

LEVANTAMENTO HIDROGRÁFICO DA REGIÃO ESTUARINA DO RIO JAGUARIBE(NE-BRASIL) ENTRE OS ANOS DE 2004 E 2009.

Bezerra, L.J. C.¹; Dias, F.J.S.^{1,2}; Godoy, M.D.P.¹; Lacerda, L.D.¹ e Maia, L.P.¹

¹ Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR –UFC.
E-mail: budageologia@yahoo.com.br
Instituto Oceanográfico – IO – USP.

RESUMO

Durante os períodos de grandes descargas fluviais, a morfologia de fundo do estuário do rio Jaguaribe é fortemente modificada, resultando em um aumento de 50% nas profundidades localizadas na zona de mistura. Associado a este padrão, observou-se um aumento horizontal das deposições na zona de maré do rio, criando novas áreas de sedimentação. Este padrão mostra a necessidade do constante monitoramento do padrão deposicional em rios localizados no semi-árido nordestino.

INTRODUÇÃO

É crescente a necessidade de se estabelecer, como os estuários tropicais respondem às mudanças no uso e ocupação das terras na bacia de drenagem e ao desenvolvimento das diversas atividades antrópicas, tais como; agricultura e fruticultura irrigadas, construção de sucessivos barramentos nas bacias de drenagem visando o aumento da disponibilidade hídrica local, pólos industriais e a aqüicultura. Estes barramentos minimizam o aporte de sedimentos para a região costeira adjacente em época de pequena descarga fluvial, enquanto que em períodos de grandes deflúvios, os sedimentos são carreados e depositados no canal estuarino, modificando normalmente a morfologia dos estuários e da zona costeira adjacente. LACERDA *et al.* (2010) em estudo realizado no estuário do Rio Jaguaribe, observaram um aumento de 25 hectares na Ilha do Pinto, localizada no estuário médio, entre os anos de 1988 e 2008.

O objetivo deste trabalho foi caracterizar a variação morfológica do canal de navegação

do estuarino do rio Jaguaribe entre dois períodos de forte descarga fluvial, 2004 e 2009, a fim de se verificar a presença de áreas de deposição e/ou erosão, provenientes de eventos desta magnitude.

MATERIAS E MÉTODOS

A aquisição de dados de profundidade através do uso técnicas batimétricas é cada vez mais aplicada ao estudo da morfometria de corpos d'água costeiros e interiores. Este tipo de levantamento consiste em uma amostragem combinada dos valores de profundidade e do posicionamento através do uso de GPS (Sistema de Posicionamento Global). As medidas foram realizadas com o uso de uma ecossonda GARMIN® modelo GPSMAP 520s, com frequência de 200 kHz e capaz de detectar profundidades entre 0,5 e 500 metros, apresentando precisão de 0,1 m. O intervalo amostral foi de 1 segundo e as profundidades foram calculadas através da diferença entre o tempo emissão e recepção do pulso. O exato posicionamento da embarcação durante a

aquisição de dados foi realizado com auxílio de um GPS, configurado com o mesmo intervalo amostral do eco-batímetro. A escala adotada para o levantamento foi a de 1:10.000, com objetivo de um levantamento de detalhe. A disposição das linhas de sondagem tiveram sentido orientado segundo o eixo cartesiano ortogonal (Oxy), segundo MIRANDA *et al.* (2002), o que permitiu uma aproximação exata da declividade do fundo estuarino e um melhor traçado das isobatimétricas (linhas de mesma profundidade).

Em ambientes onde existe marcada influência da oscilação do nível médio do mar, por exemplo, os estuários, faz-se necessário a redução (correção) das profundidades adquiridas *in situ* em relação a variação da maré durante o período do levantamento (DHN). Para o cálculo da redução de maré foram usados os valores máximos e mínimos contidos na tábua de maré que estão inseridos no período amostral. Partindo da redução da maré, elaborou-se uma curva harmônica da maré, onde foi retirado um polinômio que melhor se adequou aos pontos da curva. Este polinômio foi aplicado aos dados obtidos em campo para a obtenção das novas profundidades, corrigidas em relação à variação da maré. O presente levantamento batimétrico levou em consideração áreas passíveis de navegação, como gamboas e pequenos canais. As porções emersas e adjacentes foram consideradas como cotas de 0,3 metros, sendo este o limite de detecção do transdutor.

