatação indica que o aumento constante da área das barras flúvio-marinhas emersas, bem como do número destas, não é resultado de uma diminuição das cotas ou da vazão do São Francisco. O processo parece ser resultado de um aumento na carga sedimentar do rio, em relação a sua energia, que promove a alocação de uma maior quantidade de sedimentos no limite do arco de deposição na foz. Tais modificações são mais

evidentes a partir de 1997, o que leva a crer que podem ser fruto das alterações promovidas pela construção da Usina Hidrelétrica de Xingó, que entra em atividade em 1994.

Foi verificado, também, a partir da interpretação das mudanças morfológicas na foz, que houve uma grande alteração na dinâmica de energia do rio nesse mesmo período, muito provavelmente relacionada à Usina de Xingó. Como resultantes dessas modificações, pode-se verificar o estreitamento da foz – promovido pelo aumento da deposição no contato das margens com a costa; o aumento da área emersa das barras – diretamente relacionado ao aumento da carga fluvial; turbilhonamento do fluxo – evidenciado na formação de uma língua na margem direita, mas que certamente também se relaciona à energia marinha.

Por fim, longe de responder às complexas indagações referentes às mudanças na morfologia da foz do São Francisco, este trabalho contribui com novas questões que buscam romper com discursos sem o devido embasamento que têm sido veiculados pela mídia. Adicionalmente, sugerem-se linhas de pesquisas futuras que poderiam contribuir para a evolução do conhecimento sobre os processos na foz do São Francisco, como estudos sobre a dinâmica erosiva a jusante de reservatórios; e análises sobre a influência das correntes marinhas na deposição de sedimentos fluviais em estuários.

6. Referências

- Christofolleti, A. (1981) Geomorfologia fluvial. Edgar Blucher Ltda., São Paulo.
- Cunha, S. B. (2006) Impactos geomorfológicos da barragem de Xingó – baixo curso do rio São Francisco. In: Santos, M. et al. Território, territórios: ensaios sobre o ordenamento territorial. DP&A; PPGEU/UFF, Rio de Janeiro, 2ª ed.: 355-376.
- Fontes, L. C. da S. (coord.). (2003) Estudo do processo erosivo as margens do baixo São Francisco e seus efeitos na dinâmica de sedimentação do rio. Universidade Federal de Sergipe, SE.
- Lima, J. E. F. W., Santos, P. M. C., Chaves, A. G. M., Scilewski, L. R. (2001) Diagnóstico do fluxo de sedimentos em suspensão na bacia do rio São Francisco. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.
- Lorenzetti, J. A., Negri, E., Knopers, B., Medeiros, P.R.P. (2007) Uso de imagens LANDSAT como subsídio ao estudo da dispersão de sedimentos na região da foz do rio São Francisco. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, 3429-3436.
- Medeiros, P. R. P. (coord.). (2003) Determinação da carga de nutrientes do rio São Francisco na região de sua foz. Universidade Federal de Alagoas, Maceió.
- Oliveira, A. M. de (coord.). (2003) Estudo Hidrodinâmico-sedimentológico do baixo São Francisco, estuário e zona costeira adjacente-AL/SE. Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL.