

IMPACTO DE ATERRAMENTOS SOBRE A HIDRODINÂMICA DA BAÍA DA RIBEIRA – SALVADOR-BA: UMA INVESTIGAÇÃO ATRAVÉS DE MODELAGEM NUMÉRICA

Taoan Silva Franklin¹ e Guilherme Camargo Lessa²

Recebido em 29 março, 2010 / Aceito em 27 maio, 2011
Received on March 29, 2010 / Accepted on May 27, 2011

ABSTRACT. Baía da Ribeira is a 3.2 km² indentation of Baía de Todos os Santos around which 6% of the population of the city of Salvador resides. As a result of a long history of urbanization and industrialization, the bay is considered the most degraded coastal region within the city limits. During the last 50 years, widespread reclamation of mangroves and tidal flat areas resulted in a reduction of 43% of the bay area. With the aid of a 2DH simulation model, the impacts of the morphological changes upon the water circulation were assessed. The results show that significant changes might have occurred as a result of smaller bay areas. Between 1959 and 2007 there was a 45% reduction on the tidal prism, resulting in decreasing tidal current velocities at the bay mouth. Simulations showed that the time needed to exchange 100% of the bay volume was reduced from 112 days to 38 days at mouth, and from 175 days to 42 days in most internal point. Therefore, is probable that the actual water quality degradation observed at Baía da Ribeira is more associated with pollutants release than reclamation of the bay margins.

Keywords: estuarine environments, morphological alterations, hydrodynamic modeling.

RESUMO. A região da Baía da Ribeira abriga cerca de 6% da população do município de Salvador-BA, sendo considerada uma das áreas da cidade com o maior grau de degradação urbana e ambiental. Ao longo dos últimos 50 anos, a ocupação intensa e desordenada desta região avançou sobre as margens da baía, implicando em uma redução de aproximadamente 43% do espelho d'água original e a destruição quase completa das áreas de mangue. Este trabalho investiga, através de modelagem numérica, o efeito desses aterramentos históricos sobre a circulação de água na baía. Os resultados indicam que a redução das dimensões originais da baía afetou significativamente a hidrodinâmica local. Entre 1959 e 2007 houve uma diminuição da ordem de 45% do prisma de maré, que causou uma redução das velocidades de corrente e dos tempos de residência, além de alterar o padrão da circulação residual. As simulações da capacidade de renovação de água mostraram que houve uma redução do tempo para renovação completa do volume de água, o qual passou de 112 para 38 dias no canal de entrada, e de 175 para 42 dias na área mais interna. Desta forma, é provável que o atual grau de degradação das águas da Baía da Ribeira tenha maior relação com o volume de poluentes descartados no seu corpo d'água do que necessariamente com o processo de aterro ocorrido ao longo das últimas décadas.

Palavras-chave: ambientes estuarinos, alterações morfológicas, modelagem hidrodinâmica.

¹Grupo de Oceanografia Tropical (GOAT), Instituto de Física Nuclear, Universidade Federal da Bahia, Campus Ondina, 40170-020 Salvador, BA, Brasil. Tel.: (21) 2499-8922; 8256-9683 – E-mail: taoansf@gmail.com

²Departamento de Oceanografia, Grupo de Oceanografia Tropical (GOAT), Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Campus Ondina, 40170-020 Salvador, BA, Brasil. Tel.: (71) 3283-6686 – E-mail: gclesa@gmail.com

INTRODUÇÃO

Baías e estuários sempre foram locais propícios à urbanização devido à abundância de recursos naturais. Como consequência é típico o desaparecimento da vegetação marginal e alteração da morfologia e da hidrodinâmica originais (Jiang et al., 2001).

Aterros de grandes proporções são comuns em metrópoles litorâneas, que acabam por extinguir significativas porções das áreas intermareais. Exemplos notáveis ocorreram na Baía de São Francisco (EUA), onde 96% da área de pântanos salgados (originalmente 3400 km² ou mais da metade do espelho d'água da baía) foi perdida (Atwater et al., 1979), e na Holanda, onde 4000 km² de pântanos estuarinos foram aterrados (Wolff, 1992). Dentre os estuários brasileiros, o processo de aterramento mais severo ocorreu na Baía de Guanabara, onde mais de 10% da área original da baía (atualmente 384 km²) foi aterrada (Amador, 1992).

Na Baía de Todos os Santos o processo de aterro de suas margens foi relativamente pequeno, dada a sua grande área de 1.223 km². Porém, em determinadas reentrâncias como a Baía da Ribeira, o processo de ocupação foi intenso, resultando em severa alteração morfológica (CONDER, 2005). A região que margeia a Baía da Ribeira abriga cerca de 6% da população do município de Salvador, e é considerada a área da cidade com o maior grau de degradação urbana e ambiental, apresentando altos níveis de contaminação bacteriológica e de metais pesados (CRA, 2001). Ao longo dos séculos XIX e XX, a ocupação urbana da região não só tomou toda terra firme como também avançou sobre as áreas de intermareais nas margens da baía, onde foram implantadas milhares de palafitas (CONDER, 2005). A falta de ordenamento na ocupação implicou em uma redução de aproximadamente 50% do espelho d'água original e o aterro quase total das áreas de mangue.

Aterros e modificações da geometria dos estuários podem provocar distorções na onda de maré e reduções do prisma de maré, o que conseqüentemente reduz a velocidade das correntes (Pendón et al., 1998; Tönis et al., 2002; Van Der Wal et al., 2002; Gong et al., 2008). Correntes mais fracas favorecem o assoreamento que, por sua vez, reduz ainda mais a magnitude das correntes, criando um mecanismo de retro-alimentação positivo que acaba por gerar crescente dificuldade de renovação das águas estuarinas (Wolanski et al., 2001; Wang et al., 2002).

Com o objetivo de contribuir para uma melhor compreensão do escoamento d'água na Baía da Ribeira e auxiliar na obtenção de respostas aos problemas de salubridade ambiental do seu corpo d'água, este trabalho objetiva: investigar, através de modelagem numérica, o efeito da redução da área e o assoreamento da baía sobre o escoamento hidráulico e a capacidade de renovação das suas águas.

ÁREA DE ESTUDO

A Baía da Ribeira está localizada no interior da porção leste da Baía de Todos os Santos, na região urbana da cidade de Salvador. A baía possui uma área de 3,2 km² e perímetro de 16,2 km, sendo subdividida nas enseadas dos Tainheiros (sul) e Cabrito (norte) (Fig. 1). As profundidades, média e máxima, são de respectivamente, 2,8 m e 12,7 m.

A drenagem fluvial que aporta à Baía da Ribeira é constituída de pequenos córregos, sendo o principal o rio do Cobre, com bacia de drenagem de 12,8 km² e desembocando na Enseada do Cabrito (Fig. 1). As descargas média e máxima do rio do Cobre são de 2 m³ s⁻¹ e 40 m³ s⁻¹, sendo que 50% das vazões são menores que 0,6 m³ s⁻¹ e 47% são nulas (Franklin, 2009).

O valor mediano da descarga fluvial acumulada em 6,2 horas é assim inferior a 1% do prisma de maré, e desta forma tem pouco impacto na circulação estuarina (Franklin, 2009). A carga de efluentes sanitários lançada diariamente no interior da Baía da Ribeira é da ordem 1,03 m³ s⁻¹ (CRA, 2001), que corresponde a aproximadamente 50% da vazão de água média liberada pela barragem do rio do Cobre.

As características hidrodinâmicas da área são típicas de um ambiente restrito, lagunar, com águas calmas e de difícil renovação, que é comprovada pelas reduzidas condições de aerobiose e altas concentrações de matéria orgânica na água (Barros, 1977).

A oscilação da maré é o principal fator responsável pela circulação na Baía da Ribeira. As magnitudes das correntes no interior da Baía da Ribeira calculadas através de modelagem hidrodinâmica são inferiores a 25 cm s⁻¹ chegando a valores próximos de zero nas áreas mais internas (Xavier, 2002). O tempo de renovação das águas da baía, calculado neste mesmo trabalho, é da ordem de 30 dias, numa simulação considerando apenas a forçante da maré. No caso de uma simulação forçada pela maré e ventos de verão, o tempo de renovação calculado foi aparentemente reduzido para cerca de 2 a 3 dias (Xavier, 2002).

METODOLOGIA

O presente estudo se baseou em ferramentas de modelagem hidrodinâmica computacional, que são capazes de construir uma representação digital, em escala real, do corpo d'água em questão. Para construção do modelo hidrodinâmico de um corpo d'água é necessário o mapeamento digital da geometria do corpo d'água (batimetria e linha de costa) e a definição das forçantes externas que geram a circulação de água, como marés, ventos, descargas fluviais, dentre outras. Além disto, também se faz necessário a coleta de dados hidrográficos (correntes e maré) que possam ser comparados com os resultados das simulações de forma a

verificar a consistência da resposta calculada pelo modelo hidrodinâmico.

Com base nos dados disponíveis foram definidos três cenários para a caracterização da circulação de água na Baía da Ribeira ao longo das últimas décadas:

- i) Cenário do ano de 1959: caracterizando a hidrodinâmica no início do processo de urbanização das margens da baía;
- ii) Cenário do ano 1980: caracterizando a hidrodinâmica numa situação intermediária do processo de urbanização das margens da baía;
- iii) Cenário do ano de 2007: caracterizando o cenário mais recente de circulação de água na baía.

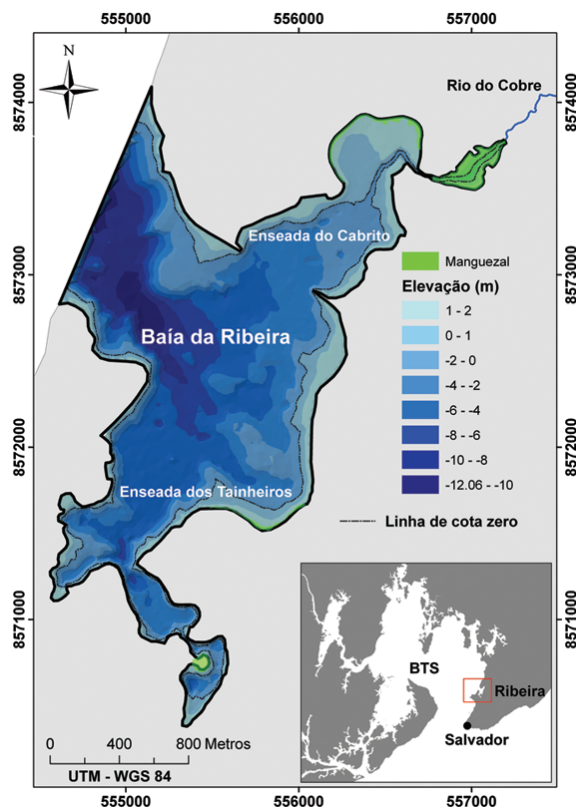


Figura 1 – Baía da Ribeira, mapa de localização. O mapa menor indica a posição da Baía da Ribeira no interior da Baía de Todos os Santos (BTS). Os dados apresentados no mapa foram resultado do mapeamento digital produzido neste trabalho.

Mapeamento da linha de costa e batimetria

Foram resgatados documentos (cartas, mapas e ortofotos) para a reconstrução dos três momentos de urbanização da Baía da Ribeira nos anos 1959, 1980 e 2007.

O mapeamento da linha de costa para os anos de 1959 e 1980 teve como base as ortofotos (escala de 1:2000) fornecidas

pela Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia (CONDER). A linha de costa do cenário de 2007 foi mapeada, em escala de (1:2000) com base na imagem aérea disponível no Google Earth[®] (Google, 2007). A batimetria para os anos de 1959 e 1980 foi obtida nas cartas náuticas n° 1101, da Diretoria de Hidrografia e Navegação – DHN, correspondentes aos anos de 1958 e 1986, respectivamente.

Os dados batimétricos recentes, aplicados ao cenário de 2007, foram coletados em sucessivos mapeamentos feitos entre abril de 2005 e novembro de 2006 utilizando um ecobatímetro SIMRAD CE 33, GPS acoplado (não diferencial). Os levantamentos cobriram seções transversais ao sentido preferencial do fluxo de água, espaçadas em aproximadamente 50 m. Os pontos em cada seção tiveram espaçamento inferior a 5 m. As profundidades medidas foram ajustadas para o nível de redução da DHN com base no registro de maré medido no Porto de Salvador durante o levantamento batimétrico.

A representação da batimetria das planícies de maré e áreas de mangue foi feita por meio de uma aproximação numérica. Adotou-se um gradiente de declividade suave, partindo das regiões mais altas (com cota de 2 m referente ao nível médio da preamar no local) até as áreas mais baixas onde havia dados batimétricos disponíveis. Pequenos canais de escoamento, com profundidade correspondente ao menor nível da baixamar observado nos dados de maré local (−0,3 m), foram inseridos nas áreas alagáveis para facilitar o escoamento e a estabilidade numérica das simulações.

Com base nos dados batimétricos e nos mapas do contorno da baía foram construídos os modelos digitais do corpo d'água para as diferentes épocas estudadas. Os dados batimétricos foram interpolados em uma grade regular com aproximadamente 30 m de espaçamento. O método de interpolação aplicado foi o de Kriging, utilizando a ferramenta ESRI[®] ArcGIS[®] 3D Analyst[™]. A partir do modelo digital foi possível calcular as dimensões do corpo d'água para cada cenário modelado através da mesma ferramenta mencionada acima.

Aquisição de dados de campo para validação do modelo e caracterização da circulação estuarina

O monitoramento hidrográfico foi realizado na embocadura da baía (local indicado na Fig. 2), onde o canal é mais estreito e tem maior profundidade, com intuito de caracterizar o fluxo de água que entra e sai do corpo d'água. Desta forma, os dados de velocidade e direção das correntes e vazões foram obtidos nos dias 08/04/2005 (sizígia) e 28/09/2006 (quadratura), através de correntômetro acústico tipo ADCP, na seção indicada na Figura 2. Durante o dia 29/08/2008 (sizígia) houve mais uma campanha

de monitoramento de correntes e descargas que, neste caso, foi realizada com o ADCP “parado” num ponto fixo no talvegue da embocadura da baía, durante um ciclo completo de maré (Fig. 2).

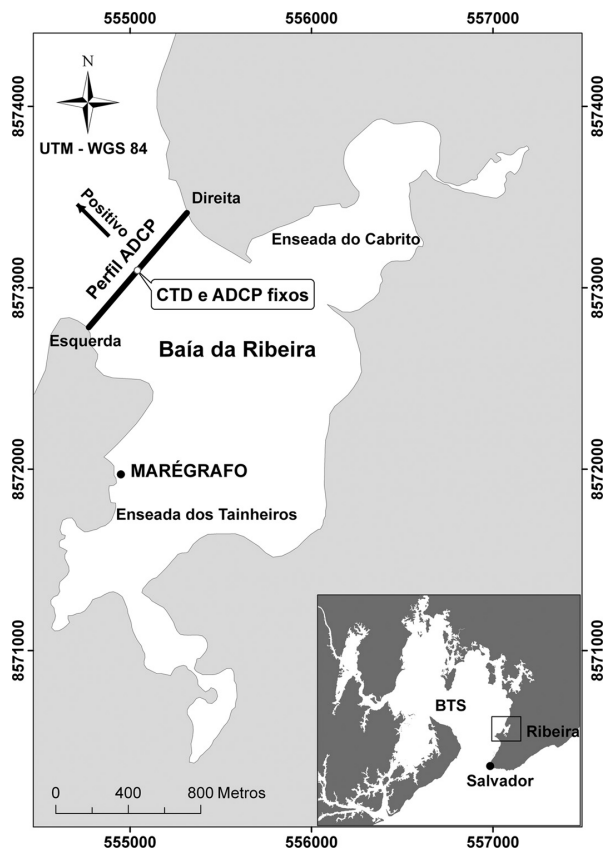


Figura 2 – Locais das coletas de dados hidrográficos na Baía da Ribeira. Na figura está indicada a seção de monitoramento de fluxo com ADCP em sizígia (08/04/2005) e quadratura (28/09/2006), bem como o ponto fixo onde foram coletados os dados de salinidade de temperatura com CTD. No mesmo ponto fixo foi realizado um terceiro monitoramento de correntes em maré de sizígia (29/08/2008). A seta indica a convenção adotada para o sinal do fluxo. A referência das margens, esquerda e direita, também estão indicadas no mapa. No mapa menor está indicada a localização do Porto de Salvador onde foram coletados dados de maré.

O ADCP utilizado foi o modelo Rio Grande com “bottom-track”, frequência de 600 kHz, da Teledyne-RDI®. O correntômetro foi configurado para medir o fluxo em células de profundidade (*beans*) com intervalos de 0,5 m ao longo da seção monitorada. A cada 30 minutos a seção foi perfilada, medindo continuamente as correntes e calculando as vazões durante um ciclo completo de maré. No caso do monitoramento em ponto fixo (29/08/2008) os dados foram coletados continuamente, sendo calculados os valores médios em intervalos de meia hora. Os dados de ADCP foram tratados através de um pacote de rotinas em ambiente Matlab® (Genz et al., 2010). O prisma de maré – volume de água que en-

tra ou sai do corpo d’água durante as marés enchente e vazante – foi calculado através da integral no tempo das vazões medidas na embocadura da baía.

$$P = \int_{t_0}^t Q dt, \quad (1)$$

onde P é o prisma de maré correspondente ao intervalo (t_0 até t) entre a estufa de baixamar e preamar (aproximadamente 6 horas) ou vice-versa, para enchente ou vazante, respectivamente. O intervalo dt utilizado foi de 30 minutos.

Os dados de maré para calibração do modelo foram coletados no período de 08 à 10/04/2005 através de marégrafo analógico, e posteriormente digitalizado seguindo a referência de nível da DHN para o Porto de Salvador (Fig. 2).

Durante as medições de fluxo foram coletados dados de temperatura e salinidade através de perfilagens verticais utilizando um CTD, coletados a cada meia hora, no talvegue da seção de monitoramento (Fig. 2). O CTD utilizado foi o modelo SBE 19plus SEACAT Profiler Sea-Bird®, configurado para medir salinidade e temperatura em intervalos de profundidade de 0,5 m. Os dados do CTD foram tratados com *software* fornecido pelo próprio fabricante.

Modelagem hidrodinâmica

A modelagem hidrodinâmica da Baía da Ribeira foi desenvolvida com o modelo numérico RMA2 (*Resource Management Associates, Version 4.45*) (Norton et al., 1973; King, 1990). O RMA2 é um modelo bidimensional (2DH) de elementos finitos que aplica a forma de Reynolds das equações de Navier-Stokes para calcular variações no nível d’água e correntes integradas na vertical para fluxos subcríticos. O atrito é calculado através do número de Manning (n) e as características de turbulência são definidas pelo coeficiente de viscosidade turbulenta (Viscosidade de Eddy = E) (King et al., 2005).

A construção dos modelos hidrodinâmicos e as operações de pré e pós-processamento das simulações foram realizadas através da interface SMS 8.1 (*Surface-water Modeling System*) desenvolvida pelo *Environmental Modeling Research Laboratory* da Brigham-Young University (King et al., 2005).

As malhas de elementos finitos, com resolução variável (espaçamento médio de 30 m) foram construídas para cada um dos 3 cenários modelados, com correspondência espacial entre os nós recorrentes entre os cenários (Fig. 3). A Figura 3 mostra as estações de controle para efeito de comparações entre os diferentes cenários, no tempo e no espaço. As estações foram posicionadas em locais que pudessem interceptar as malhas dos três

cenários modelados, cobrindo pontos representativos da área da baía: embocadura (2), centro da baía (4), Enseada do Cabrito (3), Enseada dos Tainheiros (5) e o ponto mais interno da baía (6). A comparação entre as vazões dos diferentes cenários se refere à seção transversal da Figura 2, com margem esquerda ao sul e fluxos positivos associados à maré de vazante. As marés previstas no Porto de Salvador, correspondentes aos dias de monitoramento de campo, foram adotadas como condição de contorno externa do modelo. Em todas as simulações o modelo foi “aquecido” por 3 ciclos de maré, partindo-se de uma condição inicial onde todo o domínio está inundado. O passo de tempo utilizado em todas as simulações foi de 30 minutos.

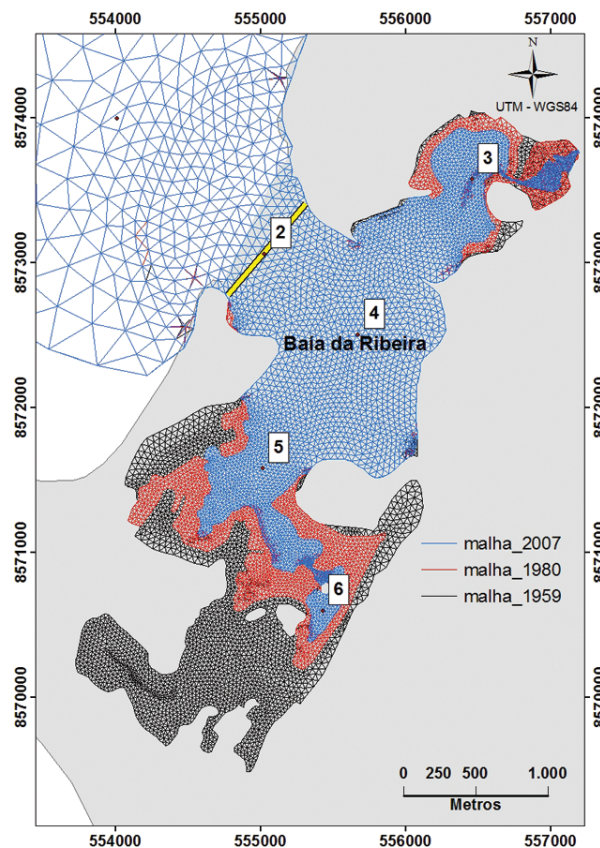


Figura 3 – Malhas de elementos finitos (sobrepostas) representantes dos domínios de cada cenário modelado. As malhas foram construídas de forma que a sobreposição dos elementos finitos fosse coincidente nas áreas comuns aos diferentes cenários. Os números indicam as estações de controle utilizadas para comparação entre as características hidrodinâmicas dos diferentes cenários simulados. O perfil localizado na embocadura da baía indica a seção transversal do canal onde foram extraídos os dados de vazão para a comparação entre os diferentes cenários.

A avaliação do erro entre os resultados do modelo e os dados observados – considerando todo o intervalo de dados amostrados em campo – foi realizada com base nos seguintes parâmetros:

- Erro médio percentual absoluto (E_m)

$$E_m \left| \left(1 - \frac{\text{observado}}{\text{simulado}} \right) 100 \right| \quad (2)$$

Raiz quadrada do erro quadrado médio (REQ)

$$REQ = \left[\frac{1}{n} \sum_i^n (\text{simulado} - \text{observado})^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

Coefficiente de correlação do momento do produto Pearson (C_{os})

$$C_{os} = \frac{\sum (o - \bar{o})(s - \bar{s})}{\sqrt{\sum (o - \bar{o})^2 \sum (s - \bar{s})^2}}, \quad (4)$$

onde o e s são os dados observados e simulados, respectivamente, enquanto \bar{o} e \bar{s} são valores médios dos dados observados e simulados.

Diversos testes foram realizados até encontrar os parâmetros de calibração que melhor ajustassem os resultados do modelo aos dados medidos em campo. Os valores de viscosidade turbulenta e rugosidade foram definidos com base na análise de sensibilidade do modelo de forma a se obter o melhor ajuste entre os dados simulados e medidos em campo (Franklin, 2009). Desta forma, foram selecionados os seguintes valores de rugosidade (n) e viscosidade turbulenta (E):

- Áreas intermareais: $E = 4.250 \text{ Pa s}^{-1}$ e $n = 0,035$ (adimensional)
- Áreas de imersas: $E = 4.250 \text{ Pa s}^{-1}$ e $n = 0,025$ (adimensional)

A análise de sensibilidade do modelo da Baía da Ribeira mostrou que não há variação significativa nas magnitudes das correntes e vazões, e nem na curva de maré calculada pelo modelo em função de diferentes valores de rugosidade de fundo e viscosidade turbulenta (Franklin, 2009). Levando em conta que variações dos parâmetros de rugosidade e viscosidade não foram significativos para o controle da hidrodinâmica calculada pelo modelo, foram então adotados os mesmos valores de rugosidade e viscosidade, mencionados acima, para todos os cenários simulados. Uma discussão mais detalhada da relação entre os parâmetros de rugosidade e os tipos sedimentos de fundo da Baía da Ribeira pode se vista em Franklin (2009).

Com o modelo já calibrado, foram realizadas simulações de 28 dias – cobrindo as quatro fases de maré (Fig. 4) – para cada cenário (1959, 1980 e 2007).

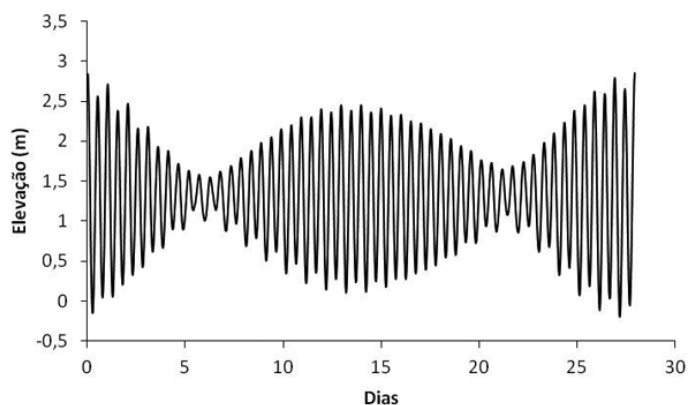


Figura 4 – Série de maré utilizada como condição de contorno dos modelos, correspondendo ao período de 1° a 29 de março de 2006.

Devido à carência de dados meteorológicos representativos para o local (principalmente ventos), adotaram-se aqui simulações simplificadas. Desta forma, as simulações foram realizadas considerando ventos e precipitação nulos. Considerou-se tal metodologia aceitável, já que o interesse principal do estudo é uma comparação entre cenários morfológicos e não climáticos.

As soluções hidrodinâmicas dos diferentes cenários foram utilizadas nas simulações realizadas para avaliar a capacidade de renovação das águas. Estas simulações foram realizadas através do modelo RMA4, que calcula o transporte médio de substâncias na coluna d'água através do cálculo do transporte advectivo e difusivo (King et al., 2005).

Foi adotada como medida do tempo de renovação das águas da baía o *Tempo de Descarga Local* (Abdelrhman, 2002) definido como o tempo necessário para que a concentração de um traçador, uniformemente distribuído no corpo d'água, seja reduzida a um percentual (pré-definido) em relação à concentração inicial. Esta medida avalia a capacidade de renovação de 100% do volume de água (T_{100}), que no presente estudo foi calculado pelo simulador de transporte hidrodinâmico RMA4. Também foram calculados os tempos para atingir uma renovação de 63% (T_{63}) das águas, isso porque o T_{100} , calculado pelos modelos de transporte hidrodinâmico, pode tender a infinito na maioria dos casos (Jouon et al., 2006). Além disso, a maior parte da concentração inicial do traçador, normalmente já é eliminada no intervalo T_{63} (Abdelrhman, 2002; Abdelrhman, 2005; Jouon et al., 2006). O *Tempo de Descarga Local* será doravante referenciado neste trabalho por *Tempo de Renovação*. As simulações com o modelo RMA4 partiram de uma concentração inicial homogênea (100%) em toda a baía. No contorno aberto (região exterior à embocadura da baía) a concentração inicial foi igual a zero.

Com intuito de otimizar o esforço computacional das simulações, as regiões da baía com tempo de renovação superior a 28 dias tiveram seu tempo de renovação calculado com base num método de projeção da curva de decaimento (Monsen et al., 2002). Basicamente o que se faz é determinar a função de renovação das águas, por regressão logarítmica, com base nas curvas de decaimento do traçador calculadas pelo simulador RMA4, de forma a chegar na equação:

$$y = a \ln(x) + b, \quad (5)$$

onde y representa a concentração do traçador no instante de tempo x , \ln é o logaritmo natural e os coeficientes a e b são obtidos pelo método de regressão (Microsoft Excel®). Com base na equação acima é possível determinar o grau de renovação para qualquer instante de tempo (Monsen et al., 2002).

RESULTADOS

Alterações morfológicas da Baía da Ribeira

A Figura 5 mostra os modelos digitais do corpo d'água da Baía da Ribeira para cada cenário modelado. O gráfico de barras apresentado na Figura 5 mostra o percentual da área da baía coberto por cada intervalo de classe batimétrica. Este gráfico permite perceber que entre 1959 e 2007 houve uma redução significativa das áreas de intermareais (cotas acima do zero). Em 1959 o intermareais cobria cerca de 20% da área total da baía, passando para 12% em 2007. Entre 1959 e 2007 houve uma redução de 43% da área e 44% do volume total da baía (Tab. 1).

A maior perda tanto de área como de volume ocorreu entre 1959 e 1980, com reduções de respectivamente 41% e 29%. No intervalo entre 1980 e 2007 a velocidade dos aterros no entorno da baía foi diminuída, tendo ocorrido maior perda de volume (15%) do que de área (2%) (Tab. 1).

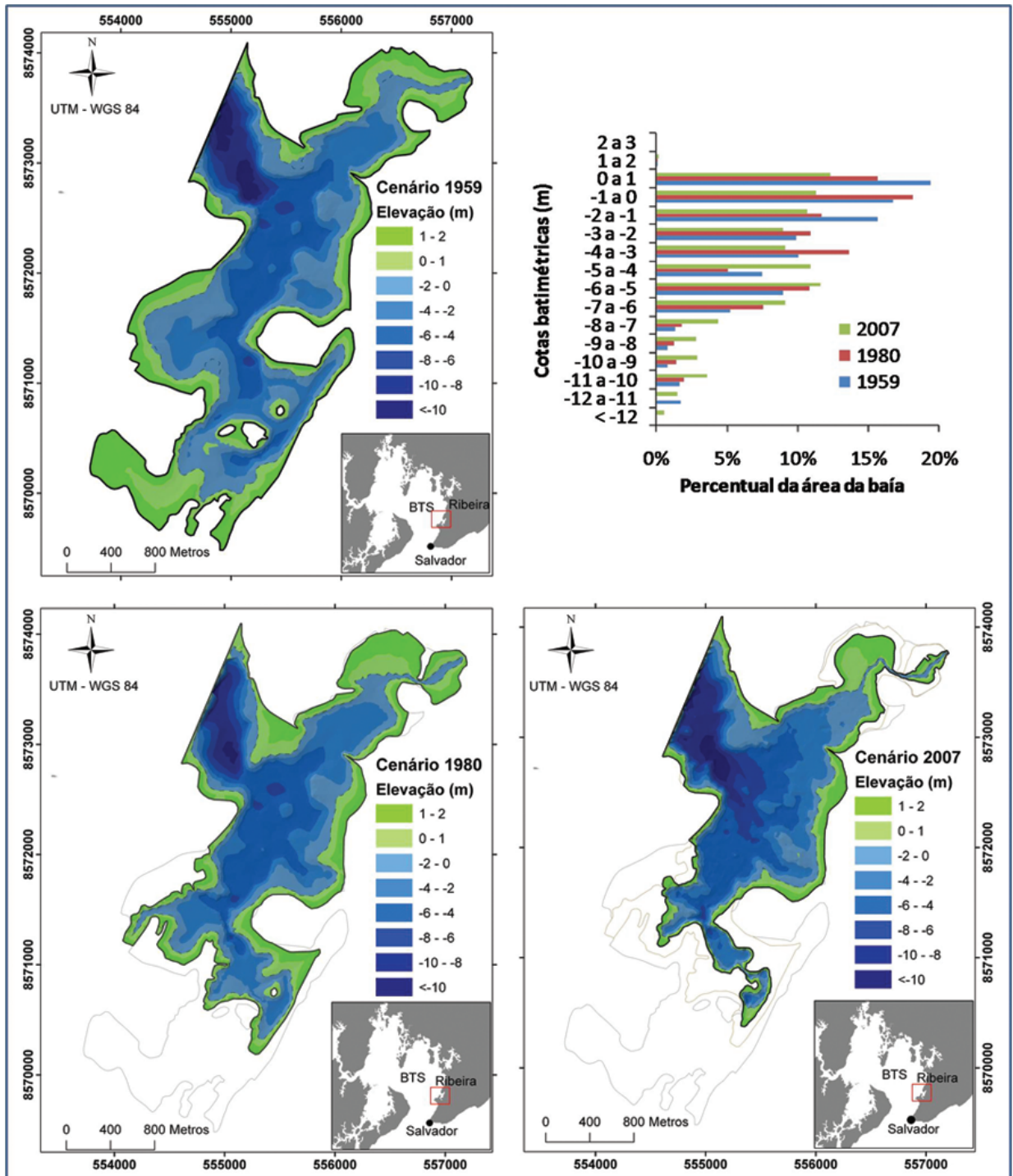


Figura 5 – Modelos digitais utilizados na modelagem hidrodinâmica da Baía da Ribeira. O gráfico de barras mostra o percentual da área total da baía que é coberto por cada intervalo de classe batimétrica, para os cenários de 1959, 1980 e 2007. O eixo horizontal do gráfico de barras não atinge 100%, mas o somatório total dos percentuais de cada classe batimétrica corresponde a 100% da área total de seus respectivos cenários.

Tabela 1 – Dimensões da Baía da Ribeira nos cenários estudados.

Cenário	Volume (10^7 m^3)	Área (km^2)	Redução da área em relação a 1959 (%)	Redução do volume em relação a 1959 (%)
1959	5,70	5,76	0	0
1980	3,38	4,10	41	29
2007	3,23	3,22	43	44

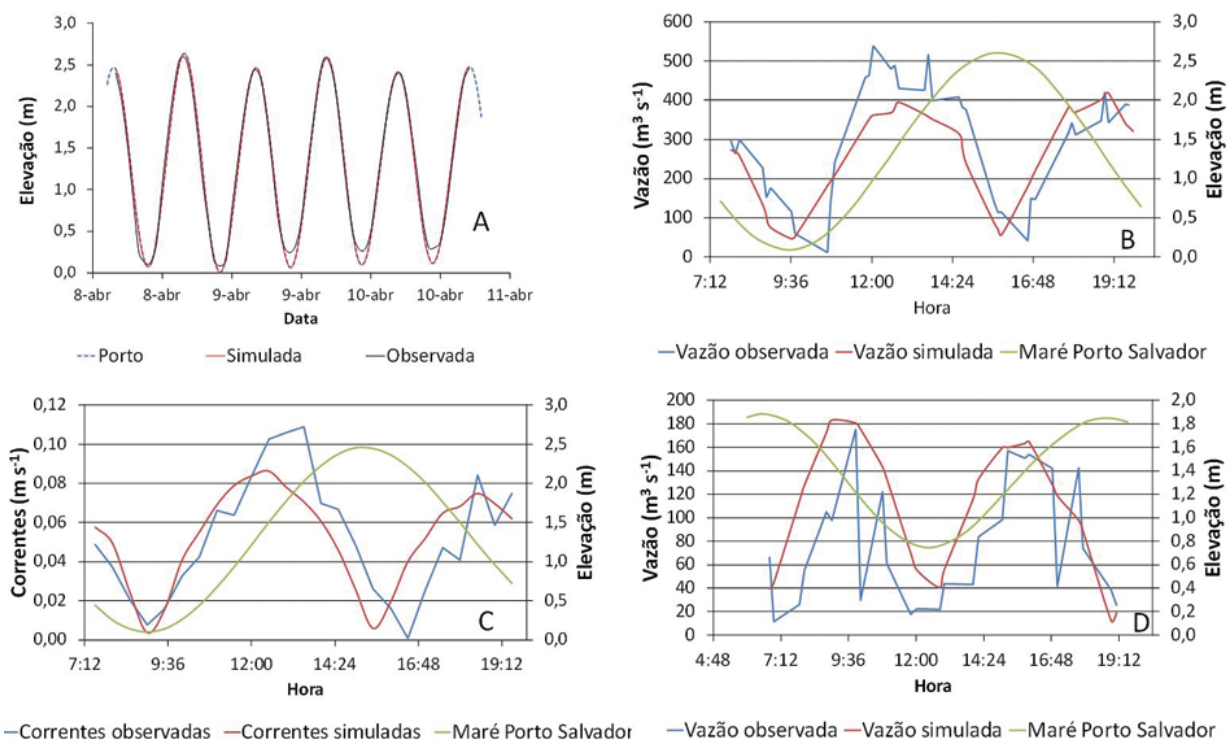


Figura 6 – Marés medidas e simuladas no interior da Baía da Ribeira (A) (abril de 2005), onde a linha azul indica a maré registrada no Porto de Salvador, localizado na região externa adjacente (Fig. 2). Em B estão apresentadas as correntes medidas e simuladas num ponto fixo (Fig. 2) na embocadura da baía (sizigia, 29/08/2008). Em C e D estão indicadas as vazões medidas e simuladas na embocadura da baía em 08/04/2005 (sizigia) e 28/09/2006 (quadratura), respectivamente. Em B, C e D a linha verde representa a maré correspondente no Porto de Salvador, indicando o sentido do fluxo. Todos os dados coletados em campo foram medidos em intervalos regulares de 30 minutos.

Caracterização da hidrodinâmica estuarina no cenário mais recente e verificação do ajuste do modelo hidrodinâmico em relação aos dados de campo

Na Figura 6 estão sumarizadas as comparações entre os dados observados e simulados na Baía da Ribeira. Os resultados mostram que o modelo conseguiu representar bem a maré no interior da baía (Fig. 6A). As diferenças observadas na baixamar foram causadas pelo mal posicionamento do marégrafo, em local de pouca profundidade, o que acarretou em empoçamento e truncamento da curva de maré registrada. Os dados medidos indicam que a maré no interior da Baía da Ribeira não é muito di-

ferente da maré que ocorre na região externa adjacente, que é mostrado pelo alto grau de aproximação com a série de maré do Porto de Salvador na Baía de Todos os Santos (Fig. 6A). As correntes e vazões simuladas estão próximas dos valores medidos na embocadura da Baía da Ribeira (Figs. 6B, C e D). No entanto ocorre uma diferença de fase significativa no sinal das correntes próximo aos instantes de estofa. Parte do erro é atribuída à pequena magnitude do fluxo, cuja ordem de grandeza é a mesma do erro padrão associado ao modo de operação do correntômetro. A Tabela 2 apresenta o resumo dos erros entre os dados simulados e medidos em campo. Os resultados mostram que os erros foram mais expressivos nas simulações das vazões em quadra-

Tabela 2 – Resumo dos erros das simulações indicadas na Figura 6. *REQ* significa raiz do erro quadrático médio.