Para o conjunto de dados de profundidade, foi realizada uma interpolação linear, através de um método geoestatístico denominado de krigagem. Esta técnica assume que o conjunto de dados de uma determinada população se correlacionou no espaço, podendo

ser linear e não-linear. De modo geral, a Krigagem é usada na identificação de padrões espaciais da superfície terrestre, determinando a existência de autocorrelação espacial entre dados obtidos. Diante do acima exposto, a função mais utilizada para representar os padrões espaciais é o semi-variograma, que é uma descrição matemática entre a máxima variância das observações (pontos) com a distância horizontal que separam as mesmas (h). Ou seja, a autocorrelação espacial é comumente usada na estimativa de profundidade para os pontos não amostrados, que no jargão oceanográfico é conhecido como: *Procedimento de Inferência*.

Os trabalhos de campo foram realizados em duas campanhas, dezembro de 2004 e novembro de 2009, épocas caracterizadas por períodos posteriores a grandes descargas fluviais. Durante os levantamentos batimétricos, foram obtidos entre 24 e 32 mil pontos de profundidade no canal estuarino do rio Jaguaribe (CE), para a região compreendida entre a foz do rio e a cidade de Aracati (distante 20 km da foz), com um espaçamento horizontal médio de 200 metros entre perfis. Para a confecção da grade de interpolação e conseqüente obtenção dos contornos batimétricos, foi usado o software "SURFER® 8.0".

Para o cálculo dos processos erosivos e/ou deposicionais das margens do estuário, foram utilizadas imagens dos satélites Landsat 5 e Kompsat 2, com resoluções de 30 m e 1 m, respectivamente. A projeção cartográfica utilizada foi a UTM com o *datum* horizontal WGS 84. O cálculo do acúmulo e/ou perda de sedimentos nas margens do rio foi realizada com auxílio da ferramenta de distância do software ArcGis 9.2.

O Rio Jaguaribe (CE) deságua no Atlântico equatorial, em região caracterizada por praias arenosas com grandes campos de dunas que são movimentadas por ventos constantes (Figura 1). Em todo o seu curso, o rio percorre uma extensão de 633 Km, drenando uma área de 72.043 Km² até desaguar no oceano. Possui uma grande rede de drenagem, da qual fazem

parte os rios Banabuiú e Salgado, tendo 87% do seu fluxo normal controlado por sucessivos barramentos (Campos *et al.*, 1979). A discussão foi convencionada na área de atuação da zona de maré do rio (ZR), zona de mistura estuarina (ZM) e zona costeira (ZC), segundo critérios de MIRANDA *et al.* (2002) e descritos por DIAS (2005) e DIAS *et al.* (2007).

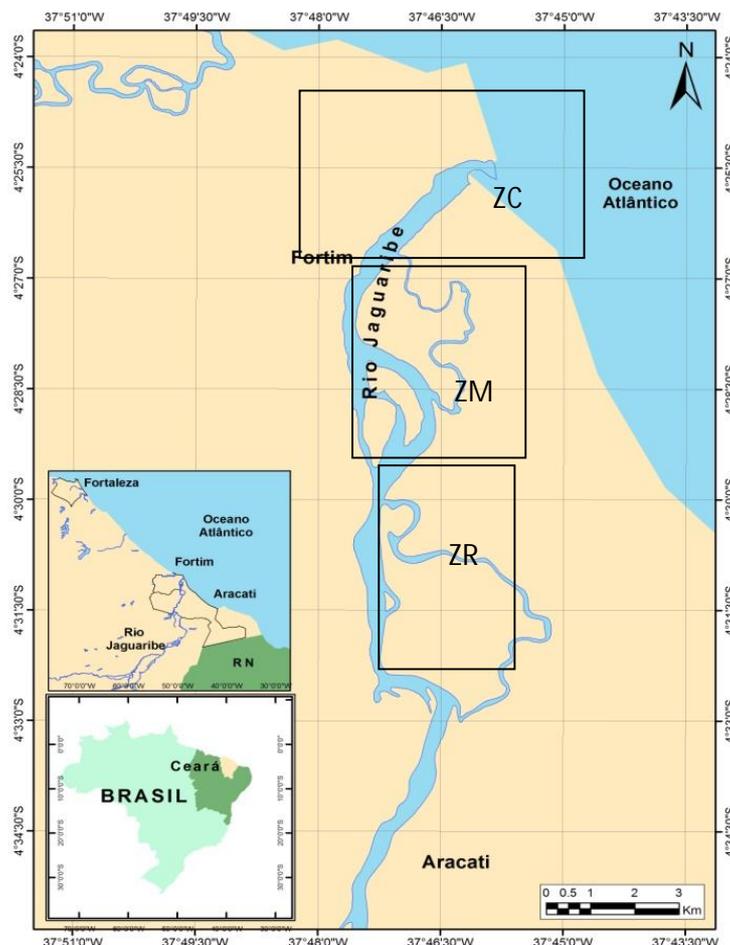


Figura 1 – Mapa de localização do Rio Jaguaribe. As áreas retangulares em preto fazem referência as zonas, ZR (zona de maré do rio), ZM (zona de mistura estuarina) e ZC (zona costeira).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As variações batimétricas entre 2004 e 2009 podem ser observadas na figura 2. As profundidades observadas na ZR em 2004, variaram entre 1 e 5 m de profundidade, onde na maior parte desta região, observou-se profundidades médias na ordem de 2m. As maiores profundidades foram observadas nas

proximidades de 4° 32' 25" S e 37° 47' 00" W, onde podemos observar uma curva acentuada, associada a uma redução de largura do canal, o que normalmente proporciona um ganho de velocidade no escoamento, que por sua vez tem maior competência em transportar materiais depositados preteritamente. Para o ano de 2009,

este comportamento foi mantido e intensificado, onde as profundidades variaram entre 1 e 7,5 m, mostrando um aumento na profundidade local nesta região, devido, muito provavelmente, a uma maior capacidade de erosão e transporte entre os anos de 2004 e 2009.

Para a região da ZM as profundidades variaram entre 1 e 4 e de 1 a 6,8 m para os anos de 2004 e 2009, respectivamente. Ao compararmos as regiões, podemos observar um aumento das profundidades na margem esquerda do canal estuarino, na região 4° 30' 00" S e 37° 47' 10" W, para o ano de 2009. A região onde foram observadas as maiores profundidades para o ano de 2009, aumentou quando comparada a mesma região para o ano de 2004. O aumento destas cotas tende a um maior transporte de material pra zona costeira adjacente, nos períodos de maior descarga de água doce, onde o material transportado é basicamente retirado das encostas do rio. Nos períodos de maior descarga fluvial, são observadas as maiores vazões oriundas da bacia de drenagem para o sistema estuarino DIAS *et al.* (2009), gerando um maior transporte de materiais (DIAS *et al.*, 2008), o que aumenta as profundidades na ZR e ZM. Para a ZC as velocidades de enchente nos períodos de menor descarga fluvial, contribuem de forma

significativa nos processos erosão/deposição do canal estuarino do rio Jaguaribe, o que muda constantemente a morfologia do canal de navegação, prejudicando a navegabilidade desta região. Este comportamento foi observado por (MARINS & DIAS, 2003), onde os autores mostraram uma ressuspensão de sedimentos de fundo para a ZC, corroborando o padrão observado neste trabalho. O retrabalhamento dos grãos de origem continental e marinha, foram observadas por (BEZERRA *et al.* 2007), corroborando com o padrão erosão/deposição encontrados neste estudo, o que demonstra a importância deste tipo de monitoramento.

Ao analisarmos a variação temporal da margem direita na região da ZR (4° 32' 30" S e 37° 46' 30"), observa-se uma intensificação dos processos erosão/deposição, o que gerou uma redução da margem em aproximadamente 100 m, entre os anos de 1988 e 2008, o que corrobora com os dados observados na batimetria. Entretanto, LACERDA *et al.* (2010) mostraram em seu estudo um engordamento das ilhas localizadas na ZM, o que muito provavelmente, se deve ao acúmulo de sedimento erodido e transportado das margens da ZR e depositados naquela região, como pode ser observado na figura 3.

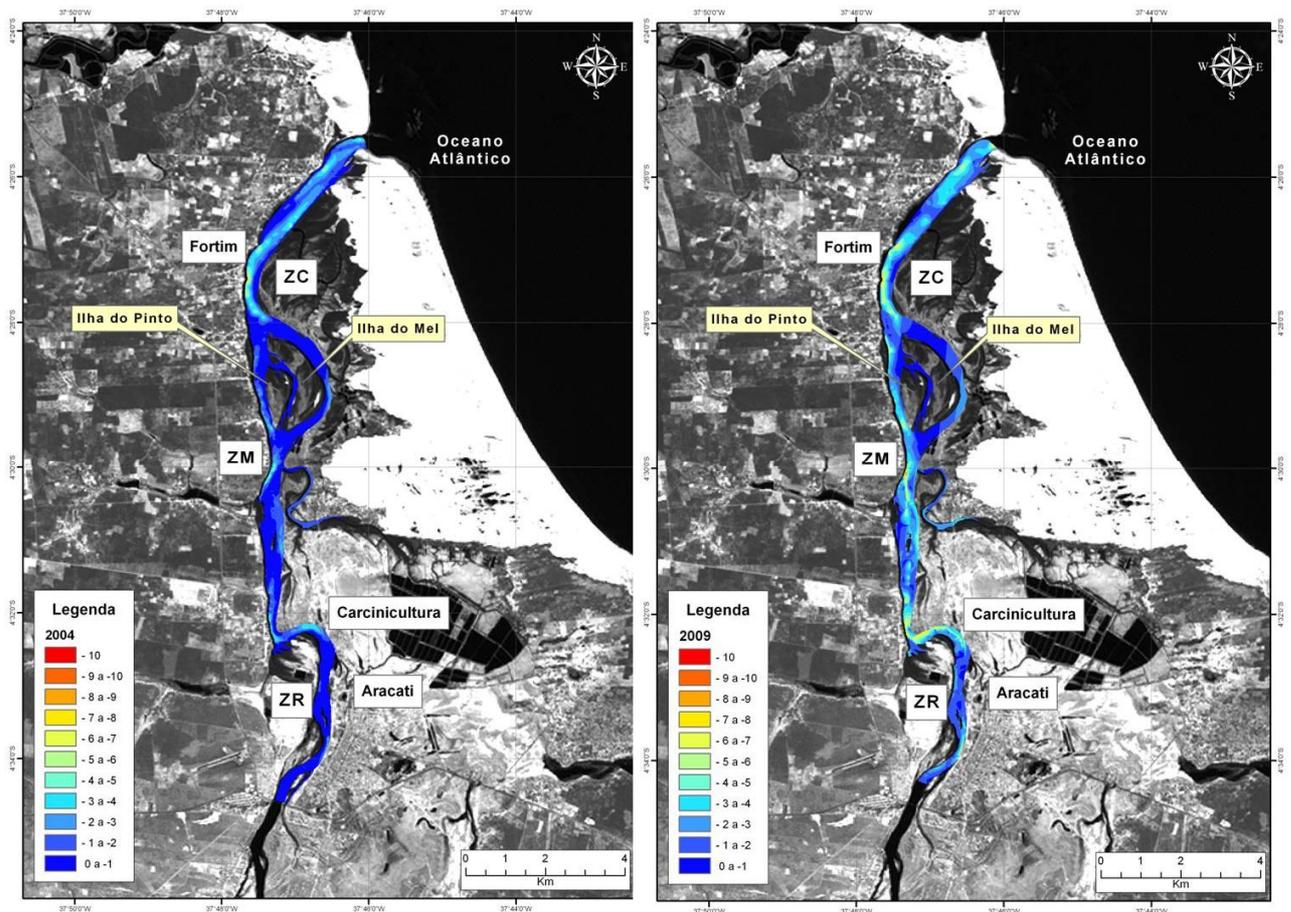


Figura 2 – Variação morfológica de fundo do estuário do Rio Jaguaribe entre os anos de 2004 (á esquerda) e 2009 (á direita), períodos de grandes descargas fluviais para o sistema estuarino.

CONCLUSOES

Podemos observar que as maiores profundidades foram encontradas na margem esquerda do canal de navegação do estuário, variando entre 1 e 6,8 m, mostrando que esta é a região de escoamento preferencial. Em uma análise comparativa entre os mapas batimétricos obtidos entre 2004 e 2009, observou-se um aumento das profundidades locais na ordem de 50%, demonstrando que períodos de grandes descargas fluviais tendem a retrabalhar o canal de navegação na ZR e ZM, enquanto que a ação continuada da maré é a maior responsável pelo constante retrabalhamento do canal na ZC.

O processo erosivo observado na ZR (4° 32' 30" S e 37° 46' 30") e o aumento horizontal da Ilha do Pinto relatadas por LACERDA *et al.* (2010) na ZM, evidenciam a complexidade do padrão de circulação no estuário do Rio Jaguaribe (CE), mostrando a necessidade do constante monitoramento da variação da profundidade local, marés, correntes, vazões e do transporte de materiais, oriundos da bacia de drenagem para o estuário.

A constante modificação do canal de navegação, após eventos de grandes descargas fluviais, dificulta de forma significativa a navegabilidade neste ambiente, o que torna em

muitas regiões do estuário, a navegação impraticável.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Transferência de Matérias

Continente-Oceano (CNPq INCT – TMCOcean processo 573.601/2008-9), e a CAPES através dos projetos Ciências do Mar e Amazônia Azul pelas bolsas de mestrado e doutorado concedida aos autores.

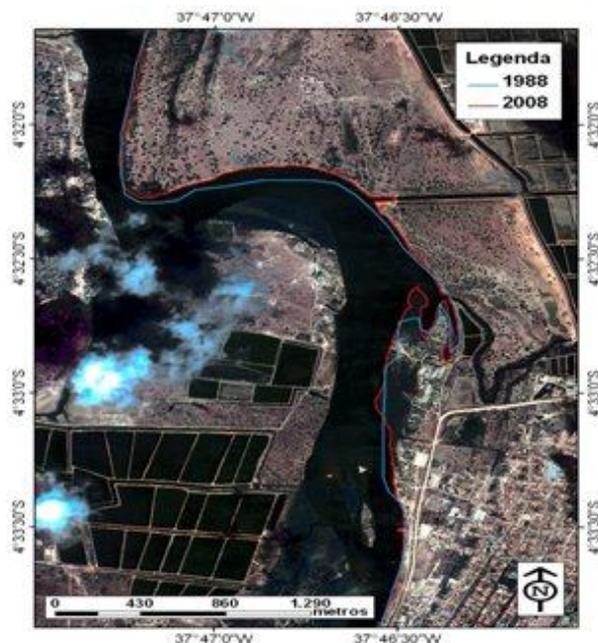


Figura 3: Processos erosivos na margem direita do estuário do rio Jaguaribe entre os anos de 1988 e 2008, demonstrando a variação constante da morfologia das margens na ZR.

REFERENCIAS

- BEZERRA, L. J. C. ; MAIA, L. P ; DIAS, F. J. S. ; GASTAO, F. G. ; COSTA, B. G. B. 2007. Sedimentologia da zona estuarina do rio Jaguaribe - Ceará – Brasil. *In: XII congresso latino americano de ciências do mar, 2007, Florianópolis. Anais do XII congresso latino americano de ciências do mar, 2007.*
- CAMPOS, M.; BRAGA, A. P. G.; MELLO, A. A.; SOUZA, E. M.; SILVA, F.A. F.; FRANÇA, J. B. 1979. Projeto Rio Jaguaribe, estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba: relatório final de geologia. Brasília: DNPM.149 p.
- DIAS, F. J. S. ; CASTRO, B. M. ; LACERDA, L. D. 2010. Variability of water masses in the Jaguaribe River plume (Northeastern-Brazil). *In: 2010 The Meeting of the Americas, 2010, Foz do Iguaçu. Abstracts 2010 The Meeting of the Americas, 2010.*
- DIAS, F. J. S. ; Marins, R.V. ; MAIA, L. P. 2008. Descargas de material particulado em suspensão para o estuário do rio Jaguaribe (CE). *In: III Congresso Brasileiro de Oceanografia & Congresso Íbero-Americano de Oceanografia, 2008, Fortaleza. Anais do III Congresso Brasileiro de Oceanografia & Congresso Íbero-Americano de Ocean*
- DIAS, F. J. S. ; Marins, R.V. ; MAIA, L. P. 2009 . Hydrology of a well-mixed estuary at the semi-arid NE Brazilian coast. *Acta Limnologica Brasiliensia, v. 21, p. 377-385, 2009.*
- DIAS, F. J. S. ; Marins, R.V. ; MAIA, L. P. 2007. Dependência do tempo de residência da água no estuário do rio Jaguaribe (NE, Brasil), em relação à entradas de águas marinhas e a descarga de água doce.. *In: Congresso Latino Americano de Ciências do Mar. Florianópolis. Anais do Congresso Latino Americano de Ciências do Mar, 2007. v. Único. p. 390.*

- LACERDA, L. D. 2005. Estimativas de carga de nitrogênio, fósforo e metais pesados de interesse ambiental para as bacias inferiores do litoral do estado do Ceará. Relatório técnico. *In*: Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) da Zona Costeira do Estado do Ceará. Semace/Labomar.
- LACERDA, L. D.; GODOY, M. D. P.; MAIA, L.P. 2010. Mudanças Climáticas Globais: Caçando Indicadores no Nordeste Brasileiro. *Ciência Hoje*, Vol.46, 272, p. 32 – 37.
- MARINS, R. V.; DIAS, F. J. S. 2003. Alterações na Hidrogeoquímica do Estuário do rio Jaguaribe(CE): Descarga ou Retenção de Materiais.. *In*: IX congresso Brasileiro de Geoquímica, 2003, Belém/ Para.. Anais do IX congresso Brasileiro de geoquímica, 2003. v. único. p. 1-783.
- MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. 2002. Princípios de oceanografia física de estuários. São Paulo: Edusp. 417 p.