IV-152 - MODELAGEM DA DINÂMICA EVOLUTIVA DA QUALIDADE DA ÁGUA DA BAÍA DO GUAJARÁ - BELÉM-PA

Leonardo Garcia da Silva[(1)]
Discente de Engenharia Ambiental pelo Instituto de Estudos Superiores da Amazônia – IESAM.
Alexandre Barros da Silva
Tec. em Agropecuária pela Escola Agrotécnica Federal de Castanhal – EAFC - PA.
Discente de Engenharia Ambiental pelo Instituto de Estudos Superiores da Amazônia – IESAM.
Gracielly Emerique de Lima
Tec. em Geodésia e Cartografia pelo CEFET - PA.
Discente de Engenharia Ambiental pelo Instituto de Estudos Superiores da Amazônia – IESAM.
Rafaella de Souza Menezes
Discente de Engenharia Ambiental pelo Instituto de Estudos Superiores da Amazônia – IESAM.
Manoel José dos Santos Sena
Docente do instituto de estudos superiores da Amazônia – IESAM.

Endereço[(1)]**:** Rua dos Caripunas, n° 3241 – Bairro: Cremação – Cidade: Belém –PA – CEP: 66063040 – Brasil – Tel.: (91)3249-7846 – e-mail: leonardo.garcia002@gmail.com

RESUMO

O presente trabalho avaliou a dinâmica evolutiva da qualidade da água na orla de Belém com a baía do Guajará e o rio Guamá, de acordo com o regime de maré, coletou-se amostras em oito pontos ao longo da orla de Belém e em cada ponto de amostragem foi realizada uma coleta em cada momento da maré. Realizou-se as análises das amostras no Laboratório de Águas e Esgoto do Instituto de Estudos Superiores da Amazônia – IESAM. Os dados de qualidade da água foram analisados em conjunto com uma simulação computacional e modelagem hidrodinâmica do escoamento da baía do Guajará. A modelagem hidrodinâmica foi importante para uma compreensão mais apurada da dinâmica evolutiva da qualidade da água ao longo da baía do Guajará. Observou-se que os regimes de marés de sizígia e quadratura são fundamentais para a dinâmica da qualidade da água da baía, pois essas marés influenciam fortemente os regimes de escoamento, o que afeta diretamente a dinâmica da qualidade da água. Nos resultados obtidos, os níveis de sólidos dissolvidos, oxigênio dissolvido e condutividade ficaram dentro da faixa do valor permitido pela resolução do CONAMA 357/05 em todos os momentos da maré, com exceção de dois pontos. Os níveis de turbidez permaneceram dentro do permitido para águas doces de classe 2 de acordo com o CONAMA 357/05. Já os dados de cor ficaram fora da norma estabelecida, apenas os pontos P7 e P8 da campanha de agosto corresponderam à resolução do CONAMA 357/05.

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem hidráulica, Dinâmica evolutiva, Qualidade da água, baía da Guajará.

INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural que está associado às diversas atividades humanas, principalmente aquelas ligadas ao abastecimento público e industrial, a produção de energia elétrica e as atividades de recreação e lazer. Essas atividades, junto à expansão demográfica e industrial, observada nas últimas décadas, trouxeram como consequência o comprometimento da quantidade e qualidade da água dos rios, lagos e reservatórios (ALVES et al., 2008).

A poluição da água é entendida como a alteração de suas características por quaisquer ações ou interferências, sejam elas naturais ou provocadas pelo homem. A cidade de Belém, localizada no estado do Pará, na região norte do Brasil, se encontra inserida no grupo de cidades brasileiras que sofrem com problemáticas como, por exemplo, a poluição das águas e as enchentes e vazantes. A cidade é banhada pela baía do Guajará, formada pela foz dos rios Pará, Acará e Guamá, sendo uma importante área de transporte, de abastecimento de mercados e de turismo, dentre outras atividades (Barros 2005).

Os modelos de simulação hidrodinâmica, vêm crescendo em importância no gerenciamento de recursos hídricos. Suas diversas aplicações vêm sendo um pivô a diversos estudos, como na compreensão de processos dispersivos de poluentes, implantação de sistemas de monitoramento de qualidade de água, planejamento de ações em casos de vazamentos de poluentes, e avaliação das consequências das alterações na geometria de canais (Batista 2005).

Segundo Barros (2005), um dos usos da modelagem hídrica ambiental é possibilitar e determinar as características do escoamento nas regiões estudadas e, por conseguinte, a trajetória que um determinado constituinte poderá percorrer, ao ser lançado sob determinadas condições. Desta forma permitindo um maior conhecimento dos processos físico-químicos que interferem na qualidade da água e em outras propriedades, e ainda possibilitando simular cenários futuros.

O presente trabalho teve como objetivo compreender a dinâmica evolutiva da qualidade da água da baía do Guajará em seus diferentes regimes de maré, através de coletas e análise da qualidade da água da baía, simulações computacionais e modelagem computacional.

MATERIAIS E MÉTODOS

A região de estudo denominada baía do Guajará, localizada no norte do Estado do Pará, forma-se pelo encontro dos rios Guamá e Acará e prolonga-se até a ilha de Mosqueiro, onde se encontra com a baía do Marajó, que possui ligação direta com o oceano, conforme a Figura 1. Sua limitação é dada pela cidade de Belém e pelo arquipélago da ilha das Onças, entre as latitudes 1º 22’ S e 1° 30’ S e as longitudes 48º 25’ W e 48º 35’ W (Barros, 2005).

Figura 1: Localização dos Pontos de Amostragem.
Fonte: *United States Geological Survey – USGS* (adaptado).

Tabela 1: Localização dos Pontos de amostragem com coordenadas e descrição do local.

PONTOS	LATITUDE	LONGITUDE	DESCRIÇÃO DO LOCAL
P1	1º 28' 38,507" S	48º 27' 18,437" W	UFPA (Prox. ao canal Tucunduba)
P2	1º 28' 35,867" S	48º 28' 31,755" W	Trapiche Av. Alcindo Cacela
P3	1º 27' 46,116" S	48º 30' 26,991" W	Porto Tamandaré
P4	1º 27' 19,126" S	48º 30' 23,260" W	Trapiche da Casa das Onze Janelas
P5	1º 26' 49,360" S	48º 29' 57,176" W	Praça Pedro Teixeira
P6	1º 26' 10,354" S	48º 29' 40,072" W	Trapiche Ver-o-Rio
P7	1º 22' 09,800" S	48º 29' 02,960" W	Trapiche da Empresa LINAVE
P8	1º 17' 55,584" S	48º 29' 26,993" W	Trapiche do Porto de Icoaraci

O trabalho foi conduzido em duas fases: a primeira de coleta e análise de amostras de água retiradas ao longo da baía do Guajará de acordo com o regime de maré, para o acompanhamento da dinâmica evolutiva dos parâmetros físico-químicos da água, relacionando-os com o ciclo da maré. A segunda fase consistiu na utilização da modelagem hidrodinâmica da baía, para se analisar a dinâmica da qualidade da água de acordo com a variação do escoamento para cada momento de maré.

Escolheu-se os pontos de amostragem da água em toda a extensão da orla de Belém com a baía do Guajará e o rio Guamá, conforme a Tabela 1, procurando as localidades com as maiores profundidades e próximas às margens, para que os dados de qualidade da água da baía estivessem com menores interferências devido a substratos do fundo do rio.

Para a amostragem da água, foram realizadas quatro campanhas de coleta que se deram nos meses de maio, junho, agosto e setembro, sendo duas marés de quadratura e duas de sizígia respectivamente, ou seja, nas duas primeiras campanhas, teve-se maré de quadratura, quando ocorre a prea-mar com menos volume de água e a baixa-mar maiores volumes de água que na sizígia.

Coletou-se amostras nos oito pontos de amostragem ao longo da orla de Belém com a baía do Guajará e rio Guamá, em quatro momentos de maré (vazante, enchente, baixa-mar e prea-mar) em cada campanha, a fim de analisar a dinâmica da qualidade da água considerando os diferentes regimes de maré.

Todas as amostras foram coletadas em frascos e armazenadas em temperatura <10ºC para preservação, durante os períodos de transporte até o laboratório de análise de água. Os parâmetros de qualidade da água dos pontos de amostragem foram analisados através dos equipamentos e metodologias conforme exposto na Tabela 2.

As análises da qualidade da água das amostras foram realizadas no Laboratório de Águas e Esgoto do Instituto de Estudos Superiores da Amazônia – IESAM, na Avenida Gov. José Malcher, 1148 - Nazaré – Belém-PA.

Tabela 2: Parâmetros, equipamentos e metodologias.

PARÂMETROS	UNIDADES	MÉTODO	EQUIPAMENTO
pH	-	Potenciométrico	Multiparameter PCSTester 35 OAKLON
Cloretos	mg / L	Eletrodos	Multiparameter PCSTester 35 OAKLON
Condutividade	mS	Eletrométrico	Multiparameter PCSTester 35 OAKLON
Cor verdadeira	uC	Colorimétrico	Colorímetro Aquacolor cor Policontrol
Turbidez	NTU	Nefelométrico	Turbidímetro portátil modelo Q279P QUIMIS
Sólidos dissolvidos	mg / L	Eletrodos	Multiparameter PCSTester 35 OAKLON
OD	mg / L	Sensores analíticos	Oxímetro portátil Digimed modelo DM-4P
DQO	mg.L-1	Refluxo fechado e Fotometria direta	Policontrol modelo Aquacolor

Para as análises da qualidade da água da baía, foram escolhidos alguns parâmetros físico-químicos para a avaliação evolutiva da qualidade da água representando um diagnóstico básico sob os aspectos químicos e físicos das águas e, consequentemente e seu o grau de poluição.

A análise das influências do regime hidrodinâmico sobre a qualidade da água da baía se deu através da utilização da modelagem hidrodinâmica realizada por Barros (2011). Analisou-se as variações na qualidade da água da baía para cada ponto de amostragem através da análise dos gráficos resultante dos parâmetros e dos regimes de escoamento de cada momento de maré

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme o Gráfico 1, 85% dos dados de DQO obtidos se encontram na faixa comumente encontrada em corpos d'água que recebem esgoto, que varia de 100mg/l a 200mg/l, segundo Libânio (2010) os valores de DQO são ligeiramente superiores aos de DBO, apesar de não se ter sido realizado a análise de DBO, pode-se ter uma aproximação dos valores da DBO. Diz-se então, que a DBO dos pontos analisados está dentro da faixa 100mg/l a 200mg/l. Já os 15% dos dados de DQO que se encontram muito acima desta faixa estão localizados nos pontos P5 a P8 do mês de junho. Isto pode ser explicado porque na campanha de junho a maré era de quadratura, ou seja, os níveis de água da prea-mar estavam mais baixos em relação à campanha de agosto que teve maré de sizígia. Outro fato importante é que de acordo com a Figura 2, que mostra o regime hidráulico na prea-mar, as velocidades de escoamento nos pontos de P1 a P4 estavam maiores do que nos pontos de P5 a P8, isto implica que nos últimos pontos, devido às baixas velocidades de escoamento, os valores de DQO eram maiores.

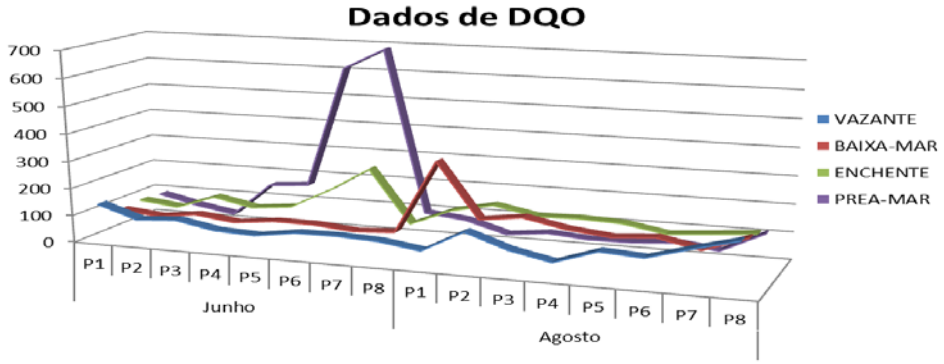

Grafico 1: Dados de DQO, na campanhas de junho e agosto.

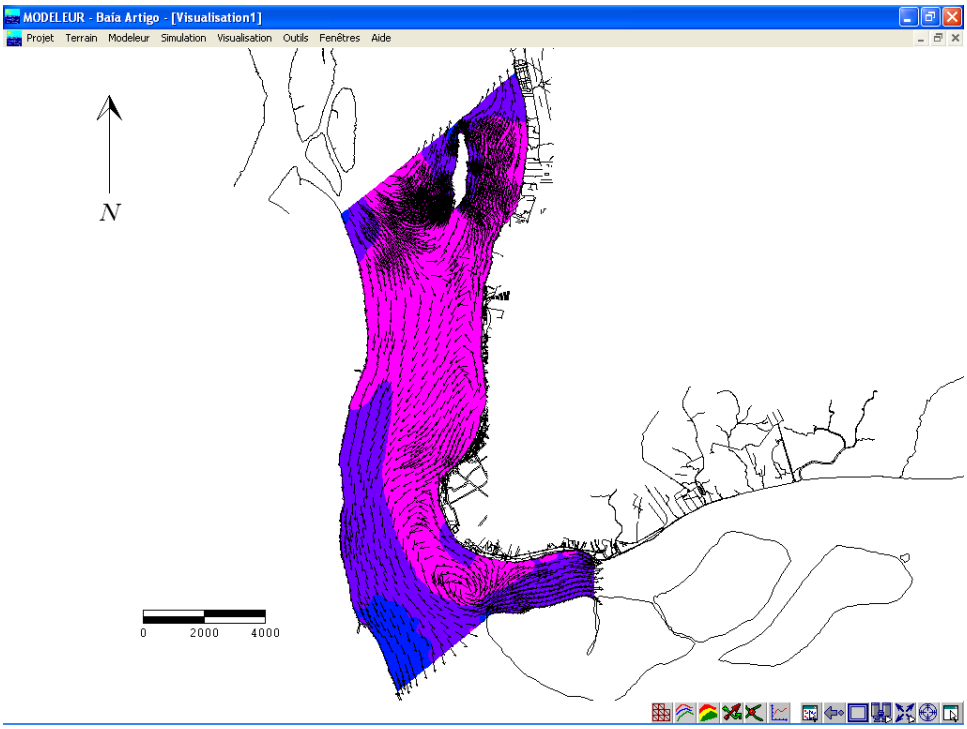

Figura 2: Regime hidrodinâmico na prea-mar.
Fonte: Barros, 2011.

Conforme o Gráfico 2, os dados de OD das campanhas de junho, agosto e setembro mostram que todos os resultados obtidos permaneceram dentro do estabelecido na CONAMA nº 357/05 para corpos d'água para classe 2 que deve ser não inferior a 5mg/L de O_2.

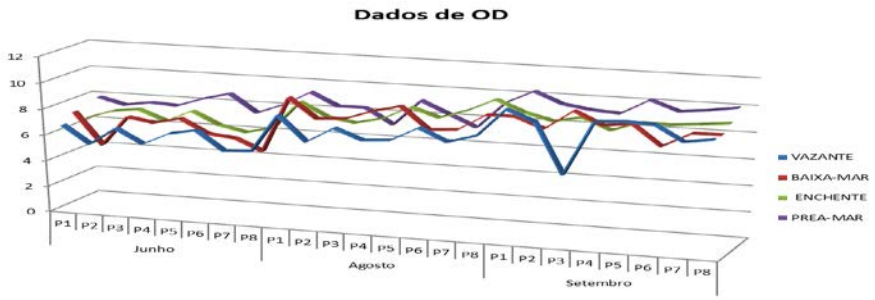

Gráfico 2: Dados de oxigênio dissolvido nas campanhas de junho, agosto e setembro.

Os dados de cloretos, condutividade e sólidos dissolvidos se comportaram de maneira semelhante nas três campanhas, conforme os Gráficos de 3 a 5, sendo que na campanha de agosto e setembro, ocorreu uma grande variação dos três parâmetros nos pontos P7 e P8. Possivelmente por estarem mais ao norte e também devido à maré de sizígia teve-se um aumento significativo do nível de água do oceano nos regimes de maré, que possivelmente trouxe na maré enchente uma maior quantidade de sedimentos e de sal (cloretos).

Da campanha de maio até a campanha de agosto os valores de cloretos e sólidos dissolvidos estiverem dentro do valor estabelecido pelo CONAMA nº 357/05 para classe 2, que é de 250mg/L para cloretos e 500 mg/L para sólidos dissolvidos, porém na campanha de setembro nesses pontos ocorreu um grande aumento excedendo o valor máximo de cloretos e de sólidos dissolvidos, em até 497 mg/L de cloretos e 590 mg/L de sólidos dissolvidos no P8.

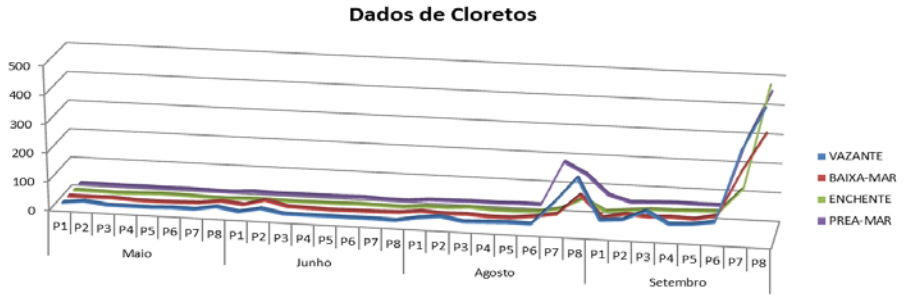

Gráfico 3: Dados de cloretos nas campanhas de maio, junho, agosto e setembro.

Grafico 4: Dados de sólidos dissolvidos nas campanhas de maio, junho, agosto e setembro.

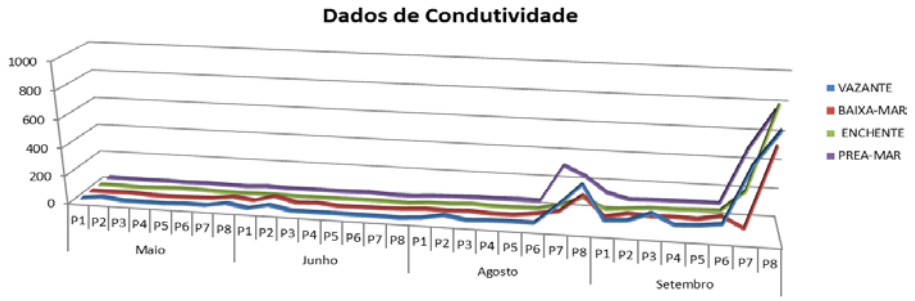

Gráfico 5: Dados de condutividade nas campanhas de maio, junho, agosto e setembro.

Conforme o gráfico 6, os valores de pH de todas as campanhas estão dentro do estipulado pelo CONAMA nº 357/05 para classe 2, pH variando de 6 a 8, com exceção do P8 da campanha de maio em que houve uma variação local.

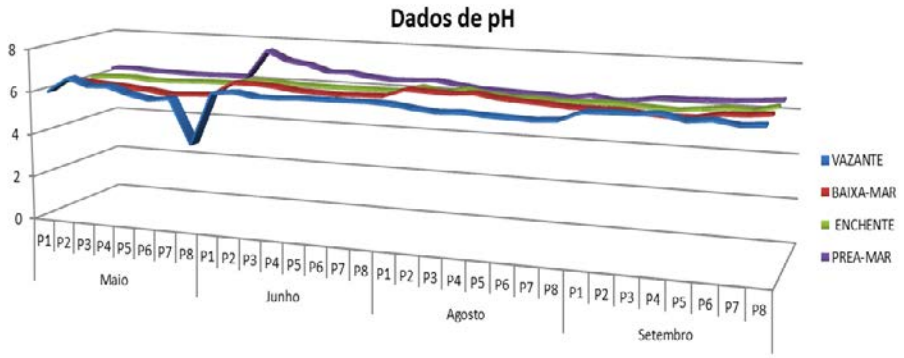

Gráfico 6: Dados de pH nas campanhas de maio, junho, agosto e setembro.

Nos dados de cor apenas os valores dos pontos P7 e P8 da campanha de agosto e setembro estão dentro do estabelecido pelo CONAMA nº 357/05 para corpos d'água classe 2, que deve ficar igual ou abaixo de 75 uC. Os valores dos outros pontos ficaram acima do estabelecido como mostra o gráfico 7. Esta variação explica-se pelos regimes de maré que afetaram o nível de água da baía, pois nas campanhas de maio e junho as marés foram de quadratura e em agosto foi maré de sizígia. Sendo que os tipos de substrato do fundo, que na maioria é lamoso e silte, podem ter sido agitados com a turbulência gerada pelo escoamento, provocando valores de cor, como ilustra as figuras 3 e 4.

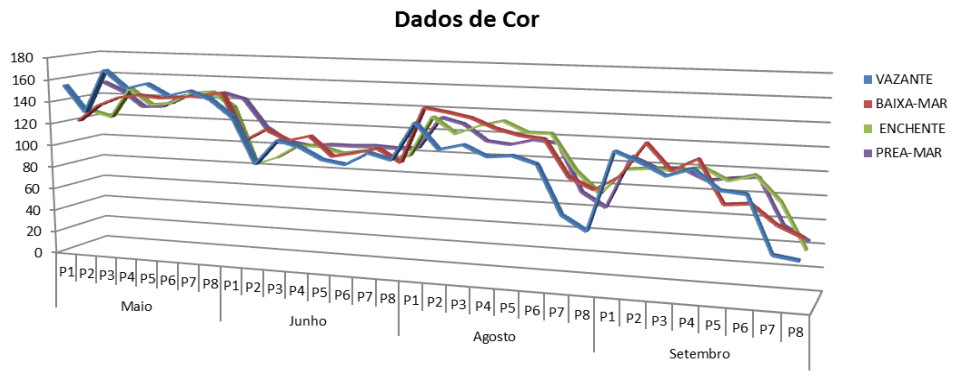

Gráfico 7: Dados de cor nas campanhas de maio, junho, agosto e setembro.

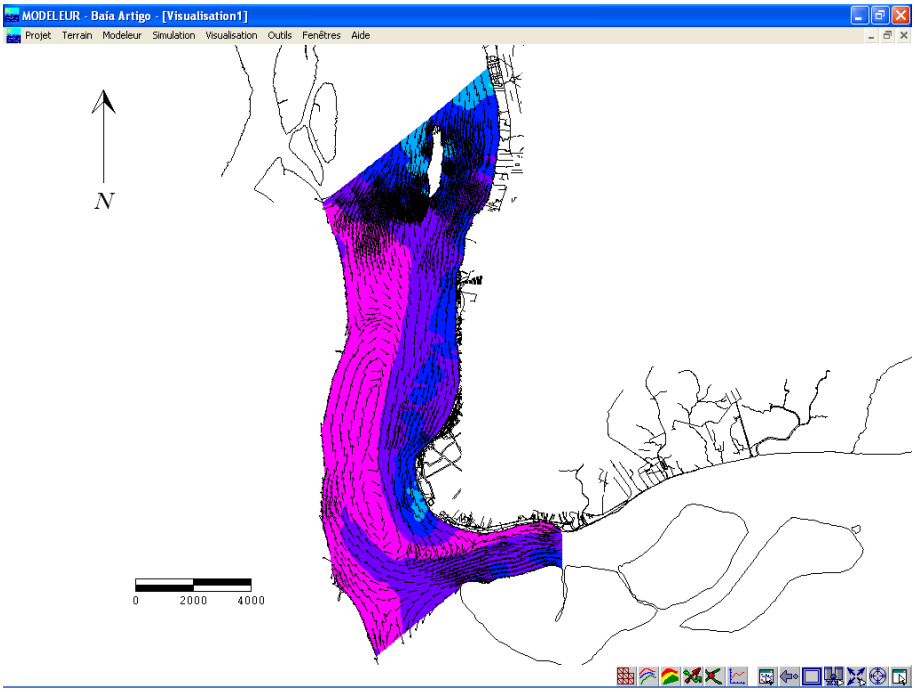

Figura 3: Regime Hidrodinâmico na baixa-mar.
Fonte Barros, 2011.

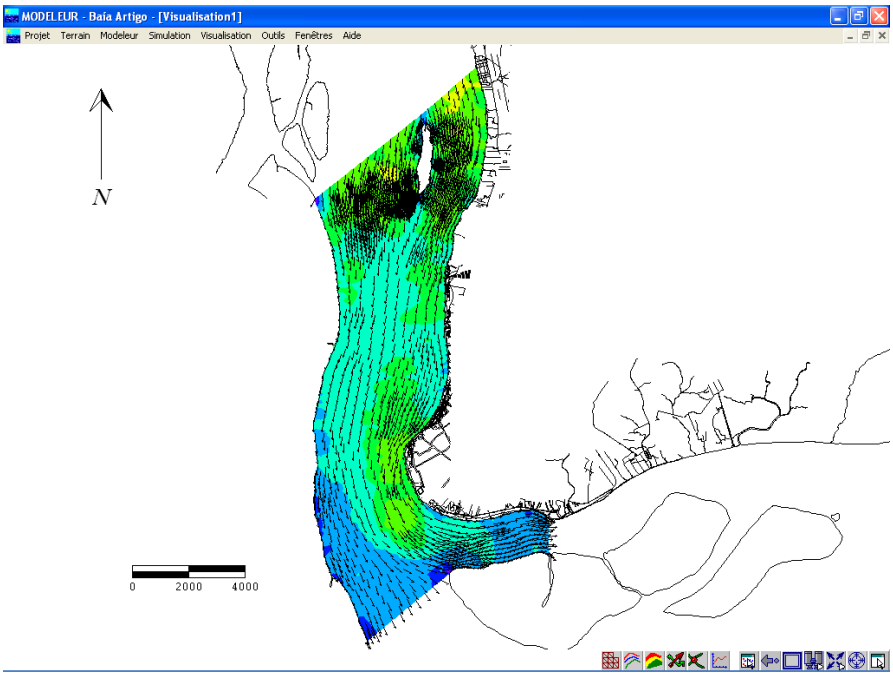

Figura 4: Regime hidrodinâmico na maré enchente.
Fonte: Barros, 2011.

Todos os valores de turbidez, Gráfico 8, estão dentro do estabelecido pelo CONAMA nº 357/05 para corpos d'água classe 2, que deve ficar igual ou inferior a 100 UNT, com exceção do ponto P1 da campanha de agosto na baixa-mar que teve uma pequena variação. Isso pode ser explicado devido a um conjunto de fatores: (a) à turbidez está associada aos sólidos em suspensão e neste ponto a velocidade de escoamento é maior que nos outros pontos por causa da vazão rio Guamá; (b) a campanha de agosto foi realizada em maré de sizígia o que traz um volume de água maior para a baía diluindo os sólidos em suspensão dos outros pontos mais próximos da área de atuação da maré; (c) os sedimentos das encostas do rio Guamá que não conseguem escoar a tempo de sair daquela região, se acumulam localmente durante a baixa-mar, possivelmente devido a um fenômeno de vorticidade no escoamento que ocorre naquela região, identificado por Mesquita, Blanco e Sena (2006).

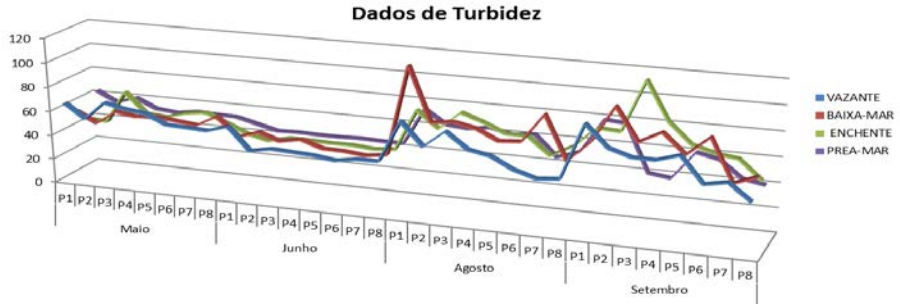

Gráfico 8: Dados de turbidez nas campanhas de maio, junho e agosto.

CONCLUSÃO

A utilização da ferramenta de modelagem hidrodinâmica foi importante para compreensão da dinâmica evolutiva da qualidade da água da baía do Guajará, pois ela nos possibilitou compreender o regime de velocidades do fluido pra cada momento da maré e dos pontos. O comportamento do escoamento observado através da modelagem hidráulica nos possibilitou explicar os dados obtidos de qualidade da água.

Conclui-se também, que o regime lunar, que influência nas marés de sizígia e quadratura, é muito importante para dinâmica evolutiva da qualidade da água da baía do Guajará, pois nas marés de sizígia verificou-se que

maior quantidade de água afetou a qualidade da água, assim como a menor quantidade de água da maré de quadratura também influenciou fortemente a qualidade da água da baía do Guajará.

Os resultados dos parâmetros analisados OD, pH, cloretos, turbidez, cor e sólidos dissolvidos estiveram, em sua maioria, dentro do estabelecido pela resolução do CONAMA nº 357/05 para corpos d'água classe 2, apenas os pontos P7 e P8 localizados respectivamente, no trapiche da empresa LINAVE e no trapiche do porto de Icoaraci, que estão os localizados mais ao norte apresentaram grandes variações em relação aos outros resultados. Considera-se um resultado positivo para a baía do Guajará, que mesmo com a quantidade de efluentes despejados diariamente, o regime hidrodinâmico faz com que, através dos movimentos norte-sul das marés, os poluentes sejam dispersados ao longo da baía, minimizando a concentração dos poluentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVES, E.C; SILVA, C. F; COSSICH, E.S; TAVARES, C.R.G.T; SOUZA FILHO, E.E; CARNIEL, A. **A Avaliação da qualidade da água da bacia do rio Pirapó – Maringá, Estado do Paraná, por meio de parâmetros físico, químico e microbiológico**. Paraná, 2008.
2. BARROS, Maria de Lourdes Cavalcanti. et. al. **A Water Flow Pattern Analysis of Guajará Bay – Amazon Estuary** – Brazil. J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng., Belém, 2011.
3. BARROS, Maria de Lourdes Cavalcanti. **Calibração de um modelo hidrodinâmico da baía do Guajará.** Belém, 2005, 189 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Pará.
4. MESQUITA, Andre Luiz Amarante; BLANCO, Cláudio José Cavalcante; SENA, Manoel José dos Santos. **Modelagem hidrodinâmica do escoamento no Contexto do projeto orla Belém.** Relatório Técnico. Belém, 2006. No Prelo.
5. CONAMA. **Resolução nº 354, de 17 de Março de 2005, alterada pelas resoluções 410/09 e 430/11**. Conselho Nacional de Meio Ambiente, 2011.
6. LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento da Água.** Ed. Átomo, 3ª Edição, Campinas – São Paulo, 2010.