Simulação	Erro médio (%)	<i>REQ</i>	Correlação (%)	Erro mais frequente (%)	Frequência (%)
Maré	5,7	0,07 m	99	10 a 20	11
Vazão (sizígia)	38	84 m ³ s ⁻¹	84	10 a 20	30
Vazão (quadratura)	49	55 m ³ s ⁻¹	65	40 a 70	30
Correntes (sizígia)	46	0,018 m s ⁻¹	79	10 a 20	30

tura, quando os valores de correntes são muito baixos. Maiores detalhes sobre a calibração do modelo estão disponíveis em Franklin (2009).

Os dados coletados em campo mostraram padrões de correntes residuais unidirecionais de enchente e correntes nulas em setembro de 2006 (sizígia) e abril de 2005 (quadratura), respectivamente (Figs. 7 e 8). Entretanto ocorre um padrão de circulação residual estratificado, com fluxo positivo na superfície e negativo no meio da coluna d'água, na maré de sizígia em 2008 (Fig. 9). Os resultados dos monitoramentos de salinidade na embocadura da baía apresentaram salinidade mínima de 33,5 e máxima de 35,4, indicando a presença de águas tipicamente salinas e coluna d'água bem misturada (Franklin, 2009). A máxima variação de salinidade e temperatura entre superfície e fundo foi de 1,3 e 0,74°C, respectivamente (Franklin, 2009).

Resultados das simulações hidrodinâmicas nos diferentes cenários

A Figura 10 mostra as séries de marés calculadas pelo modelo hidrodinâmico para os diferentes cenários na estação de controle mais interna na Baía da Ribeira (estação 6, Fig. 3). Os dados mostram que o sinal de maré só sofreu mudança significativa em 2007 em maré de sizígia, com redução da amplitude em 0,05 m e um atraso de aproximadamente 30 minutos na baixamar. No entanto, esta modificação ocorre apenas em relação à estação 6, devido à restrição imposta ao fluxo pelo estreito canal remanescente que conecta esta região com o resto da baía (Fig. 3). Nota-se que o sinal da estação 5 (mais externa) é igual ao da estação 6 nos cenários anteriores (Fig. 10).

A redução do espelho d'água ocasionou mudanças significativas no prisma de maré. A Tabela 3 mostra a média dos prismas de maré de enchente e vazante, em dois ciclos consecutivos de maré de sizígia e quadratura para cada cenário. Em 1959 o prisma de maré em sizígia era da ordem de 11,9 10⁶ m³, diminuindo para cerca de 6,6 10⁶ m³ em 2007, o que indica uma redução de aproximadamente 45% do prisma entre os dois cenários. Como não

houve alteração na altura de maré dentro da baía, este resultado reflete à redução da área ocorrida neste período.

Tabela 3 – Prismas de maré (10⁶ m³) para os diferentes cenários processados pelo modelo.

Cenários	2007	1980	1959
	Quadratura		
Enchente	1,14	1,41	2,06
Vazante	1,14	1,42	2,06
	Sizígia		
Enchente	6,63	8,15	11,99
Vazante	6,67	8,35	11,97

Na Figura 11A estão plotadas as magnitudes máximas das correntes de enchente e vazante para cada ciclo de maré simulado. Observa-se que entre 1959 e 2007 ocorreu uma redução, da ordem de 45%, na magnitude das velocidades máximas, as quais mostram sempre fluxos de vazante em sizígia. O gráfico das vazões máximas calculadas pelo modelo (Fig. 11B) indica uma redução da ordem de 45% nas descargas máximas entre 1959 e 2007, acompanhando a redução relativa do prisma de maré. A discrepância observada entre as taxas de redução das velocidades e das vazões (maior redução das velocidades entre 1980 e 2007 não coincide com a maior redução das vazões entre 1959 e 1980) resulta do fato de que as velocidades foram extraídas de um ponto fixo cuja posição relativa à morfologia da seção foi alterada ao longo do tempo. Observa-se na Figura 12 o deslocamento do talvegue da margem direita para a margem esquerda (provavelmente associado a dragagens no canal de navegação). Os dados de vazão máxima, por integrarem o campo de velocidades espacialmente, refletem melhor as variações de área e prisma de maré.

A alteração da morfologia da seção de monitoramento (Fig. 12) afetou a distribuição espacial do campo de correntes residuais integradas na vertical (média de 2 ciclos de maré consecutivos). Observa-se na Figura 13 uma clara assimetria lateral das correntes residuais, tanto em sizígia quanto em quadratura, com fluxo orientado para fora da baía na margem esquerda, porém com menor intensidade no cenário de 2007.

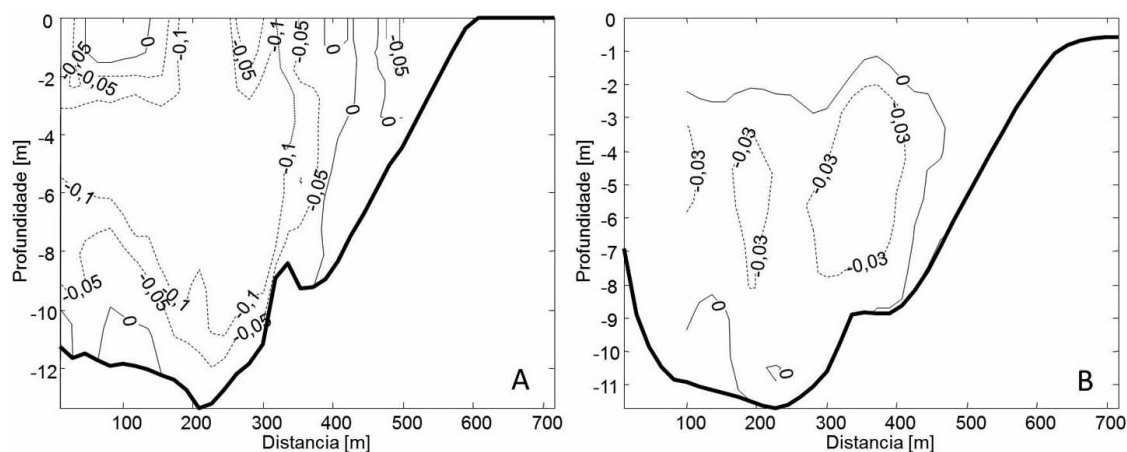


Figura 7 – Campo de correntes (m s^{-1}) da seção transversal no canal na embocadura da Baía da Ribeira (Fig. 2), para o ciclo de maré monitorado em 08/04/2005 no instante de máxima vazão (A) e correntes residuais (B). O perfil batimétrico da seção (linha preta grossa) tem origem na margem esquerda do canal monitorado. As linhas tracejadas representam as isolinhas de mesma magnitude de corrente.

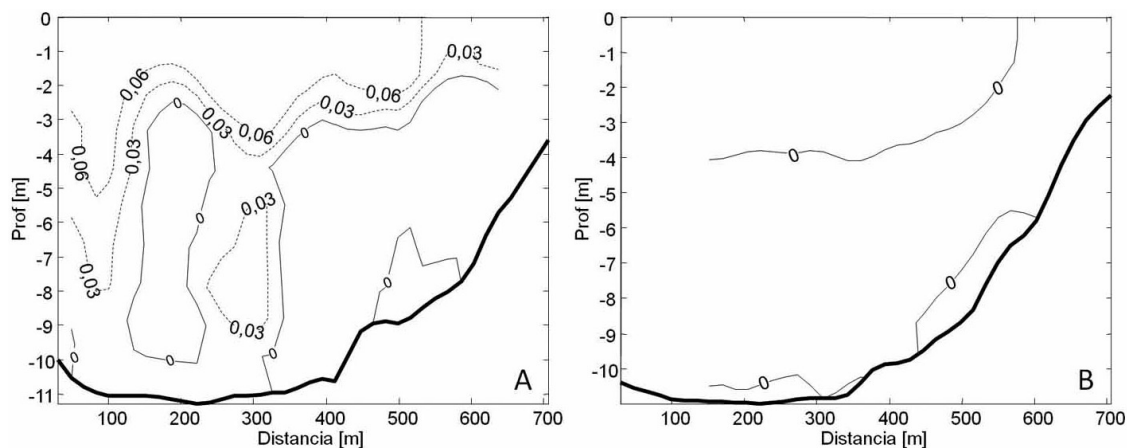


Figura 8 – Campo de correntes (m s^{-1}) da seção transversal no canal na embocadura da Baía da Ribeira (Fig. 2), para o ciclo de maré monitorado em 28/09/2006 no instante de máxima vazão (A) e correntes residuais (B). O perfil batimétrico da seção (linha preta grossa) tem origem na margem esquerda do canal monitorado. As linhas tracejadas representam as isolinhas de mesma magnitude de corrente.

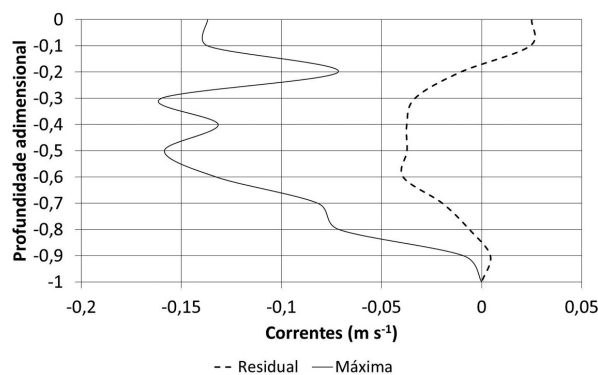


Figura 9 – Perfil de velocidades residuais ao longo da coluna d'água (média do ciclo monitorado) e no instante de máxima velocidade de enchente, observado na Baía da Ribeira em 29/08/2008. O eixo vertical indica a profundidade adimensional pela relação $-z/h$, onde h é a profundidade instantânea (variável com a maré) e $-z$ a cota batimétrica do local. O sentido positivo do fluxo indica correntes de maré vazante e o negativo correntes de enchente.

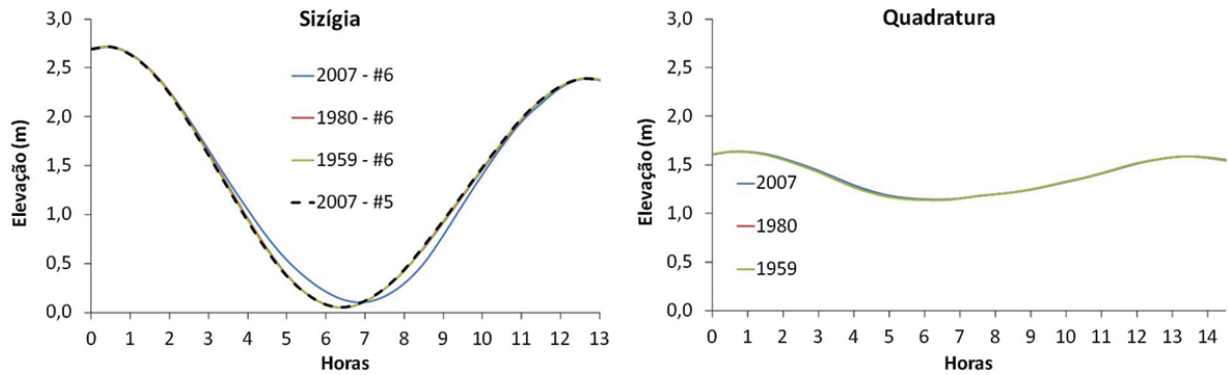


Figura 10 – Séries de maré computadas pelo modelo hidrodinâmico na estação 6 para os diferentes cenários observados.

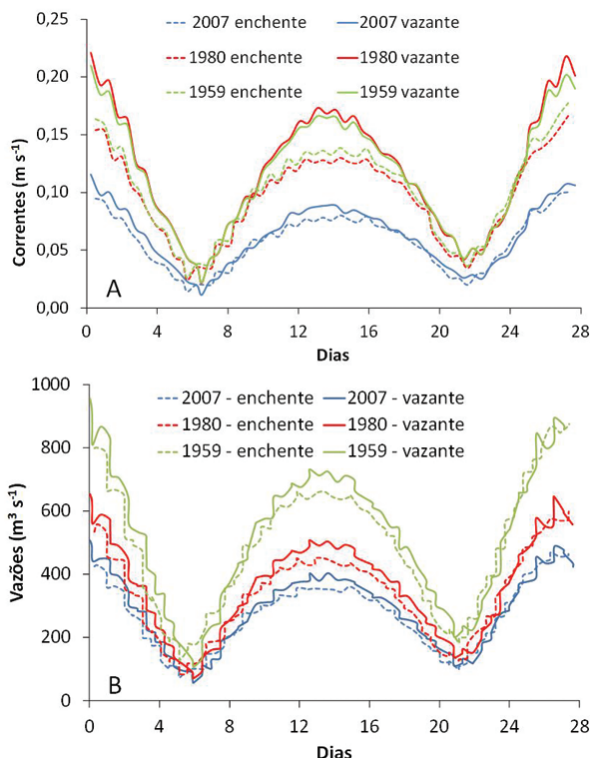


Figura 11 – Velocidades das correntes máximas (A) para cada período de maré enchente ou vazante, extraídas na embocadura da Baía da Ribeira (estação 2, Fig. 3). A magnitude das velocidades de corrente corresponde à direção preferencial do fluxo no ponto monitoramento. Em (B) estão plotadas as correspondentes vazões máximas, extraídas na seção de monitoramento na embocadura da baía (Fig. 3). Verifica-se uma redução na magnitude das descargas partindo dos cenários pretéritos para o mais recente.

Capacidade de renovação das águas da Baía da Ribeira nos diferentes cenários

A capacidade simulada de renovação de 100% e 63% das águas na Baía da Ribeira aumentou entre 1959 e 2007 (Figs. 14 e 15), passando de 112 dias para 38 dias no canal de entrada e de 175

para 42 dias na região mais interna (próximo da estação 6). No caso da renovação parcial (até 63%) houve uma redução de 11 para 5 dias no canal de entrada, e de 60 para 23 dias nas proximidades da estação 6. Naturalmente o tempo de renovação de 63% foi muito mais curto que o de 100% em todos os cenários, mostrando que a maior parte do volume de água da baía é renovada em torno de 11 dias (região central da baía) enquanto que a renovação de 100% pode demorar cerca de três vezes mais tempo.

Em média, o tempo de renovação das águas na baía foi reduzido em 70% (cerca de 90 dias a menos), comparando o cenário de 1959 com o de 2007.

DISCUSSÃO

Um modelo numérico deve ser capaz de simular padrões de circulação que sejam característicos do ambiente em questão. No caso da Baía da Ribeira, as observações de campo indicam um padrão de estuário bem misturado com pouca influência fluvial. No entanto, é significativo o aporte esgotos domésticos nas regiões mais internas da baía, assim como descarga de água doce proveniente do sistema de drenagem urbana, que acabam por promover um ambiente de águas salobras nessas áreas (CRA, 2002).

O modelo foi capaz de simular com fidelidade o sinal da maré no interior da Baía da Ribeira. No caso das vazões e correntes, apesar da boa aproximação entre valores máximos simulados e medidos, o modelo não conseguiu reproduzir bem os momentos de estufa. Tal fato pode ser atribuído a limitações do ADCP utilizado em medir fluxos muito lentos que ocorrem nestes instantes.

A ocupação humana na Baía da Ribeira causou uma redução de 43% da área do espelho d'água da baía entre 1959 e 2007, e de forma mais extensa na porção sul da baía (Figs. 3 e 5). Similar à

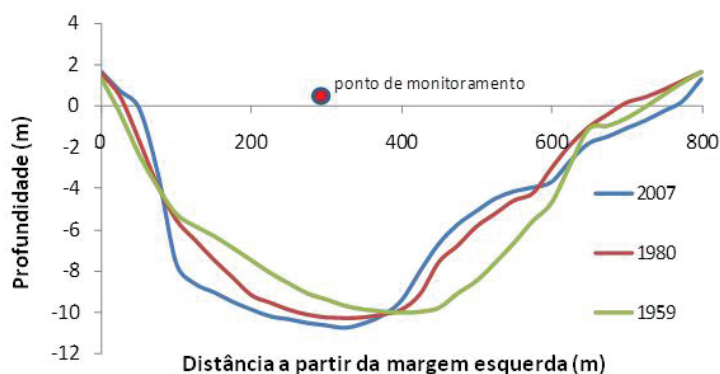


Figura 12 – Perfis batimétricos, transversais ao canal da embocadura da Baía da Ribeira (Fig. 3). A posição da estação de controle 2 (Fig. 3) está indicada pelo ponto vermelho. Devido às mudanças morfológicas ocorridas nos últimos 50 anos a seção transversal sofreu significativa alteração. Os perfis foram traçados numa seção de controle cujas margens fossem coincidentes em todos os cenários, de forma que pudessem ser comparadas apenas as variações batimétricas entre os cenários estudados.

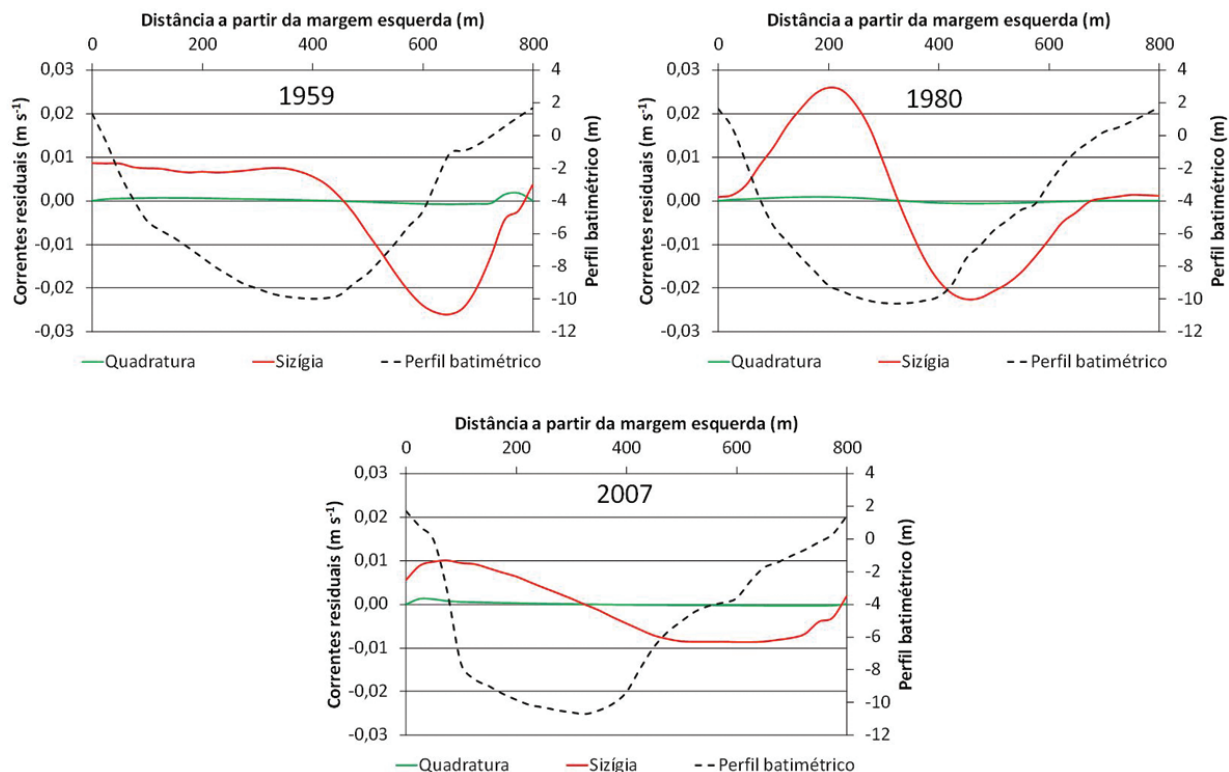


Figura 13 – Correntes residuais na embocadura da Baía da Ribeira (média de 2 ciclos consecutivos de maré). O eixo horizontal mostra a posição em relação à margem esquerda (Fig. 2). O sentido positivo indica correntes de vazante. No eixo vertical secundário está plotado o perfil batimétrico de cada cenário (linha tracejada).

redução de área, o volume da baía também foi reduzido em 44%. Após quase 50 anos de urbanização, a perda de área e volume na Baía da Ribeira acabaram sendo coincidentes.

A redução de 43% do volume e área da Baía da Ribeira resultou na diminuição de 45% do prisma de maré em relação ao

ano de 1959 sem que impactos significativos na propagação do sinal de maré. Este fato é explicado pelas pequenas dimensões e ao profundo canal de entrada, o que evita que a maré sofra distorções ou alterações de altura e fase. Outros trabalhos também mostram uma relação direta entre a redução do volume

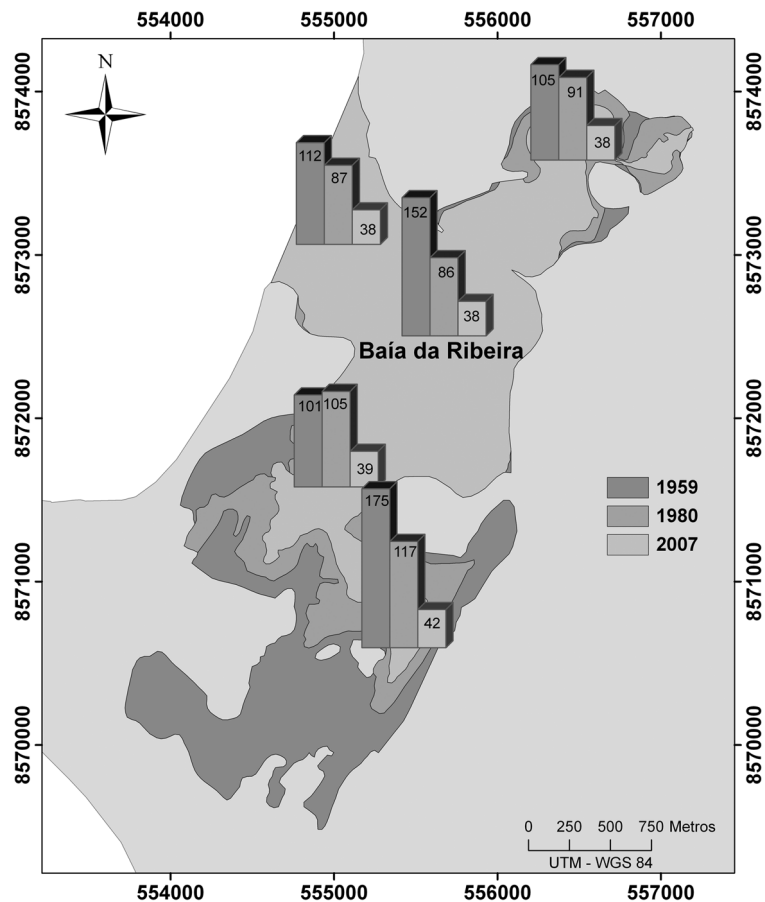


Figura 14 – Tempo de renovação em dias, para 100% de renovação das águas na Baía da Ribeira.

do corpo d'água e a diminuição do prisma de maré (Thomas et al., 2002; Bertin et al., 2005; Amano et al., 2006; Gong et al., 2008). No entanto, diferente do que ocorreu na Baía da Ribeira, Gong et al. (2008) observaram impactos significativos na propagação da onda de maré devido a aterros na laguna de Xiaohai na China (área 10 vezes maior que a da Baía da Ribeira em 2007), mostrando uma redução na amplitude da maré ao longo dos últimos anos.

Estuários com canais de maré profundos e extensas áreas intermareais tendem a gerar correntes mais intensas na vazante, enquanto estuários com canais rasos e pouca área de inundação tendem a gerar fluxos de enchente mais intensos (Dronkers, 1986). Em consonância com o modelo de Dronkers (1986), a maior área intermareal da Baía da Ribeira no cenário de 1959 favoreceu magnitudes de correntes de vazante em sizígia mais intensas (Fig. 10), sendo essa assimetria menos expressiva em 2007 devido à redução das planícies de maré. Também foi verificado que em maré de quadratura e, principalmente no período de transição de quadratura para sizígia, ocorre um domínio maior

das correntes de enchente em todos os cenários simulados, o que se deve à inundação de uma menor área do intermareais durante o ciclo de maré. Há também a possibilidade de a desigualdade diurna da maré (Figs. 4 e 11) favorecer a maior intensidade das correntes de enchente no período de transição entre quadratura e sizígia.

A estreita correspondência entre a redução nas dimensões da baía e as descargas simuladas para a embocadura da baía deve-se à estabilidade da área da seção transversal do canal entre 1959 e 2007 ($\sim 5000 \text{ m}^2$). Seria natural observar o assoreamento do canal com a redução das tensões de cisalhamento junto ao fundo (E Scoffier, 1940; Kreeke, 2004; Suprijo & Mano, 2006). Em corpos d'água estuarinos, com desembocadura protegida, como é o caso da Baía da Ribeira, a estabilidade do canal estuarino ocorre quando a relação $Ah_R \sim Q$ é verdadeira (Friedrichs, 1995), onde A é a área da seção transversal do canal, h_R é o raio hidráulico do canal e Q é a vazão máxima que flui no mesmo em condição de sizígia (Friedrichs, 1995). Em todos os cenários estudados na Baía da Ribeira observa-se que $Ah_R > Q$, ou

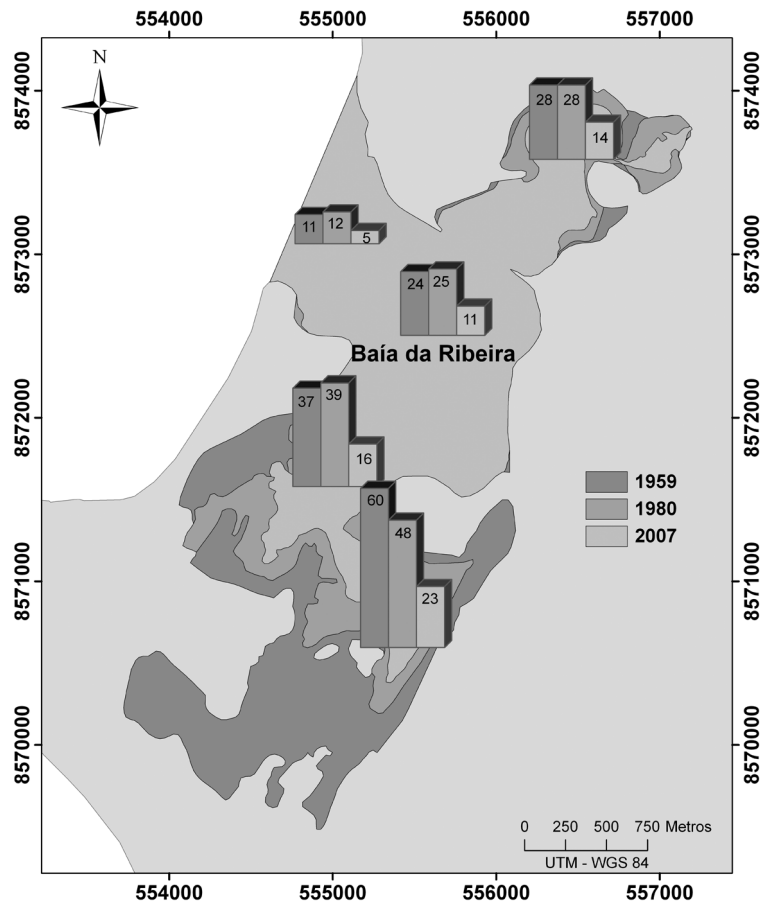


Figura 15 – Tempo de renovação em dias, para 63% de renovação das águas na Baía da Ribeira.

seja, o canal está em aparente, desequilíbrio com tendência de assoreamento da seção transversal. No entanto o que ocorreu entre 1959 e 2007 foi um aumento de 5% da área da seção, contrariando a tendência de sedimentação esperada. É provável que obras de dragagem, possam ter sido executadas na margem esquerda do canal, permitindo a preservação da área da seção entre 1959 e 2007. No entanto a falta de registros oficiais impediu a confirmação desta hipótese.

Os resultados das simulações mostram que a capacidade de renovação das águas da Baía da Ribeira foi bastante afetada em função das alterações morfológicas ocorridas ao longo dos anos. Entre 1959 e 2007 o tempo de renovação das águas sofreu significativa redução. De acordo com (Oliveira et al., 2006; Gong et al., 2008) a redução do volume de um corpo d'água, com consequente redução do prisma de maré, dificulta o processo de renovação das águas. No entanto, uma redução muito grande no volume do corpo d'água – como foi o caso da Baía da Ribeira entre 1959 e 2007 – a quantidade de água a ser renovada tornou-

se tão pequena a ponto de chegar a tempos de renovação mais curtos no cenário de 2007.

Magnitudes de velocidades de correntes calculadas com modelo o hidrodinâmico SisBaHiA (Xavier, 2002) na saída da Baía da Ribeira foram inferiores a 25 cm s^{-1} chegando a valores próximos de zero nas áreas mais internas da baía. Estes valores não diferem muito dos resultados encontrados no presente trabalho, onde a magnitude das velocidades das corrente máximas observadas foi da ordem de 22 cm s^{-1} na embocadura da baía. O tempo de renovação das águas no cenário morfológico atual também foi calculado por Xavier (2002) através da simulação de transporte lagrangeano, alcançando um resultado da ordem de 30 dias. Os resultados obtidos com o RMA2 – cerca de 40 dias para atingir 100% de renovação – estão próximos ao valor calculado por Xavier (2002). Observa-se desta forma, que apesar dos diferentes métodos de simulação, e resolução espacial, existe um bom grau de consistência entre os resultados do modelo de Xavier (2002) e o do presente trabalho.

CONCLUSÃO

Os resultados deste trabalho mostram os efeitos do aterramento das margens da Baía da Ribeira sobre a hidrodinâmica local. O aterramento causou a redução de 43% do espelho d'água da baía de 44% do seu volume. Como a dinâmica de propagação da maré dentro da baía não foi alterada, o prisma de maré decresceu linearmente com a redução da área, sendo hoje 45% inferior ao de 1959.

A diminuição do prisma de maré causou o enfraquecimento do fluxo de água na desembocadura e a remoção dos mangues favoreceu a redução da assimetria do fluxo (diminuição da magnitude da vazante frente à enchente). Por fim, as alterações morfológicas resultantes do processo de aterramento das margens da Baía da Ribeira acabaram por diminuir o tempo de renovação das suas águas.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao Núcleo de Pós-graduação em Geologia da Universidade Federal da Bahia, que permitiu a realização do presente trabalho, bem como ao CNPq pela bolsa de estudos.

REFERÊNCIAS

- ABDELRHMAN MA. 2002. Modeling how a hurricane barrier in New Bedford Harbor, Massachusetts, affects the hydrodynamics and residence times. *Estuaries and Coasts*, 25(2): 177–196.
- ABDELRHMAN MA. 2005. Simplified modeling of flushing and residence times in 42 embayments in New England, USA, with special attention to Greenwich Bay, Rhode Island. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 62(1-2): 339–351.
- AMADOR ES. 1992. Sedimentos de fundo da Baía de Guanabara – uma síntese. In: *Anais do III Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*, Rio de Janeiro, p. 199–224.
- AMANO A, IWAMOTO N, INOUE T & INOUCI Y. 2006. Seafloor environmental changes resulting from nineteenth century reclamation in Mishou Bay, Bungo Channel, Southwest Japan. *Environmental Geology*, 50(7): 989–999.
- ATWATER BF, CONARD SG, DOWDEN JN, HEDEL CW, MAC-DONALD RL & SAVAGE W. 1979. History, landforms and vegetation of the estuary's tidal marshes. *San Francisco Estuary and Watershed Archive*, 18 p.
- BARROS FC. 1977. Estudos dos Sedimentos Biogênicos das Enseadas dos Tainheiros e do Cabrito. Tese de Mestrado em Geologia / Sedimentologia, Universidade Federal da Bahia, 94 p.
- BERTIN X, CHAUMILLON E, SOTTOLICHIO A & PEDREROS R. 2005. Tidal inlet response to sediment infilling of the associated bay and possible implications of human activities: the Marennes-Oléron Bay and the Maumusson Inlet, France. *Continental Shelf Research*, 25(9): 1115–1131.
- CONDER – Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia. 2005. Projeto de Urbanização e Desenvolvimento Integral de Áreas Carentes no Estado da Bahia – Viver Melhor/BIRD. Relatório de Avaliação Ambiental, 26 p.
- CRA – Centro de Recursos Ambientais. 2001. Saneamento ambiental da Baía de Todos os Santos – Modelamento e Avaliação Ambiental. Nº RT-257-05-MA-003 RF, 109 p.
- CRA – Centro de Recursos Ambientais. 2002. Avaliação da Qualidade das Águas Costeiras Superficiais – Baía de Todos os Santos. Relatório Técnico / Avaliação Ambiental Salvador – Bahia, 15 p.
- DHN. 1958. Carta Náutica 1101. Proximidades do Porto de Salvador. Diretoria de Hidrografia e Navegação – DHN.
- DHN. 1986. Carta Náutica 1101. Proximidades do Porto de Salvador. Diretoria de Hidrografia e Navegação – DHN.
- DRONKERS J. 1986. Tidal Asymmetry and Estuarine Morphology. *Netherlands Journal of Sea Research*, 20(2-3): 117–131.
- ESCOFFIER FF. 1940. The stability of tidal inlets. *Shore and Beach*, 8(4): 114–115.
- FRANKLIN TS. 2009. A ocupação da orla da Baía da Ribeira e seus impactos sobre a hidrodinâmica local. Uma investigação através de modelagem numérica. Pós-Graduação em Geologia. Instituto de Geociências – Universidade Federal da Bahia. Dissertação de Mestrado. Disponível em: <<http://www.goat.fis.ufba.br/uploads/userfiles/224.pdf>>. 117 p.
- FRIEDRICH CT. 1995. Stability shear stress and equilibrium cross-sectional geometry of sheltered tidal channels. *Journal of Coastal Research*, 11(4): 1062–1074.
- GENZ F, CIRANO M & LESSA GC. 2010. ProcED: A MATLAB package for processing ADCP estuarine data. *Revista Brasileira de Geofísica*, 28(2): 183–192.
- GONG W, SHEN J & JIA J. 2008. The impact of human activities on the flushing properties of a semi-enclosed lagoon: Xiaohai, Hainan, China. *Marine Environmental Research*, 65(1): 62–66.
- GOOGLE. 2007. Google Earth. [Online] Disponível em: <www.earth.google.com>. Acesso em: 13 maio 2007.
- JIANG Y, KIRKMAN H & HUA A. 2001. Megacity development: managing impacts on marine environments. *Ocean & Coastal Management*, 44(5-6): 293–318.
- JOUON A, DOUILLET P, OUILLOON S & FRAUNIE P. 2006. Calculations of hydrodynamic time parameters in a semi-opened coastal zone using a 3D hydrodynamic model. *Continental Shelf Research*, 26(12-13): 1395–1415.

- KING IP. 1990. Program Documentation – RMA2 – A Two Dimensional Finite Element Model for Flow in Estuaries and Streams. Lafayette: Resource Management Associates, p. 296.
- KING IP, DONNELL BP, LETTER JV, McANALLY WH & THOMAS WA. 2005. Users Guide to RMA2 WES Version 4.5. Valhalla: Environmental Modeling Research Laboratory, p. 284.
- KREEKE J. 2004. Equilibrium and cross-sectional stability of tidal inlets: application to the Frisian Inlet before and after basin reduction. *Coastal Engineering*, 51(5-6): 337–350.
- MONSEN NE, CLOERN JE, LUCAS LV & MONISMITH SG. 2002. A comment on the use of flushing time, residence time and age as transport time scales. *Limnology and Oceanography*, 47(5): 1545–1553.
- NORTON WR, KING IP & ORLOB GT. 1973. A Finite Element Model for Lower Granite Reservoir. Walla: Walla Walla District. U.S. Army Corps of Engineers, p. 621–639.
- OLIVEIRA A, FORTUNATO AB & REGO JRL. 2006. Effect of morphological changes on the hydrodynamics and flushing properties of the Óbidos lagoon (Portugal). *Continental Shelf Research*, 26(8): 917–942.
- PENDÓN JG, MORALES JA, BORREGO J, JIMENEZ I & LOPEZ M. 1998. Evolution of estuarine facies in a tidal channel environment, SW Spain: evidence for a change from tide- to wave-domination. *Marine Geology*, 147(1-4): 43–62.
- SUPRIJO T & MANO A. 2006. Maximum flow velocity in equilibrium tidal inlets. *Journal of Coastal Research*, SI 39 (Proceedings of the 8th International Coastal Symposium). Itajaí, SC, Brazil, p. 406–409.
- THOMAS CG, SPEARMAN JR & TURNBULL MJ. 2002. Historical morphological change in the Mersey Estuary. *Continental Shelf Research*, 22(11-13): 1775–1794.
- TÖNIS IE, STAM JMT & VAN DE GRAAF J. 2002. Morphological changes of the Haringvliet estuary after closure in 1970. *Coastal Engineering*, 44(3): 191–203.
- VAN DER WAL D, PYE K & NEAL A. 2002. Long-term morphological change in the Ribble estuary, Northwest England. *Marine Geology*, 189(3-4): 249–266.
- WANG ZB, JEUKEN M, GERRITSEN H, DE VRIEND HJ & KORNMAN BA. 2002. Morphology and asymmetry of the vertical tide in the Westerschelde estuary. *Continental Shelf Research*, 22(17): 2599–2609.
- WOLANSKI E, MOORE K, SPAGNOL S, D'ADAMO N & PATTIARATCHI C. 2001. Rapid, Human-Induced Siltation of the Macro-Tidal Ord River Estuary, Western Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 53(5): 717–732.
- WOLFF WJ. 1992. The End of a Tradition: 1000 Years of Embankment and Reclamation of Wetlands in the Netherlands. *Ambio*, 21(4): 287–291.
- XAVIER AG. 2002. Análise da Hidrodinâmica da Baía de Todos os Santos – BA. (COPPE/UFRJ, D.Sc, Engenharia Oceânica, 2002) Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 222 p.

NOTAS SOBRE OS AUTORES

Taoan Silva Franklin. Graduado em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal da Bahia (2006) e Mestre em Geologia Costeira pela Universidade Federal da Bahia (2009). Estudante de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica da Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE – UFRJ.

Guilherme Camargo Lessa. Graduado em Geografia pela Universidade Federal de Minas Gerais (1985) e Mestre em Geografia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Doutor em Ciências Marinhas pela Universidade de Sydney (1994). Pós-Doutorado pela Universidade Federal do Paraná, Universidade Federal da Bahia e Universidade da Califórnia – Berkeley. Professor Adjunto IV da Universidade Federal da Bahia desde 1997.