



Modelagem 3-D e 2-D do Rio Caeté (Norte do Brasil) a partir de dados de batimetria

Pedro Chira Oliva¹, João Carlos R. Cruz², Anderson A. da Silva³

^{1,3} Institute of Coastal Studies (IECOS-UFPA, Brazil), e-mail: chira@ufpa.br, andre_ep05@yahoo.com.br

² Geosciences Institute (IG-UFPA, Brazil), e-mail: jcarlos@ufpa.br

Copyright 2011, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 15-18, 2011.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

The Caeté River estuary is inserted within the Bragança coastal plain (Northeastern Brazilian Amazon). It is cut by some canals of tides, whose dynamics is mainly influenced by the semidiurnal tides and the rainfall. It is the third estuary in economic importance of resources fishing boats in the Northeastern of the state of Pará. The situation of this estuary is influenced by several impact factors (e.g. silting of the river by unloading of solid and industrial residues in the stream bed of river, and other waste proceeding from fishing boats). The landscape of the Caeté River is seriously affected by anthropologic disturbances, that in the near future can be highly disturbing factors of the ecological balance of the region, reflecting itself directly in the quality of life of the most of inhabitants. In fact, the silting process of the river already starts to impact directly the capacity of draining of production of some living marginal communities of the edges of the Caeté River. In this work a bathymetric study of the Caeté River was carried through according to two types of tides (flood and ebb). The bathymetry results were presented using 2-D and 3-D modeling. This river presents spatial variations throughout its path and depths. The path of river is not necessarily right away, presenting sinuosity. It was very evidenced indications of silting in some parts of the river.

Introdução

O litoral amazônico é considerado dentre os mais preservados e mais produtivos da zona costeira brasileira. A região Nordeste do Pará é a área de ocupação mais antiga do estado, estando entre as áreas mais impactadas pela ação humana do litoral amazônico.

No Nordeste do Pará, os ambientes costeiros são dominados por sistemas de macromarés. Os fatores geomorfológicos dominantes usualmente consistem de planícies de marés lamosas (manguezais) com estuários, baixios, pântanos salinos, cheniers, dunas, praias e outros tipos de depósitos (Silva, 1996; Souza Filho e El-Robrini, 1996).

A Planície Costeira Bragantina, no nordeste do Estado do Pará, estende-se desde a Ponta do Maiaú até o estuário do Rio Caeté. Está inserida em uma costa transgressiva dominada por macromarés, cuja

compartimentação geomorfológica apresenta três domínios (Souza Filho, 1995): (1) Planície Aluvial, com canal fluvial, diques marginais e planície de inundação; (2) Planície Estuarina, com um canal estuarino subdividido em funil estuarino, segmento reto, segmento meandrante, canal de curso superior, canal de maré, e planície de inundação; e (3) Planície Costeira, com os ambientes de pântanos salinos (interno e externo), planície de maré (manguezais de supramaré e intermaré) e planície arenosa com baixios de maré, cheniers, dunas costeiras e praias (Souza Filho, 2001; Souza Filho e El-Robrini, 2000).

A região bragantina, pelas suas características geográficas e pelos impactos gerados através das atividades do turismo, agricultura e pesca, é considerada uma área de alto risco ambiental (Ministério do Meio Ambiente, 1996). Esta região faz parte do litoral amazônico que se estende desde a foz do Oiapoque (Amapá) à parte oriental do Maranhão, região caracterizada por um alto índice pluviométrico e temperaturas elevadas. Está situado a cerca de 200 km sudeste da foz do estuário amazônico, relativamente próximo à cidade de Bragança, situado na planície costeira bragantina na porção nordeste do estado.

A paisagem do Rio Caeté está seriamente exposta à perturbações antrópicas, que a médio prazo podem ser fatores altamente perturbadores do equilíbrio ecológico da região, refletindo-se diretamente na qualidade de vida dos diferentes usuários dos recursos hídricos. Este cenário indica, por um lado, a fragilidade das iniciativas com sucesso prático para promover a utilização racional dos recursos hídricos, e por outro, alerta para a necessidade urgente de intervenções científicas-sócio-políticas para minimizar os impactos e disparar um processo indutor de conscientização ambiental na região, e assim manter em níveis sustentáveis os recursos hídricos do Caeté.

A sede municipal de Bragança descarrega uma grande quantidade de resíduos sólidos e industriais no leito do Caeté, e como a economia local é principalmente baseada na atividade pesqueira, os barcos de pesca, durante sua manutenção também contribuem para o impacto antrópico sobre o Caeté, despejando lixo diversos. O assoreamento do rio já começa a interferir diretamente na capacidade de escoamento da produção de algumas comunidades ribeirinhas moradoras das margens do Caeté (Obs. *In loco*; relatos de usuários locais).

O propósito deste trabalho é realizar um estudo batimétrico do Rio Caeté considerando os dois tipos de marés (enchente e vazante). Este estudo será apresentado através da modelagem bidimensional (2-D) e tridimensional (3-D), para posterior análise de

existência de indícios de assoreamento no rio, segundo relatos dos usuários locais que moram às proximidades do mesmo.

ÁREA DE ESTUDO

Localização

A área de coleta considerada para o estudo do rio Caeté corresponde ao percurso desde Bragança até o furo do Taicí (Figura 1).

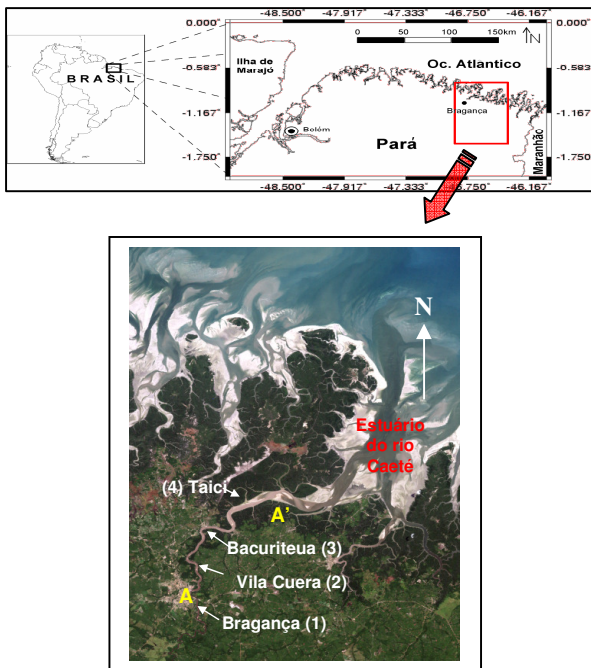


Figura 1 - Imagem de satélite da Região Bragançina mostrando o estuário do Rio Caeté (Imagem Landsat - Composição Colorida - RGB, seca - disponibilizada pelo LAIT - Instituto de Geociências - UFPA). As coletas foram realizadas segundo o percurso AA'.

A área de estudo faz parte da região costeira bragançina (NE do estado do Pará), situada no litoral amazônico oriental. Este litoral apresenta 40 km de linha de costa estendendo-se desde a Ponta do Maiaú até o estuário do Rio Caeté (Souza Filho, 2001).

O estuário do Rio Caeté é recortado por vários canais de marés, cuja dinâmica é influenciada principalmente pelas marés semidiurnas e pela pluviosidade, responsáveis em grande parte pela variabilidade temporal e espacial de fatores como salinidade e concentrações de nutrientes, por exemplo.

Clima

O clima na região é equatorial quente e úmido, de acordo com a classificação de Köppen (temperatura média do ar, 25,7 °C). Em geral, o período seco é de agosto a dezembro, enquanto o chuvoso é de janeiro a julho. A precipitação anual excede 2,545 mm (Barletta et al., 2005).

Geologia da Área de Estudo

A região de Bragança, onde se localiza a área de estudo, foi desenvolvida sobre o depósito neógeno do Grupo Barreiras e da Formação Pirabas.

Tais depósitos estão constituindo as plataformas costeiras do norte do Brasil, com falésias inativas e ativas na planície costeira (Souza Filho e El-Robrini, 2000).

Apesar de existir uma extensa área de manguezal, na parte estuarina existem grandes áreas de planícies de marés e praias arenosas.

Os manguezais são dominados superficialmente por sedimentos finos, as areias que predominam nesta região são claramente mais abundantes no pacote holocênico como um todo (Souza Filho et al., 2005). São geralmente predominantes no estuário frações de areia muito finas e são significativos os teores de silte e argila.

Regime de Marés

O estuário do Rio Caeté apresenta cerca de 40 km de comprimento - desde a cidade de Bragança até a desembocadura do rio - e extensão de 10 km na porção próxima ao oceano (Camargo e Isaac, 1998). Este estuário tem aproximadamente 50% de sua área coberta por uma floresta de manguezal (Koch, 1999). É uma costa dominada por macro-marés semi-diurnas e pela pluviosidade, responsáveis em grande parte pela variabilidade temporal e espacial de fatores como salinidade e concentrações de nutrientes, por exemplo, com amplitudes de maré de 3 a 5 m (Wolff et al., 2000; Bastos et al., 2001) e a velocidade da corrente pode ser tão alta quanto 1,5 m/s durante as marés de sizígia (Cohen et al., 1999).

PROCEDIMENTO E MÉTODOS

Para a realização das coletas de dados referentes às coordenadas geográficas, utilizou-se um GPS (Global Position System), e para os dados de profundidade dos pontos coletados, um Ecobatímetro.

Para se obter a configuração espacial do Rio Caeté os dados utilizados foram os de batimetria, que foi realizada a bordo de uma pequena embarcação (caico).

A metodologia de estudo aplicada compreende as seguintes etapas:

- Amostragem dos Dados,
- Processamento de Dados,
- Análise de Dados,
- Modelagem,
- Construção e comparação entre os perfis (longitudinais e transversais) correspondente aos anos 2008 e 2009.

Amostragem dos Dados

Para a amostragem dos dados foi definida uma malha geográfica de pontos de coleta para o levantamento das coordenadas geográficas (longitude e latitude), e suas respectivas cotas de profundidade na área de estudo. As coletas de dados foram realizadas sempre na lua cheia de cada mês, juntamente obedecendo ao regime de maré (sizígia).

O procedimento de coleta de dados realizou-se nos períodos seco (agosto-dezembro) e chuvoso (janeiro-julho), na região bragançina. Foram considerados os dois tipos de marés: maré baixa e maré alta correspondendo à

área amostrada (Figura 1). O percurso considerado para a coleta ficou compreendido entre Bragança-Taicí.

Processamento de Dados

As coordenadas geográficas dos dados amostrados, por questão de plotagem, foram convertidas para coordenadas UTM (Universal Transverse de Mercator). Esta conversão foi realizada utilizando o programa de conversão de Coordenadas DICAM do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) - Pará.

Análise dos Dados

A partir dos dados coletados, foi realizada uma análise geostatística para interpretar as tendências espaciais do Rio Caeté, e estimar pontos de dados desconhecidos ou não amostrados devido a uma série de fatores (ex. falta de acessibilidade, perda de informação, etc). Esta parte do trabalho foi realizada usando o software GOCAD (Geological Object Computer Aided Desing, consórcio GOCAD-França).

Modelagem

Para realizar o estudo batimétrico do Rio Caeté foi construído um modelo 3-D que representa a sua forma geométrica ao longo de todo o percurso, a partir das amostras coletadas na área de estudo após seu respectivo tratamento. Para esta modelagem foi considerado o software GOCAD. As etapas para a respectiva modelagem são:

1. Importar as amostras da área de estudo previamente tratadas.
2. Determinar os limites (neste caso curvas) a partir do conjunto de pontos digitalizados (etapa 1).
3. Realizar os ajustes geométricos globais e locais para as etapas anteriores.
4. Construir a superfície ou superfícies correspondentes às etapas anteriores.
5. Elaborar as seções longitudinais e transversais ao longo do rio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a coleta e processamento dos dados, o leito do rio Caeté foi modelado para os períodos de verão e inverno segundo as marés enchente e vazante durante os anos de 2008 e 2009. Podemos visualizar a modelagem 3-D da batimetria nas Figuras 2 a 5.

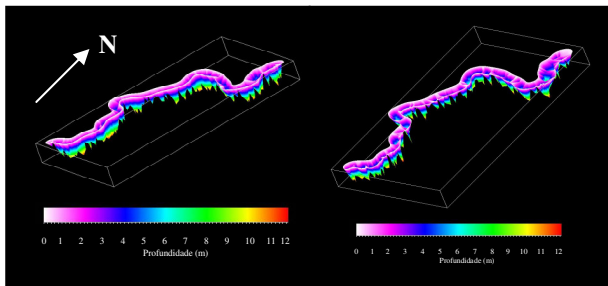


Figura 2. Visualização 3-D da batimetria realizada no Rio Caeté durante a vazante (esquerda) e enchente (direita) no período de verão de 2008.

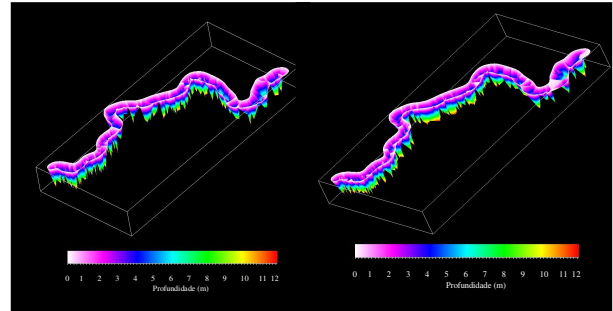


Figura 3. Visualização 3-D da batimetria realizada no Rio Caeté durante a vazante (esquerda) e enchente (direita) no período de inverno de 2008.

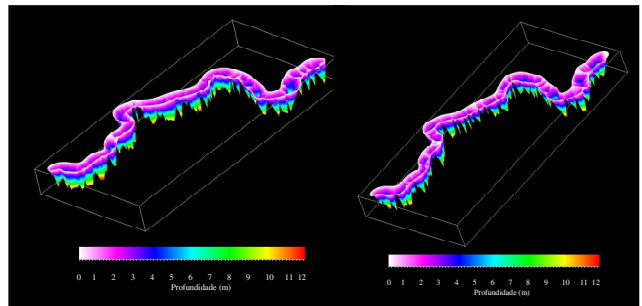


Figura 4. Visualização 3-D da batimetria realizada no Rio Caeté durante a vazante (esquerda) e enchente (direita) no período de verão de 2009.

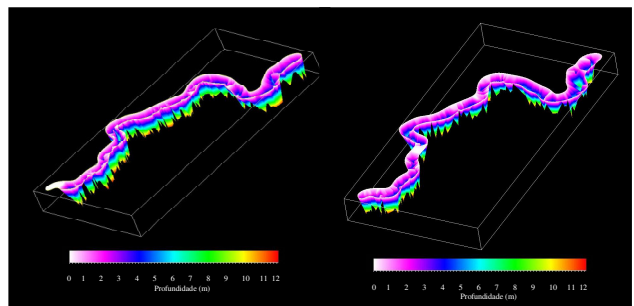


Figura 5. Visualização 3-D da batimetria realizada no Rio Caeté durante a vazante (esquerda) e enchente (direita) no período de inverno de 2009.

Foram comparados os diversos perfis longitudinais (Tabela 1) correspondentes aos dois tipos de marés (vazante e enchente), na estação do verão durante os anos 2008 e 2009. Estes perfis foram gerados a partir de seções longitudinais dos modelos 3-D do rio Caeté (Figuras 2 à 5). Isto foi realizado com a finalidade de verificar a existência de assoreamento ao longo dos diversos percursos do referido rio.

Tabela 1: Verão 2008 e 2009

PERCURSOS DO RIO	Vazante-Verão	Enchente-Verão
Bragança-Vila Cuera	Indícios de assoreamento na maioria de seus trechos	Indícios de assoreamento em alguns trechos
Vila Cuera-Bcuriteua	Indícios de assoreamento em alguns trechos	Em geral, alguns indícios de assoreamento.
Bacuriteua-Taicí	Menos evidente a presença de assoreamento	Indícios de assoreamento em alguns trechos

Com a finalidade de verificar os resultados anteriores das comparações entre os perfis longitudinais, foram construídos alguns perfis transversais (Figuras 6 até 10), nas partes de maiores sinuosidades do rio, pois nestes locais ocorrem as principais mudanças de profundidade. Os pontos de cada perfil correspondem aos dados adquiridos através da batimetria.

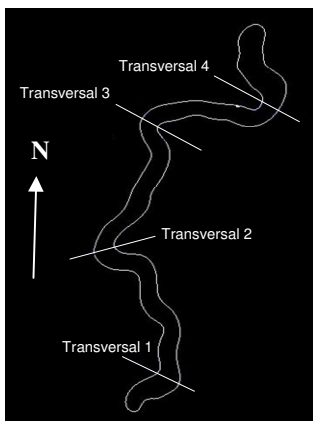


Figura 6. Perfis transversais construídos ao longo do Rio Caeté.

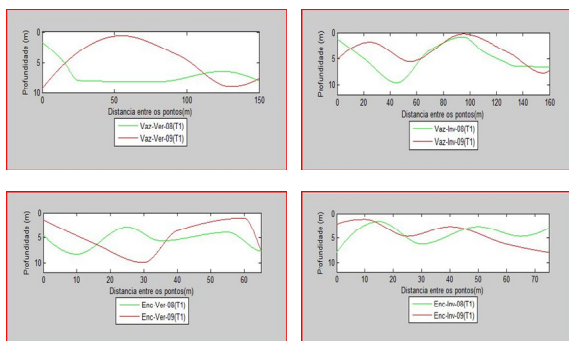


Figura 7: Perfil transversal 1 para a vazante e enchente dos períodos do verão e inverno durante os anos de 2008 e 2009.

Analisando o perfil transversal 1 (Figura 7) referentes à vazante-verão de 2008 e 2009 observa-se na maior parte do trecho que a profundidade de 2008 foi maior quanto comparado com a profundidade registrada no ano 2009. Isto é um indício de assoreamento do rio principalmente na parte central do perfil. No caso da enchente-verão de 2008 e 2009, também foi observado o indício de assoreamento somente nas partes extremas do perfil.

Já analisando o perfil transversal 1 da vazante-inverno entre os anos 2008 e 2009 percebe-se que esta variação de profundidade de maior para menor valor acontece em boa parte do perfil. Isto também é um indício de presença de assoreamento. No caso da enchente-inverno de 2008 e 2009, a variação de profundidade é muito menor comparado com os anteriores resultados. Isto é um indício de pouco ou baixo assoreamento.

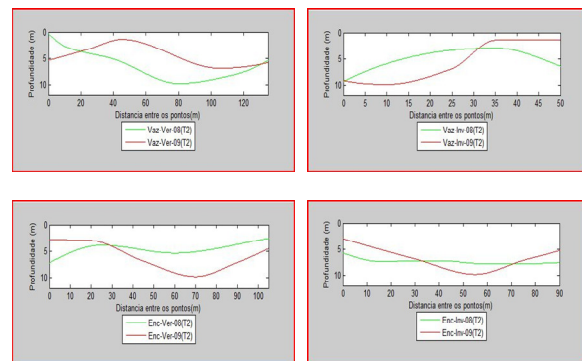


Figura 8: Perfil transversal 2 para a vazante e enchente dos períodos do verão e inverno durante os anos de 2008 e 2009.

No caso do perfil transversal 2 (Figura 8) para o caso da vazante-verão, constataram-se indícios de assoreamento em boa parte do perfil. Já durante a enchente-verão, o assoreamento é menor. Para o período vazante-inverno e enchente-inverno o assoreamento também é menor.

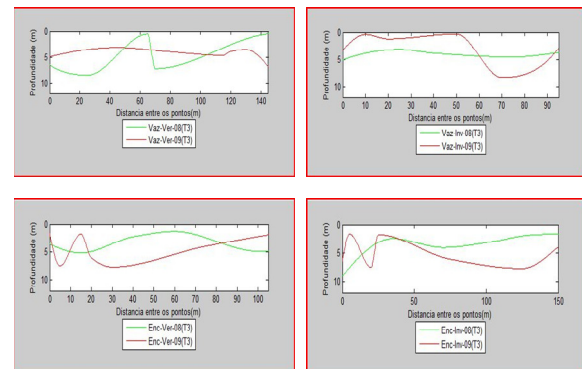


Figura 9: Perfil transversal 3 para a vazante e enchente dos períodos do verão e inverno durante os anos de 2008 e 2009.

Para o caso do perfil transversal 3 (Figura 9) a vazante-verão e enchente-verão destaca-se por não ser tão marcante em todo o perfil os indícios de assoreamento, que são menores neste caso, ficando restritos a poucos trechos. O mesmo também acontece para a enchente-inverno. Para o caso da vazante-inverno existem indícios de assoreamento em boa parte do perfil.

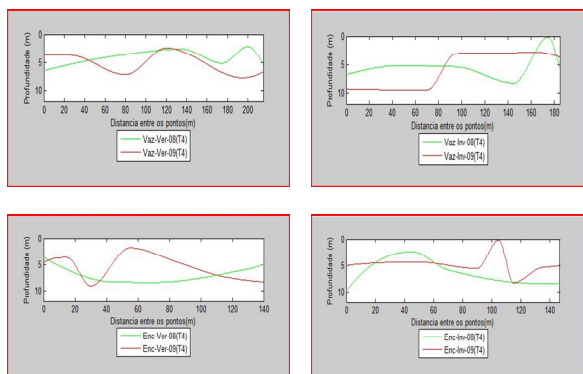


Figura 10: Perfil transversal 4 para a vazante e enchente dos períodos do verão e inverno durante os anos de 2008 e 2009.

Para o caso do perfil transversal 4 (Figura 10), os indícios de assoreamento são variados e geralmente são menores e não estão presentes em todas as partes ao longo dos perfis.

Foi realizada uma análise estatística referente à batimetria do rio Caeté. Os resultados são representados nos quadros abaixo para a vazante (V) e enchente (E) de cada estação do ano para 2008 e 2009, respectivamente (Tabelas 2 e 3).

Tabela 2: Ano 2008

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS	Verão		Inverno	
	Maré Baixa (V)	Maré Alta (E)	Maré Baixa (V)	Maré Alta (E)
Média	3,48 m	4,09 m	3,60 m	4,34 m
Mediana	3,00 m	3,85 m	3,30 m	4,30 m
Desvio Padrão	1,95 m	2,01 m	2,03 m	2,11 m
Máximo	9,50 m	10,5 m	9,70 m	11,0 m
Mínimo	0,40 m	0,5m	0,60 m	0,6 m

Tabela 3: Ano 2009

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS	Verão		Inverno	
	Maré Baixa (V)	Maré Alta (E)	Maré Baixa (V)	Maré Alta (E)
Média	3,32 m	4,19 m	4,29 m	4,82 m
Mediana	3,00 m	3,70 m	3,90 m	5,10 m
Desvio Padrão	1,83 m	2,04 m	1,90 m	2,13 m
Máximo	8,80 m	10,5 m	9,70 m	11,0 m
Mínimo	0,40 m	0,80 m	0,60 m	1,00 m

Portanto, os resultados das Tabelas 2 e 3 demonstram que a amplitude de maré, ou seja, a profundidade mínima e máxima do Rio Caeté no ano de 2008, período do verão foi de 0,40m e 9,50m respectivamente na maré vazante e de 0,5 e 10,5m na enchente. No inverno do mesmo ano, as profundidades mínima e máxima oscilaram entre 0,6 e 9,7m na maré vazante e 0,6 e 11 m na maré enchente.

Já no ano de 2009, as variações das profundidades mínima e máxima foi de 0,4 e 8,8m (vazante), 0,8 e 10,5m (enchente) no período do verão. Na estação chuvosa (inverno), durante a maré vazante a profundidade mínima foi de 0,6m e a profundidade máxima de 9,7m (vazante), de 1m e 11m (enchente). Estes resultados demonstram que as profundidades do inverno são maiores que as do verão devido à precipitação, sendo que no verão devido à carência de precipitação, em destaque o ano de 2009, em geral o assoreamento é mais evidente.

Os perfis utilizados para análise de assoreamento refletem claramente a real situação do rio Caeté. Foi constatado que estão ocorrendo modificações gradativas no que diz respeito à elevação do fundo do corpo hídrico, o que vem prejudicar a navegação, pois há algum tempo embarcações de grande porte ainda navegavam pelo percurso estudado neste trabalho (Obs. In loco; relatos de usuários locais).

Com o levantamento batimétrico realizado nos anos de 2008 e 2009 foi possível acompanhar a evolução morfológica do rio, pois nota-se que em alguns trechos o mesmo apresenta áreas mais altas (bancos de areia) que se formaram ao longo do percurso estudado. Com isso, também se constata que está ocorrendo assoreamento.

CONCLUSÕES

- A modelagem batimétrica 3-D do rio Caeté permitiu a construção das seções longitudinais e transversais, respectivamente. Os dados foram coletados durante os dois tipos de marés (vazante e enchente), nas estações de verão e inverno durante os anos 2008 e 2009. Isto foi realizado com a finalidade de verificar a existência de assoreamento ao longo dos diversos percursos do referido rio.
- O rio Caeté apresenta variações espaciais ao longo de seus respectivos percursos e em relação as suas respectivas profundidades. O percurso não é

necessariamente retilíneo, apresentando também certas sinuosidades.

- O estudo batimétrico do rio Caeté apresenta valores de profundidades que oscilam entre 0,5m e 11m (maré alta) e entre 0,4m e 9,7m (maré baixa). A profundidade média no Rio Caeté varia entre 4,09 e 4,82m (maré alta), e entre 3,32 e 4,29m (maré baixa), respectivamente.
- Em geral, existem indícios de assoreamento nos diversos trechos do Rio Caeté. Após a análise dos perfis durante a vazante do verão 2008 e 2009 constatou-se que no percurso (Bragança-Vila Cuera) existem indícios de assoreamento, o mesmo acontece em alguns trechos do segundo percurso (Vila Cuera-Bacuriteua), e é menos evidente no terceiro percurso (Bacuriteua-Taicí). Na enchente do verão também foi constatado indícios de assoreamento no primeiro percurso (Bragança-Vila Cuera) assim como no segundo percurso (Vila Cuera-Bacuriteua) e no terceiro percurso (Bacuriteua-Taicí) em alguns trechos foram identificados indícios de assoreamento.
- Esta diminuição da lâmina de água provavelmente acontece pela presença de poucas chuvas durante o verão e a presença de bancos de areia em determinados trechos do rio. Isto foi confirmado através do estudo batimétrico e comparação dos perfis correspondentes aos anos de estudo.
- Durante o inverno fica difícil de observar ou determinar a existência de assoreamento por causa do alto índice de pluviosidade.
- Entre outros fatores que podem contribuir para o assoreamento também se pode destacar que nas margens do rio existem Vilas onde seus moradores despejam dejetos domésticos sólidos.
- Outros fatores preponderantes para a ocorrência do assoreamento na área de estudo podem ser:
 1. Queda das árvores dentro do rio, pois também em suas margens existem áreas de manguezais.
 2. Presença dos currais que se localizam no percurso percorrido próximo ao furo do Taicí.
 3. Desmatamento nas bordas do rio. Este processo causa erosão descarregando as partes erodidas para dentro do rio.
 4. Construção do cais que fica localizado na frente da cidade de Bragança, pois para a construção do mesmo foi despejada grande quantidade de aterro, que ao longo do tempo foi sendo carregado para dentro do rio, devido ao movimento de enchente e vazante e das chuvas.

-Camargo, M. & Isaac, V. J. Populations structure of fish fauna in the estuarine area of Caeté River, Pará, Brazil. *Acta Scientiarum*, 1998, v. 20, n. 2, p. 171-177.

-Cohen, M. C. L., Lara, R. J., Ramos, J. F. F., Dittmar, T., 1999. Factors influencing the variability of Mg, Ca and K in waters of a mangrove creek in Bragança, North Brazil. *Mangr. Salt Marsh*, 3: 9-15.

-Koch, V., 1999. Epibenthic productions and energy flow in the Caeté mangrove estuary, North Brazil. Tese de Doutorado, Universidade de Bremen, p. 96.

-Souza Filho, P.W.M., Cohen, M.C.L.; Lara, R.J.; Lessa, G.C.; Behling, H., 2005. Holocene Evolution and Facies Model of the Bragança Macrotidal Flat, Northern Brazil. *ANAI DO 10º CONGRESSO DA ABEQUA*, 2005. Guarapari-ES-Brasil, 2005. Paper 301, 6p.

-Souza-Filho, P. W. M., 2001. Impactos naturais e antrópicos na planície costeira de Bragança (NE do Pará). In: Prost, M. T.; Mendes, A. C. (org). *Ecossistemas costeiros: impactos e gestão ambiental*. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi.

-Souza Filho, P. W. M. & El-Robrini, M., 2000. Geomorphology of the Bragança Coastal Zone, Northeastern Pará State. *Revista Brasileira de Geociências* 30(3): 518-522.

-Souza-Filho, P. W. M. & El-Robrini M., 1996. Morfologia, processos de sedimentação e litofácies dos ambientes morfosedimentares da Planície Costeira Bragantina - Nordeste do Pará (Brasil). *Geonomos*, 4:1-16.

-Souza-Filho, P. W. M., 1995. Influência das Variações do Nível do Mar na Morfoestratigrafia da Planície Costeira Bragantina (NE do Pará) durante o Holoceno. Universidade Federal do Pará, Tese de Mestrado, 123p.

-Wolff, M., Koch, V., Isaac, V., 2000. A trophic flow model of the Aceté mangrove estuary (North Brazil) with considerations for the sustainable use of its resources. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 50, p. 789-803.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

-Barletta, M.; Barletta-Bergan, A.; Saint-Paul, U.; Hubold, G., 2005. The role of salinity in structuring the fish assemblages in a tropical estuary. *Journal of Fish Biology*, v. 66, p.45-72.

-Bastos, M. N. C., Santos, J. U. M., Amaral, D. D., Costa-Neto, S. V., 2001. Alterações ambientais na vegetação litorânea do nordeste do Pará. In: Prost, M. T.; Mendes, A. C. (org). *Ecossistemas costeiros: impactos e gestão ambiental*. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi.