

Previsão e consequências da abertura de uma nova barra no Mar do Ararapira, Paraná-São Paulo, Brasil

Forecast and consequences of a new inlet opening at Mar do Ararapira, Southern Brazil

Rodolfo José Angulo^{ac}, Maria Cristina de Souza^{ad}, Marcelo Eduardo Muller^{be}

^aLecost, Departamento de Geologia, UFPR, ^bPós-graduação em Geologia, Lecost, Departamento de Geologia, UFPR
^cangulo@ufpr.br, ^dcristinasouza@ufpr.br, ^emedmuller@gmail.com

RESUMO

O Mar de Ararapira é um estuário separado do mar por um estreito esporão, denominado Restinga do Ararapira, e possui uma barra que migra para sudoeste. Em trabalhos anteriores foi sugerido que o processo de migração pode mudar subitamente com a abertura de uma nova barra. O objetivo deste trabalho é caracterizar a evolução do esporão, estimar as taxas de migração da Barra do Ararapira e a data de abertura da nova barra, prever as mudanças morfológicas no estuário e nas costas próximas à barra decorrentes desse evento, e avaliar as consequências sociais e políticas dessas mudanças. Para atingir tais objetivos foram interpretadas fotografias aéreas de diversas datas e levantados perfis topográficos na parte mais estreita do esporão. Concluiu-se que uma nova barra deverá se formar a aproximadamente 6 km a noroeste da atual, entre 2012 e 2016. Esse evento causará o assoreamento da barra atual, forte erosão na costa oceânica próxima à mesma e progradação equivalente à erosão nas costas oceânicas próximas à nova barra. Essas mudanças deverão afetar as vilas próximas da Barra do Ararapira, Pontal do Leste e Enseada da Baleia, os parques Nacional do Superagui e Estadual da Ilha do Cardoso e os estados do Paraná e São Paulo. A previsão dos prováveis efeitos das mudanças decorrentes da abertura da nova barra sobre as comunidades locais e os limites dos estados e das unidades de conservação possibilita tomar decisões e executar medidas preventivas para minimizar ou evitar os efeitos adversos dessas mudanças. O acompanhamento das mudanças após a abertura possibilitará verificar a pertinência das previsões e auxiliará na compreensão de eventos futuros.

Palavras-chave: Mudanças costeiras; Impactos ambientais; Evolução de esporão; Erosão costeira; Problemas de limites.

ABSTRACT

Mar do Ararapira is an estuary isolated from the sea by a narrow spit and with an inlet that migrate to the Southwest. There are revisions that the migration could change suddenly by a new inlet opening. This work aims to determine the spit morphological evolution, estimate the inlet migration rate and the new inlet opening date, anticipate the morphological estuarine and coastal changes after the new inlet opening and evaluate the social and political implications of those changes. To achieve these objectives different data aerial photographs were interpreted and topographic profiles at the narrower spit place were performed. One can conclude that a new inlet located 6 km farther northeast will open at 2012 to 2016. The opening will cause the present inlet silting, strong erosion at the coasts near to the present inlet and strong accretion at the coast near to the new one. These changes will affect the three villages around, environmental protected areas administration and states government. The anticipation of the new inlet opening consequences on the local communities and state and environmental protected areas borders will provide preventive actions to minimize the adverse effects of the coastal changes. Monitoring the coastal changes after the inlet opening will allow verifying if the anticipations are correct and help to improve the understanding of future similar events.

Key-words: Coastal changes; Environmental impacts; Spit evolution; Coastal erosion; Border problems.

1. Introdução

As barras (*inlets*) são ambientes complexos e dinâmicos associados a estuários e lagunas costeiras. As principais variáveis que controlam as mudanças são o prisma de maré, a geometria da barra, a energia das ondas e das marés, o aporte sedimentar, a configuração dos canais estuarinos ou lagunares, o arcabouço geológico e o declive da face litorânea e da plataforma interna (Fitzgerald *et al.* 2001). As atividades humanas, intencionais ou não, também podem alterar a dinâmica das barras.

Na costa leste dos Estados Unidos e da Austrália, mudanças na localização e configuração das barras são frequentes nos sistemas de ilhas-barreira, tanto por processos naturais associados a eventos de alta energia de ondas como por intervenções visando melhorar a navegação (Cleary & Fitzgerald 2003, McCauley & Tomlinson 2006). Na região do Algarve, em Portugal, mudanças significativas de configuração e localização foram causadas por intervenções para melhorar as atividades de pesca e aquicultura (Vila-Concejo *et al.* 2003). Também no Brasil, barras têm sido modificadas com fins de aquicultura, – por exemplo, a Barra do Camacho, em Laguna, Santa Catarina – e de navegação, por exemplo, a construção dos molhes na barra de Rio Grande, no Rio Grande do Sul (Moller Jr. *et al.* 1996); ou dragagens nos canais de acesso aos portos nas barras de São Francisco do Sul, em Santa Catarina, e de Paranaguá, no Paraná (Angulo *et al.* 2006). As mudanças nas barras alteram os padrões de circulação de ondas e correntes, o que modifica a morfologia e as características oceanográficas e ambientais das lagunas, estuários e costas próximas (Fitzgerald *et al.* 2001).

Mihály & Angulo (2002) previram que uma nova barra do Mar do Ararapira poderia se formar no início da próxima década e que isso causaria importantes mudanças nas características e dinâmica do estuário e na morfologia das costas próximas.

2. Objetivos

Os objetivos deste trabalho são: a) caracterizar a evolução geológica e geomorfológica do esporão do Ararapira, que separa o Mar do Ararapira do oceano; b) estimar as taxas de migração da barra e a data de abertura da nova barra; c) prever as mudanças morfológicas no estuário e nas costas próximas à barra decorrentes desse evento; d) avaliar as consequências sociais e políticas dessas mudanças.

3. Área de estudo

O Mar do Ararapira é um estuário de orientação nordeste, localizado no limite entre os estados do Paraná e São Paulo, entre as latitudes 25° 12' e 25° 19' Sul; tem comprimento em torno de 16 km e

largura média aproximada de 400 m. Comunica-se com a Baía de Trapandé por meio do canal do Ararapira e com a Baía dos Pinheiros através do Canal da Draga ou Canal do Varadouro, escavado na década de 1950 (figura 1). Um estreito esporão, denominado Restinga do Ararapira, separa o estuário do mar. A largura do esporão não supera os 800 m e apresenta três estreitamentos com largura inferior a 200 m (figura 1). A Barra do Ararapira tem largura em torno de 1 km; um delta de maré vazante dominado por ondas, com volume de areia estimado em $2 \times 10^5 \text{ m}^3$, e feições de maré enchente (Angulo 1999, Angulo *et al.* 2006; figura 2).

Na área, as marés são do tipo semidiurno com amplitude de 1,6 m (Mihály & Angulo 2002). As marés meteorológicas são frequentes e podem alcançar 80 cm (Marone & Camargo 1995). As direções de ondas predominantes são ENE e SSE/SE; o período varia entre 6 e 10 segundos e a altura significativa, entre 0,5 e 1,5 m (Portobrás 1983). As ondas provenientes de ENE, geradas pela massa de ar tropical de alta pressão do Atlântico Sul, são regulares. Já, as ondas de sudeste, geradas por atividade ciclônica, são mais esbeltas e causam importantes mudanças nos perfis praiais (Quadros 2002).

Vários autores identificaram o deslocamento da barra para sudoeste nos últimos 50 anos (Tessler 1988, Tessler & Mahiques 1993, Angulo 1992 e 1993, Mihály 1997, Mihály & Angulo 2002). Por outro lado, evidências sedimentológicas e morfológicas (Bigarella *et al.* 1966, Angulo 1992, 1993), e experimentos com garrafas de deriva (Marone *et al.* 1995) indicam deriva litorânea longitudinal predominante para nordeste. Ademais, a morfologia do delta de maré vazante do Ararapira, com uma barra de espraiamento bem desenvolvida, soldada à praia, na margem sudoeste da desembocadura, e o canal principal de maré vazante posicionado junto à margem nordeste (figura 2), também sugerem deriva litorânea longitudinal predominante para nordeste, conforme modelos de morfologia de deltas de maré vazante propostos por Oertel (1975), onde o canal principal de vazante está orientado na direção da deriva predominante (figura 3). Desse modo, a barra migraria em direção contrária à direção predominante da deriva litorânea longitudinal, conforme sugerido por Tessler & Mahiques (1993). Migrações de desembocaduras em direção contrária à deriva litorânea predominante também foram relatadas por Fitzgerald (1988) na costa leste dos Estados Unidos.

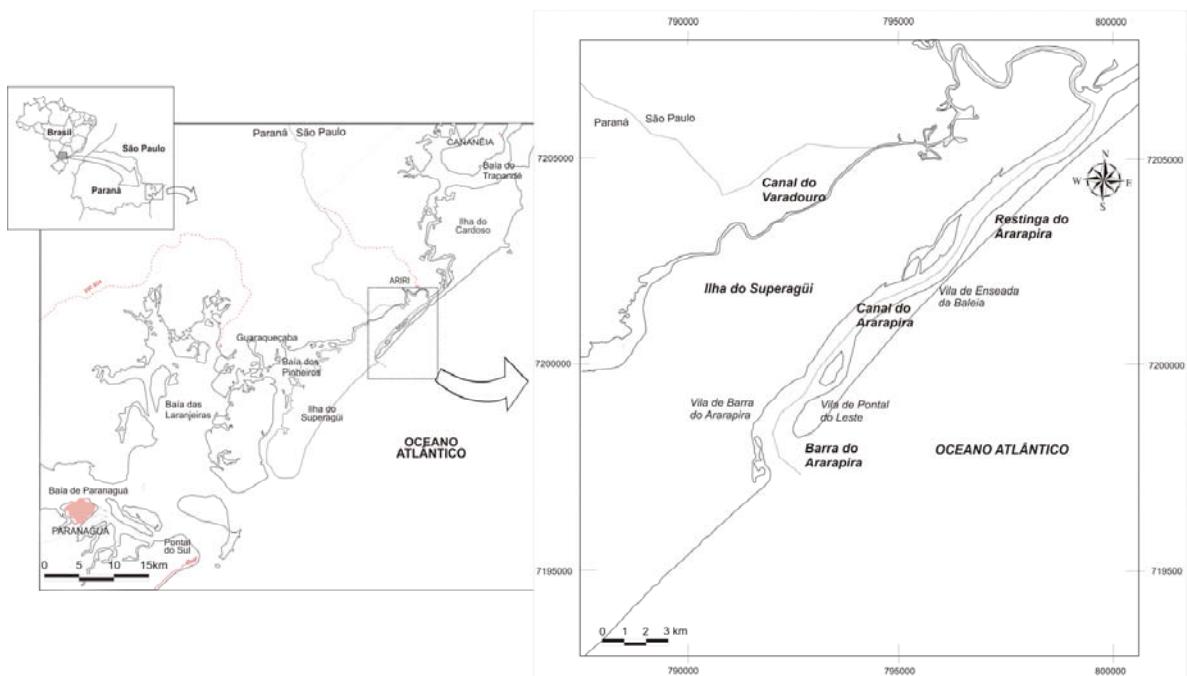


Figura 1: Localização da área de estudo

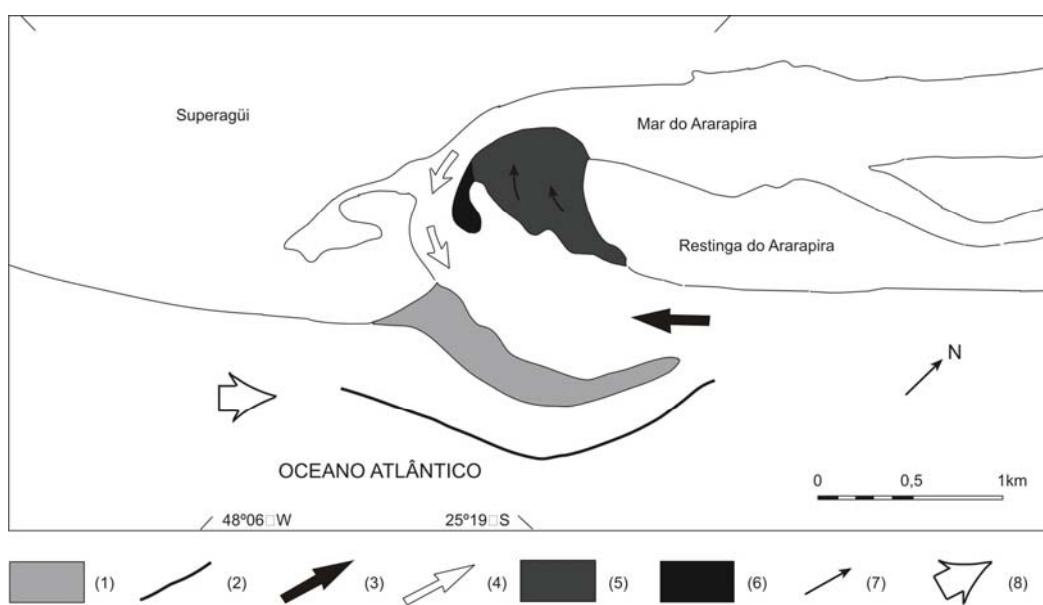


Figura 2: Delta de maré da Barra do Arapirica (Angulo 1999). Delta de maré vazante: (1) banco de espraimento, (2) lobo terminal, (3) canal marginal de enchente, (4) canal principal de vazante. Delta de maré enchente: (5) rampa de enchente, (6) esporão de vazante, (7) direção de avanço de megaondulações, (8) direção inferida de deriva litorânea predominante

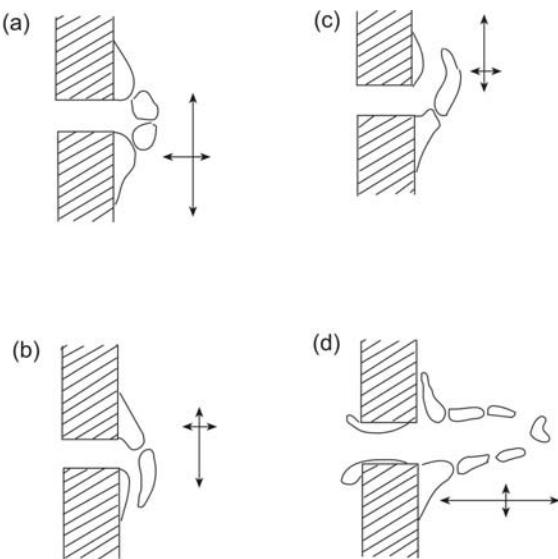


Figura 3: Diferentes configurações de deltas de maré vazante resultantes da dominância de diferentes processos: a) dominado por ondas; b) dominado por corrente de deriva longitudinal fluindo para sul; c) dominado por corrente de deriva longitudinal fluindo para norte; d) dominado por correntes de maré (segundo Oertel 1975). Notar a semelhança da morfologia do delta da Barra do Ararapira, apresentada na figura 2, com o esquema do modelo c.

4. Materiais e métodos

A morfologia da área foi definida a partir de fotointerpretação estereoscópica convencional, utilizando fotografias aéreas de 28 de janeiro de 1953, na escala de 1:25.000; 6 de maio de 1965, na escala 1:70.000; e 26 de julho e 16 de novembro de 1980, na escala 1:25.000.

A geologia foi definida por fotointerpretação, utilizando as mesmas fotografias áreas e levantamentos de campo. Para definir as principais unidades utilizou-se como base o mapa geológico do litoral norte paranaense de [Angulo \(2004\)](#).

Os perfis topográficos na parte mais estreita do esporão do Ararapira foram levantados com nível de precisão, trena e mira, em abril de 2001, setembro de 2004, novembro de 2006, maio de 2007, agosto de 2008 e abril de 2009.

A idade ^{14}C convencional de uma amostra de conchas de gastrópode apresentada por [Angulo et al. \(2002\)](#) foi calibrada utilizando o programa Calib 5.0.2 ([Stuiver & Reimer 1993](#)) considerando um $\delta\text{ R}$ de 8 ± 17 anos sugerido por [Angulo et al. \(2005\)](#) para as águas costeiras do sul do Brasil.

5. Resultados e discussão

5.1 Evolução do esporão e taxa de deslocamento da barra

A margem noroeste do estuário é constituída pela planície costeira arenosa, com cordões litorâneos, holocênica, do Superagui, e a margem sudeste por um esporão arenoso holocênico, correspondente à Restinga do Ararapira, que constitui o extremo sul da Ilha do Cardoso (figura 4).

O esporão do Ararapira apresenta numerosos cordões de dunas vegetadas que foram interpretados como cordões de paleodunas frontais que acompanham antigas

linhas de costa. A forma encurvada e o truncamento dos cordões permitem inferir o deslocamento da desembocadura para sudoeste, ao longo de, pelo menos, 11 km, equivalentes a 70% do comprimento do esporão (figura 4).

Cordões de paleodunas frontais mais desenvolvidos sugerem períodos de estabilização da linha de costa, e cordões menos desenvolvidos e até áreas sem cordões sugerem períodos de progradação mais rápida do esporão. Na barra atual observa-se que os ambientes que estão lado a lado são: a) o canal principal de vazante; b) a rampa de enchente com megaondulações migrando para o interior do estuário pela ação das correntes de maré enchente; c) a face praial; d) as dunas e paleodunas frontais (figura 5). Desse modo, pode-se inferir que sob o esporão deve ocorrer uma associação de fácies correspondente ao empilhamento desses ambientes, devido à migração da barra e crescimento do esporão.

[Angulo et al. \(2002\)](#) apresentaram uma datação ^{14}C de conchas de gastrópode que forneceu idade de 560 ± 85 anos antes do presente (aAP). A amostra foi obtida na escarpa arenosa da margem estuarina do esporão, no limite entre as fácies de praia e duna, sugerindo que as conchas foram depositadas na parte superior da face praial ou na pós-praia, pelo espraiamento das ondas, e posteriormente recobertas pelas areias de dunas frontais. Os cordões recurvados a nordeste e sudoeste do local onde foi coletada a amostra sugerem que, à época de deposição das conchas, a desembocadura estuarina encontrava-se próxima (figura 4). A idade calibrada dessa amostra é de 275 a 76 aAP considerando intervalo de confiança de 1σ ou apenas uma idade inferior a 336 aAP para um intervalo de 2σ . Considerando a distância entre o local onde foi coletada a amostra e a posição da face praial na margem nordeste da desembocadura, nas fotografias aéreas dos anos de 1953, 1963 e 1980, pode-se estimar que a desembocadura tenha migrado a taxas superiores a 12 m por ano (considerando a idade máxima da amostra) ou a taxas entre 25 e 30 m por ano, considerando a idade média da amostra (175 aAP). Assim, pode-se estimar o início da formação do esporão entre 700 e 1100 aAP.

5.2 Previsão de abertura da nova barra

O Mar do Ararapira possui um comprimento 40 vezes superior à largura e forma levemente ondulada, com margens côncavas erosivas e convexas deposicionais semelhantes às de meandros fluviais (figura 4). Os três estreitamentos do esporão do Ararapira são originados pelo efeito erosivo das correntes de maré dentro do estuário (figura 4). A partir de fotografias aéreas, determinou-se que no local mais estreito do esporão, denominado Enseada da Baleia, a largura era entre 90 e 100 m, em 1980. Segundo [Mihály & Angulo \(2002\)](#), a largura era de 44 m em 1993 e 36 m em 1996. Esses autores consideraram a largura entre as linhas de costa, que no lado estuarino coincidia com a falésia e no lado oceânico com a linha de vegetação. Nos levantamentos de 2001 a 2009, a largura do esporão foi considerada entre o topo da falésia na margem estuarina (figura 6) e o sopé da duna frontal desenvolvida na margem oceânica

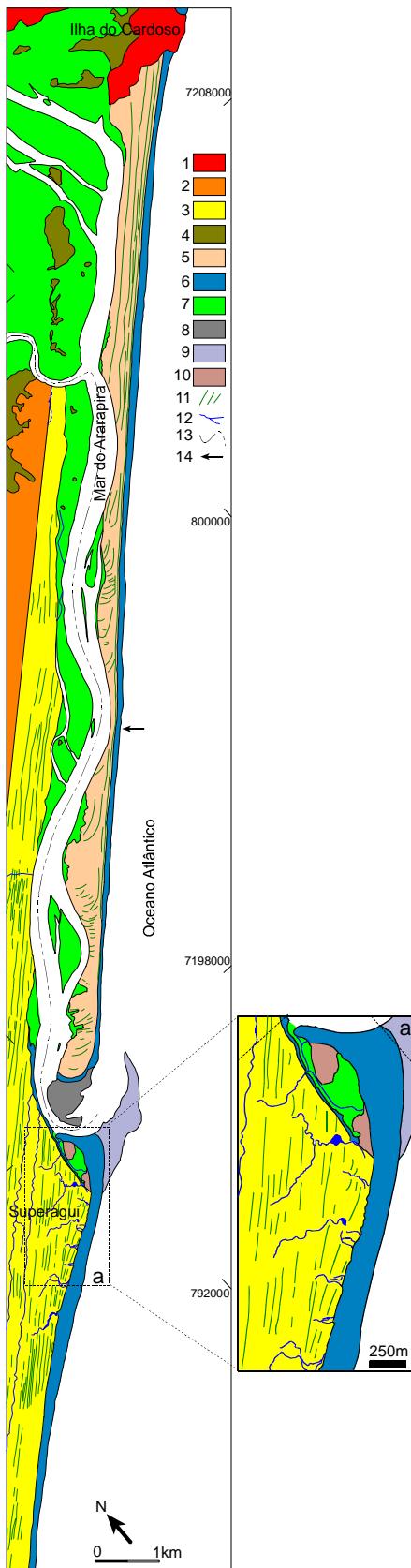


Figura 4: Geologia e geomorfologia da área da barra e esporão do Ararapira. Notar os esporões recuados que evidenciam migração da desembocadura para sudeste. (1) morro/embasamento; (2) planície costeira com cordões litorâneos, pleistocênica; (3) holocênica; (4) planície paleoestuarina; (5) dunas, interdunas e paleodunas frontais; (6) face praial e pós-praia; (7) planície de maré (manguezais, bancos não-vegetados e canais intermareais); (8) delta de maré enchente;

(9) vazante; (10) leques de sobrelavagem; (11) lineamentos de cordões litorâneos e dunas e paleodunas frontais; (12) rios e córregos; (13) limite aproximado entre os estados do Paraná e São Paulo; (14) local de monitoramento dos perfis e de coleta da amostra datada.



Figura 5: Ambientes de sedimentação na barra e no extremo do esporão do Ararapira: a) canal principal de vazante; b) rampa de enchente com megaondulações; c) face praial; d) dunas e paleodunas frontais e áreas interdunares; e) manguezal. As setas indicam a direção de avanço das feições de leito.



Figura 6: Vista para nordeste do Mar do Ararapira e falésia da margem estuarina no local mais estreito do esporão.



Figura 7: Vista para nordeste do local mais estreito do esporão do Ararapira, em 2008. (a) Sopé da duna frontal.

(figura 7), pois é a feição que melhor representa o limite de ação efetiva de ondas de tempestade. A linha de costa é mais variável devido ao avanço e recuo da vegetação pioneira, e formação e destruição de dunas frontais incipientes, que podem crescer ou se formar em poucos meses. Os levantamentos indicaram 36 m em 2001, 27 em 2004, 21 em 2006, 20 em 2007, 18 em 2008 e 20 m em 2009 (figura 8).

Baseado nas taxas de erosão do período 1993-96, Mihály & Angulo (2002) estimaram que a abertura da barra ocorresse em aproximadamente 15 anos, ou seja, em 2011.

As taxas de erosão calculadas com base na largura do esporão na fotografia aérea de 1980 e os levantamentos de campo indicam que a abertura da nova barra deve ocorrer entre 2012 e 2016, para intervalo de confiança de 2σ (figura 9a). Já, com base apenas nos levantamentos de campo do período de 1993-2009, a abertura ocorreria entre 2017 e 2033, para o mesmo intervalo de confiança (figura 9b). Essa divergência está relacionada ao comportamento da margem oceânica do esporão, onde no período monitorado ocorreram períodos de erosão e acresção (tabela 1 e figura 7), associados a eventos de alta energia de ondas, que erodem parcialmente a duna frontal, e períodos de ondas de bom tempo, que favorecem a reconstrução da duna. O período de 1993 a 1996, monitorado por Mihály & Angulo (2002), corresponde a um período em que houve erosão na margem oceânica, o que definiu a previsão da data de abertura para 2011. Já, no período de 2001 a 2009, houve reconstrução da duna frontal, com acresção de 5,9 m (tabela 1 e figura 7), o que adia a previsão de abertura da nova barra. O efeito da mudança na margem oceânica é diminuído quando se consideram dados de mais longo prazo, e prevalece o efeito da diminuição da largura do esporão pela erosão da margem estuarina. Desse modo, a previsão da abertura incluindo a largura do esporão em 1980 pode ser considerada mais confiável. Contudo, se nos próximos anos houver erosão na margem oceânica, a abertura da barra poderá se antecipar, e se houver acresção, retardar.

Tabela 1: Taxas de variação da costa estuarina e oceânica no local mais estreito do esporão do Ararapira. Valores positivos indicam avanço e negativos, recuo.

Período	Meses	Margem estuarina (m/ano)	Margem oceânica (m/ano)
04/2001-09/2004	41	- 1,8	- 0,8
09/2004-11/2006	26	- 4,2	+ 1,3
11/2006-05 2007	6	- 3,1	+ 1,6
05/2007-08/2008	15	- 0,4	- 1,0
08/2008-04/2009	8	- 1,5	+ 4,8

5.3 Previsão de mudanças morfológicas nas costas próximas e no estuário

A ocorrência de eventos de alta energia na região permite inferir que a abertura da nova barra deve ocorrer durante um desses eventos, quando ondas maiores associadas à maré meteorológica forcem a passagem das águas oceânicas sobre o esporão. Inicialmente, e talvez durante um período de alguns meses, apenas o espraiamento das ondas maiores deve sobrepassar o esporão. A seguir, deve-se estabelecer um canal permanente de comunicação entre o mar e o estuário. O canal deve se alargar rapidamente até alcançar largura semelhante à da barra atual, em torno de 1 km. Com o aumento da velocidade das correntes e do prisma de maré na nova desembocadura, devem diminuir simultaneamente as correntes e o prisma na barra atual. Isto deve propiciar a erosão do delta de maré vazante e o progressivo fechamento da barra, pelas ondas e correntes

de deriva litorânea. Parte das areias do delta deverá fechar a barra e parte deverá ser transportada para nordeste, pela corrente de deriva longitudinal predominante até ser retida para formar um novo delta de vazante frente à nova barra. No Paraná, não existem medições do volume de sedimentos transportados pelas correntes de deriva litorânea nem do potencial de deriva das ondas. As estimativas da deriva litorânea líquida são da ordem de $2 \text{ a } 3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ (Sayão 1989, Gobbi 1997). Esse volume representa apenas uma parcela da deriva litorânea e sugere que o delta de maré vazante possa ser erodido em apenas um mês. Deltas de maré vazante de tamanhos semelhantes ao do Ararapira, na costa atlântica dos Estados Unidos, foram removidos em apenas um ano (Fitzgerald 1988). A erosão do delta de maré deve mudar o padrão de refração das ondas. Atualmente, o delta propicia a formação de uma zona de convergência da deriva longitudinal, e consequentemente a progradação da costa próxima. A progradação é mais intensa próxima à barra, e diminui à medida que se afasta do delta, podendo ser inferida pela orientação dos cordões litorâneos. No Superagui, na costa afastada do delta, os cordões são paralelos entre si e têm orientação N62°E; já, na costa próxima ao delta, os cordões têm configuração radial, com orientação entre N62°E e N49°E (figura 4a). O desaparecimento do delta deve propiciar a erosão de uma área da planície, de forma triangular, estimada em $2 \times 10^6 \text{ m}^2$, e o recuo da linha de costa em torno de 500 m no setor mais próximo da barra (figura 10). Por outro lado, a formação do novo delta de vazante junto à nova barra deve propiciar progradação equivalente nas costas próximas (figura 10).

Após a abertura, é provável que a barra comece a migrar. As evidências morfológicas e cronológicas indicam que a barra tem se deslocado para sudoeste há pelo menos 700 anos. Esse deslocamento ocorreria em sentido contrário à deriva litorânea longitudinal predominante e seria provocado pelo efeito meandro das correntes de maré vazante devido à configuração côncava da margem sudoeste do estuário (Tessler & Mahiques 1993, Mihály & Angulo 2002). Contudo, a posição mais centralizada da nova barra, com as margens formadas apenas pelo estreito esporão e corpo d'água a retaguarda, não deve favorecer o efeito meandro. Desse modo, seria possível considerar que a barra migrasse para nordeste em direção da deriva litorânea longitudinal predominante, invertendo sua tendência secular. Porém, informações detalhadas sobre a circulação de correntes de deriva geradas por ondas e correntes de maré na barra e dentro do estuário seriam necessárias para confirmar essa hipótese. Também não foram encontradas evidências dos fatores que teriam induzido o início da migração da barra para sudoeste, quando o efeito meandro ainda não ocorria. O início da migração pode ter sido propiciado pela configuração morfológica da costa, principalmente pela proximidade da barra ao morro mais meridional da Ilha do Cardoso (figura 4) ou por um período de inversão da deriva litorânea predominante.

O fechamento da barra atual deve provocar a transformação das características hidrológicas do estuário (Mihály & Angulo 2002). O setor localizado a

sudoeste da nova barra deverá se transformar em um corpo d'água semifechado, onde a velocidade das correntes deve diminuir drasticamente, propiciando o assoreamento por areias e sedimentos finos e a

diminuição da oxigenação de suas águas. Ademais, os rios que deságuam neste setor do estuário podem contribuir para diminuir sua salinidade (figura 4).

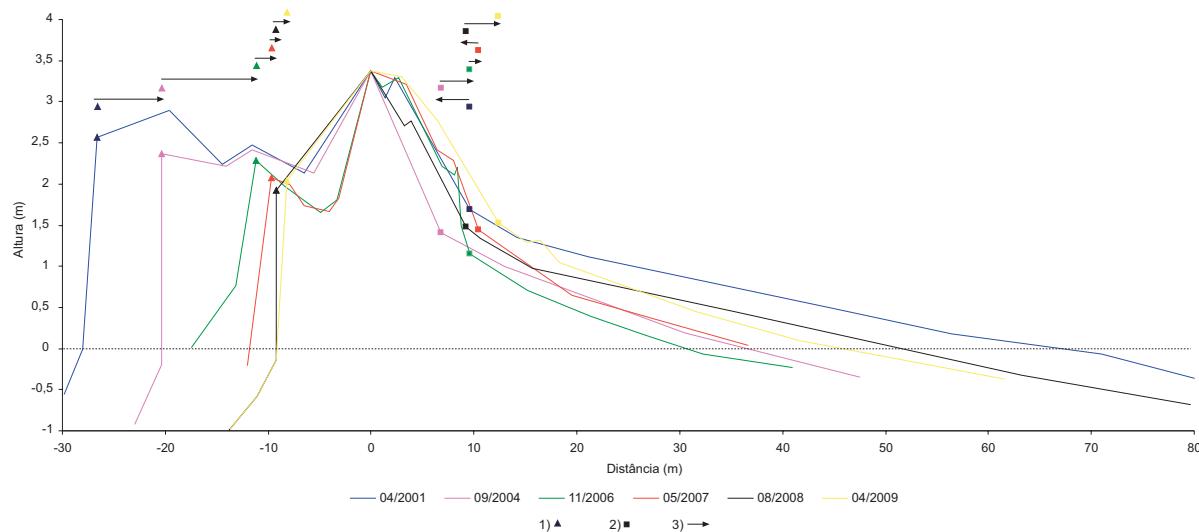


Figura 8: Perfis planialtimétricos no local mais estreito do esporão do Ararapira (para localização, ver figura 4). O zero corresponde aproximadamente ao nível de maré alta inferido a partir das marcas do nível d'água na falésia da margem lagunar do esporão. (1) topo da escarpa, (2) sopé da duna frontal desenvolvida, (3) sentido de deslocamento da feição.

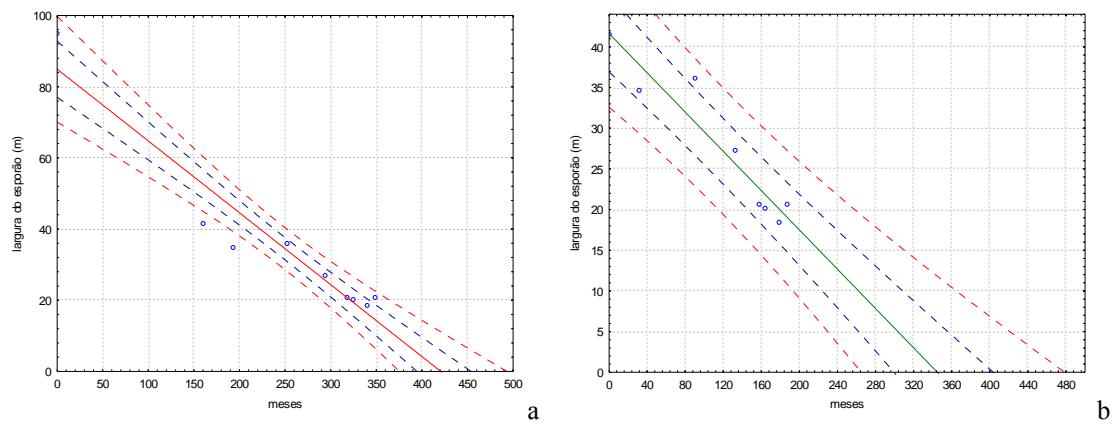


Figura 9: Previsão da data de abertura da nova barra do Ararapira considerando a redução da largura do esporão entre (a) 1980 e 2009 e (b) 1993 e 2009.

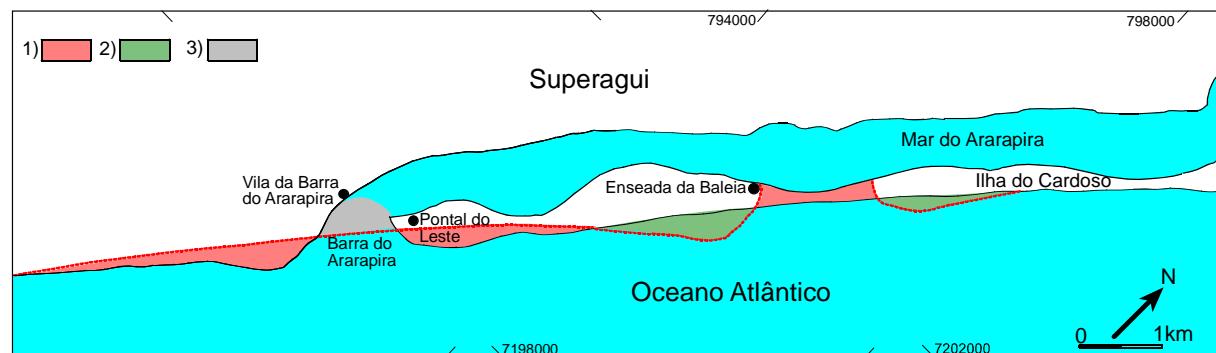


Figura 10: Previsão das áreas a serem (1) erodidas, (2) acrescidas e (3) assoreadas, após a abertura da nova barra do Ararapira.

5.4 Consequências sociais e políticas da abertura da nova barra

O Mar do Ararapira constitui parte do limite entre os estados do Paraná e de São Paulo, do Parque Nacional do Superagui e do Parque Estadual da Ilha do Cardoso (figura 4). Dentro do Mar do Ararapira o limite interestadual não está definido com precisão. Se o limite corresponder ao canal mais profundo do estuário, como ocorre geralmente em diversos corpos d'água, este precisa ser mapeado, pois, aparentemente, não existem levantamentos batimétricos na área. Já, na barra, além de sua imprecisão cartográfica, o limite interestadual vem migrando para sudoeste há séculos. Ao longo desse período extensas áreas da planície costeira paranaense foram progressivamente erodidas e áreas da planície paulista, acrescidas. A abertura da nova barra traz a questão de onde deve ser localizado o limite interestadual: se na velha ou na nova barra. Cabe lembrar que a projeção desse limite é utilizada para definir o limite interestadual na plataforma, que define em que Estado se localizam os poços de exploração de petróleo. Também deverão ser analisados, e talvez revistos, os limites dos parques do Superagui e da Ilha do Cardoso. Uma parte do parque da Ilha do Cardoso deverá ficar destacada do resto, inicialmente como ilha, e posteriormente unida ao Parque Nacional do Superagui.

Na área onde estão previstas as modificações da costa após a abertura da nova barra existem três vilas: a Barra do Ararapira, no Superagui e a Enseada da Baleia e Pontal do Leste, na Ilha do Cardoso (figura 10).

A vila da Barra do Ararapira enfrenta atualmente problemas de erosão costeira, existindo estudos para realizar obras de contenção. Tradicionalmente, a população da vila convivia com o processo erosivo realocando suas residências e plantações. Contudo, o processo foi limitado pela criação do Parque Nacional do Superagui. Com a abertura da nova barra, a erosão deve cessar devido à transformação deste setor do estuário em um corpo d'água semifechado (figura 10). Por outro lado, as mudanças das características do estuário devem alterar o tipo e distribuição da fauna aquática e, consequentemente, afetar a pesca, a aquicultura e a catação de caranguejos e mariscos. Ademais, a vila deve ficar aproximadamente 6 km mais distante do acesso ao mar.

A vila da Enseada da Baleia localiza-se a uma distância de apenas entre 500 e 600 m a sudoeste do local onde está previsto o início da abertura da nova desembocadura (figura 10). Como a largura estimada da barra é de aproximadamente 1 km, a vila deverá ficar muito próxima da margem do novo canal, podendo ser afetada pela erosão. Por esse motivo existem planos de realocação da população da vila. Outro fator a ser considerado é a

migração da nova barra após sua abertura. Se a barra migrar para nordeste, o risco de erosão na vila diminui, porém se migrar para sudoeste, a vila será erodida.

A vila de Pontal do Leste poderá ser afetada pela erosão da margem oceânica do esporão, em decorrência da erosão do delta associado à antiga barra, o que pode exigir a realocação dos moradores.

6. Conclusões

Pode-se concluir que uma nova barra do Ararapira deverá se formar a aproximadamente 6 km a noroeste da atual, entre 2012 e 2016. Esse evento causará importantes transformações na configuração e características do estuário e das costas próximas à atual e à nova barra, as quais terão importantes implicações para os moradores das três vilas próximas, na administração das unidades de conservação do Parque Nacional do Superagui e do Parque Estadual da Ilha do Cardoso, talvez, para os governos do Paraná e de São Paulo.

A previsão dos possíveis efeitos das mudanças decorrentes da abertura da nova barra sobre as comunidades e os limites de estados e unidades de conservação possibilita tomar decisões e executar medidas preventivas para minimizar ou evitar os efeitos adversos dessas mudanças.

Ademais, a previsão de abertura de uma nova barra, com as dimensões da Barra do Ararapira, em um período de poucos anos, fornece a rara oportunidade de fazer previsões sobre mudanças na morfologia e processos costeiros que poderão ser testadas em breve. O acompanhamento das mudanças após a abertura possibilitará verificar a pertinência das previsões e auxiliará na compreensão de eventos futuros. Medições da batimetria e de parâmetros oceanográficos, tais como ondas e correntes, antes e depois da abertura da barra, possibilitarão compreender melhor a dinâmica e evolução deste e de outros sistemas costeiros semelhantes.

Agradecimentos

Agrademos ao CNPq pelas bolsas produtividade a R.J. Angulo e de mestrado a M.E. Müller e pelo apoio através do projeto 558781/2008-0. À Fundação Araucária pelo apoio através do projeto 378/2006 protocolo 8961. Ao geólogo Mário Nunes Souza, diretor do Parque Estadual da Ilha do Cardoso.

Referências Bibliográficas

- Angulo R.J. 1992. Geologia da Planície Costeira do Estado do Paraná. Pós-Graduação em Geologia Sedimentar, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutoramento, 334 p.
- Angulo R.J. 1993. Variações na configuração da linha de costa no Paraná nas últimas quatro décadas. Boletim Paranaense Geociências, 41:52-72.

- Angulo R.J. 1999. Morphological characterization of the tidal deltas on the coast of the state of Paraná. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 71(4-II):935-959.
- Angulo R.J. 2004. Mapa do Cenozóico do litoral do Estado do Paraná. Boletim Paranaense de geociências, Curitiba, 55:25-42 (CD-ROM com mapas).
- Angulo R.J., Souza M.C., Reimer P., Sasaoka S.K. 2005. Reservoir effect of the southern and southeastern Brazilian coast. Radiocarbon, 47(1):1-7.
- Angulo R.J., Pessenda L.C.R., Souza M.C. 2002. O significado das datações ao ^{14}C na reconstrução de paleoníveis marinhos e na evolução das barreiras quaternárias do litoral paraense. Revista Brasileira de Geociências, 32:95-106.
- Angulo R.J., Souza M.C., Lamour M.R. 2006. Costal erosion problems induced by dredging activities in the navigation channel of Paranaguá and São Francisco do Sul harbor, southern Brazil. Journal of Coastal Research, SI-39:1801-1803.
- Bigarella J.J., Freire S.S., Salamuni R., Viana R. 1966. Contribuição ao estudo dos sedimentos praias recentes, II Praias de Matinhos e Caibá. Boletim da Universidade Federal do Paraná, Geografia Física, Curitiba, n.6. 109p.
- Cleary W.J., FitzGerald D.M. 2003. Tidal inlet response to natural sedimentation processes and dredging-induced tidal prism changes: mason inlet, North Carolina, Journal of Coastal Research, 19(4):1018-1025.
- FitzGerald D.M. 1988. Shoreline erosional-depositional processes associated with tidal inlets. Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies v. 29. In: Aubrey D.G., Weishar (Eds.). Hydrodynamics and Sediment Dynamics of Tidal Inlets. Springer-Verlag, New York.
- FitzGerald D.M., Kraus N.C., Hands E.B. 2001. Natural mechanisms of sediment bypassing at tidal inlets, ERDC/CHL CHETN-IV-30, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS. 10p. (<http://chl.erdc.usace.army.mil>)
- Gobbi E.F. 1997. Gerenciamento costeiro: análise de casos do litoral do Paraná sob a perspectiva da engenharia costeira. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: Programa em Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Ph.D. thesis, 277 p.
- Lamour M.R., Angulo R.J., Soares C.R. 2007. Bathymetrical Evolution of Critical Shoaling Sectors on Galheta Channel, Navigable Access to Paranaguá Bay, Brazil. Journal of Coastal research, 23:49-58.
- McCauley E., Tomlinson R. 2006. The evolution of Jumpinpin Inlet. Cooperative Research Centre for Coastal Zone, Estuary and Waterway Management (Coastal CRC), Austrália, 88p.
- Marone E., Camargo R. 1995. Efeitos da maré meteorológica na baía de Paranaguá, PR. Nerítica, Curitiba, 8:71-81.
- Marone E., Paula Prata Jr.V., Klinguenfuss M.S., Camargo R. 1995. Correntes de deriva no litoral paranaense: um caso de estudo. In: Congr. Lat. Amer. Cien. Mar, 6. Mar del Plata, Argentina, Item 475:129.
- Mihály P. 1997. Dinâmica sedimentar do litoral norte paranaense e extremo sul paulista. Pós-Graduação em Geologia Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Dissertação de Mestrado, 109 p.
- Mihály P., Angulo R.J. 2002. Dinâmica da desembocadura do corpo lagunar do Ararapira. Revista Brasileira de Geociências, 32(2):217-222.
- Moller Jr. O.O., Lorenzzeniti J.A., Stetch J.L., Mata M.M. 1996. The Patos lagoon summertime circulation and dynamics. Continental Shelf Research, 16(3):335-352.
- Oertel G.F. 1975. Ebb-tidal deltas of Georgia estuaries. In: Cronin L.E.(ed.) Estuarine Research Geology and Engineering. New York. Academic Press, 2:267-276.
- Portobrás - Empresa de Portos do Brasil S.A. 1983. Campanha de medições de ondas em Paranaguá-PR, período: 21.08.82 a 21.01.83. Rio de Janeiro. Inst. Pesq. Hidr. (INPH), Div. Lev. (DIDELE). 23p.
- Quadros C.J.L. 2002. Variações morfológicas e volumétricas associadas à incidência de sistemas frontais em duas praias arenosas do litoral paranaense. Programa de Pós-Graduação em Geologia, UFPR, dissertação de mestrado. 57 p.
- Sayão O.J. 1989. Littoral drift along some beaches in Brazil. In: Magno O.T., Converse H., Miner D., Tobin L.T., Clark D. (Eds.). Proc. Sixth Symp. Coast. Ocean Manag. Charleston, USA, vol. 4. American Society of Engineers, pp. 3638-3746.
- Stuiver M., Reimer P.J. 1993. Extended 14C database and revised CALIB radiocarbon calibration program. Radiocarbon, 35:215-230.
- Tessler M.G. 1988. Dinâmica sedimentar quaternária no litoral sul paulista. Curso de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 276 p.
- Tessler M.G., Mahiques M.M. 1993. Utilization of coastal geomorphic features as indicators of longshore transport: Examples of the southern coastal region of the State of São Paulo, Brasil. Journal of Coastal Research, 9:823-830.
- Vila-Concejo A., Ferreira O., Matias A., Dias J.M.A. 2003. The first two years of an inlet: sedimentary dynamics. Continental Shelf Research, 23:1425-1445.

Recebido 16 de junho 2009
Aceito 11 de novembro 2009