

**XI SILUBESA*****Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental***

28/03 a 02/04/2004 - Natal - Rio Grande do Norte - Brasil

VI-042 – MODELAGEM HIDRODINÂMICA DA BACIA DO TUCUNDUBA**Maria de Lourdes Cavalcanti Barros⁽¹⁾**

Engenheira Sanitarista pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Mestranda em Térmica e Fluidos pela UFPA.

Antônio Guilherme Barbosa da Cruz⁽²⁾

Engenheiro Mecânico pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Mestre em Térmicos e Fluidos UFPA.

Endereço⁽¹⁾: Travessa Berredos Conjunto Augusto Monte Negro, 116 – Icoaraci – Belém – PA – CEP: 66810-050 – Brasil – Tel: (91) 211-1960: mlcb@ufpa.br**RESUMO**

Este trabalho se propõe em realizar o estudo da modelagem hidrodinâmica da bacia do Tucunduba, considerada uma das maiores bacias de drenagem de da Região Metropolitana de Belém. O entendimento da dinâmica de circulação é essencial, não apenas para o conhecimento do destino final de poluentes, como também fonte de fornecimento de informações a determinadas obras de engenharia. O estudo do transporte de poluentes se apresenta como imprescindível para o gerenciamento ambiental, onde a caracterização do transporte e da difusão de poluentes é de grande importância para o monitoramento da qualidade da água. Na modelagem matemática da Bacia foi utilizado o software MODELEUR desenvolvido pelo Instituto National de La Recherche Scientifique-Eau (INSRS-EUA) ligado a Universidade do Quebec.

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem hidrodinâmica, Qualidades da água, Meio ambiente.**INTRODUÇÃO**

A poluição da água é há muito tempo reconhecida como sendo um assunto de extrema relevância. O transporte de matéria orgânica e inorgânica influencia tanto a geomorfologia, como também a ecologia dos ecossistemas costeiros (Borthwick e al, 1979). As operações de manipulação de produtos poluentes tais como lixo doméstico e industrial ou derivados de petróleo, sejam durante transporte ou comercialização, é sempre cercada de riscos para o meio aquático. Estes riscos envolvem tanto danos ambientais como também sociais e econômicos.

A bacia do Tucunduba, considerada a segunda maior bacia de drenagem da cidade de Belém no estado do Pará, apresenta significativa importância, por atravessar diversos bairros da capital (FADESP/SESAN, 1997). Ela sofre, entretanto diversos usos conflitantes provocados pelos próprios moradores ocupantes das margens.

Segundo Aguiar (2000), os moradores utilizam a água do igarapé Tucunduba como forma de recreação, lavagem de roupas, louças e banho, enquanto um número reduzido de pessoas utilizam a água do igarapé para outros fins, como por exemplo, meio de transporte. A Bacia também é utilizada como receptora de todo e qualquer tipo de resíduos, incluindo esgoto, sem nenhum tipo de tratamento. Neste caso, são as crianças as principais atingidas, pois utilizam a água de forma direta através da recreação (Lopes e Bezerra, 2001).

Neste contexto, o conhecimento da hidrodinâmica de circulação da bacia do Tucunduba tem fundamental importância. Esta técnica tem se mostrando uma poderosa ferramenta para monitoramento da qualidade da água e controle de poluição. Através de sua utilização, pode-se obter uma descrição dos parâmetros representativos da hidrodinâmica e conseqüentes evoluções dos processos químicos e biológicos em sistemas, como rios, lagos ou estuários.

As simulações numéricas dos escoamentos utilizando ferramentas computacionais permitem um direcionamento mais racional, eficaz e, portanto, mais econômico, evitando-se assim, desperdício de recursos financeiros e diagnosticando os aspectos mais relevantes dos ecossistemas estudados. Desta forma, a previsão do efeito das condições ambientais e das ações antrópicas na distribuição dos componentes biogeoquímicos podem ser realizadas com mais segurança.

Modelos numérico são capazes de simular tanto as respostas físicas, como também químicas e biológicas, em diversos tipos de situações. A partir do modelo, pode-se estabelecer diversos parâmetros para a preservação do sistema, tais como, definir o estado de degradação das águas, efeitos de obras hidráulicas sobre o sistema, definição da área de sedimentação ou erosão potencial, prognóstico da diluição com a água da Baía do Guajará. Além destes pontos, poderá ser estabelecidos previsões de novos impactos à medida que as condições do sistema forem evoluindo.

O presente trabalho consiste em realizar o estudo da Simulação Hidrodinâmica da Bacia do Tucunduba, trecho que compreende a Avenida Perimetral até a foz do igarapé no rio Guamá. O conhecimento da trajetória de circulação é de fundamental importância para a realização de tarefas de combate a poluição e realização de estimativas de riscos para o conhecimento da dinâmica de transportes de poluentes que ocorre tanto na Bacia do Tucunduba, como também na Baía do Guajará.

A ferramenta utilizada para a realização da simulação numérica foi o software MODELEUR, desenvolvido pelo Institut National de la Recherche Scientifique Eau (INRS-Eau), vinculado a Universidade do Quebec. Recentemente foi realizada uma parceria entre a Universidade Federal do Pará – UFPA, Instituto Estudos Superior da Amazônia – IESAM e o INRS, no que diz respeito a utilização do software MODELEUR. O objetivo desta cooperação é construir o modelo hidrodinâmico da Baía do Guajará na região limitada pela bacia do rio Pará, que visa análise de dispersão de poluentes na referida baía, além de prever o desenvolvimento de um software similar ao utilizado.

O trabalho contou ainda com o apoio da Prefeitura Municipal de Belém no que se refere ao fornecimento de dados relativo a bacia do Tucunduba. Podemos citar, os dados batimétricos e de vazão, entre outros, de grande importância para a realização do trabalho.

MATERIAIS E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

A bacia do Tucunduba é um ambiente dinâmico do ponto de vista hidrográfico com características fluviais sujeitas à ação das marés provenientes da bacia do rio Guamá e às alterações ambientais dos despejos de efluentes domésticos. A bacia merece grande destaque por ser a segunda maior bacia de drenagem de Belém, além de entrecortar o Campus da Universidade Federal do Pará. Em sua área marginal residem aproximadamente 35.000 (trinta e cinco mil) famílias, estimando-se 175.000 (cento e setenta e cinco mil) habitantes (FADESP/SESAN, 1997) a produção ambiental e espacial, conduz a diferenciados níveis de transformação e degradação, resultantes das formas ou tipo de trabalho humano.

No diagnóstico urbano da baixada do Tucunduba, embora próxima ao centro urbano de Belém é "periférica" e faz parte dos bolsões de miséria pelas suas características sociais. A produção diferenciada do ambiente reflete os graus de intervenção na natureza que representa características diferentes das outras parcelas do espaço de Belém (O'Brien, 2002). Como exposto anteriormente, o estudo da hidrodinâmica do igarapé é de extrema importância, pois através dele será possível realizar uma análise mais consistente no processo de dispersão de poluentes, como por exemplo lixo vulgar, esgoto doméstico, entre outros, onde com o conhecimento de sua trajetória será possível realizar tratamentos mais eficazes para esses problemas.

A Bacia hidrografia é constituída pelos igarapés do Tucunduba, Lago Verde, Caraparu, 02 de Junho, Mundurucus, Gentil Bitencourt, Nina Ribeiro, Santa cruz, Cipriano Santos, Vileta, União, Leal Martins e Angustura, possui uma população de aproximadamente 161.499 habitantes e possui uma extensão de 14.175 metros. Fisiograficamente a bacia assemelha-se a arco de terreno altos ocupados por casas de alvenaria por um lado e terreno de instituições com vegetação característica pelo outro, ao redor de um imenso charco repleto de casas de palafitas acessíveis por meio de estivas e passagens de aterro (FADESP/SESAN, 1997).

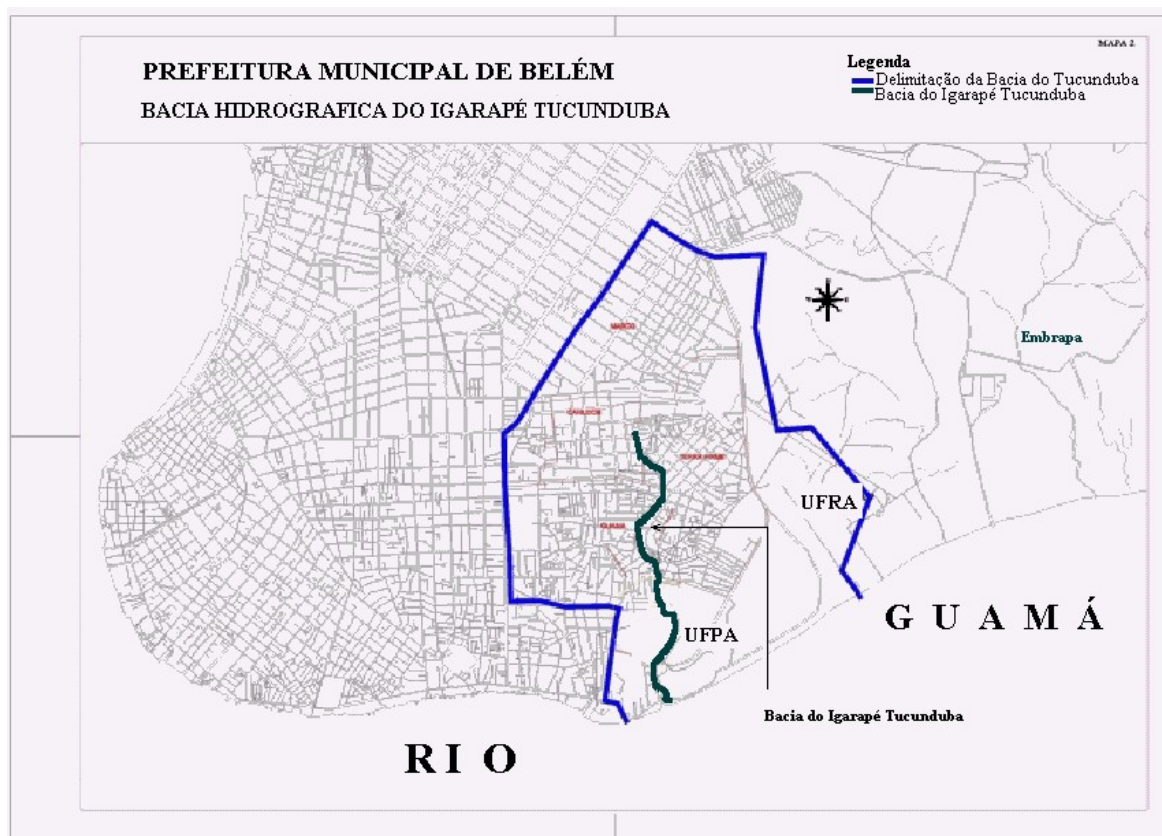


Figura 1: Localização da Bacia do Igarapé Tucunduba

USOS POTENCIAIS DA BACIA

A área da bacia do Tucunduba pode ser considerado como uma zona de característica prioritária de uso residencial, onde constata-se prática de diversas atividades econômicas, principalmente as de uso diário dos moradores. Trata-se de uma área de elevada densidade populacional, com pouco aproveitamento do terreno, ou seja, com índice de aproveitamento do solo mais baixo (FADESP/SESAN, 1997).

Foi verificado que na área de abrangência do projeto, a mesma já conta com problemas de ocupações desordenadas, visto que um percentual significativo de tal área já foi consumido por ocupação de benfeitorias que privatizam o espaço, havendo extrema urgência de organizar o espaço físico, onde as vias internas de acesso foram definidas pelos próprios moradores, sem qualquer tipo de arruamento, estando totalmente desarticuladas do Sistema Viário Principal (FADESP/SESAN, 1997).

Do ponto de vista da Engenharia Ambiental ou da qualidade das águas, pode-se afirmar que atualmente os principais usos benefícios dos recursos hídricos da bacia do Tucunduba, são por ordem, o transporte e a diluição dos efluentes sanitários direta e/ou indiretamente para a bacia através dos seus corpos d'água formadores, navegação, lazer, usos estéticos.

A bacia do Tucunduba vem sendo alvo de intensa poluição. É visível o transporte de lixo vulgar, manchas de óleo na superfície da água e lançamentos diretos de esgoto doméstico. Sendo que, a intensificação do uso da modalidade transporte e diluição limitam e restringem a expansão dos usos, de navegação, lazer, esportes náuticos e principalmente o uso estético.

Um corpo d'água com grande potencial biológico e produtivo, e grande importância sócio - econômica, deve ser considerado área privilegiada e ter um uso mais adequado e que traga benefícios mais vantajosos (Araújo e Peres, 1998). Em particular a cidade de Belém possui um potencial extraordinário na área de lazer aquático. Deve ser considerado também o aspecto fluvial estuarino da cidade, que deverá ser estudado e planejado racionalmente para que seja explorado de forma racional todo o seu potencial.

O planejamento de um pólo de turismo e lazer aquático na bacia do Tucunduba fundamenta-se na melhoria da

qualidade de vida dos habitantes da cidade de Belém e seus visitantes, aumentando assim o potencial turístico de nossa cidade. Sua concepção baseia-se na valorização da beleza paisagística e nos seus atributos de vir a ser um local ideal para a promoção de eventos ligados ao lazer e esportes náuticos, devendo ser sua sustentabilidade usufruída, protegida e garantida simultaneamente.

Atualmente por conta do projeto de recuperação da bacia do Tucunduba, executado pela Prefeitura Municipal de Belém, diversas foram as alterações provocadas nas áreas tais como, revitalização das áreas alagáveis na bacia com aterro e pavimentação de vias, desocupação da margem e calha do igarapé do Tucunduba, dragagem de margem e fundo, drenagem pluvial de ruas que chegam a margem do igarapé, urbanização de canais e redes de águas potáveis, bem como eletrificação e telefonia, coleta de lixo e organização do acesso fluvial. Entretanto, os serviços disponibilizados ainda são ineficiente por atenderem uma pequena parte dos moradores do local, deixando o restante da população sem uma mínima infra-estrutura de sobrevivência (Bezerra e Lopez, 2001).

DESCRIÇÃO DO MODELO HIDRODINÂMICO

Os modelos hidrodinâmicos são obtidos a partir do equacionamento do problema tendo como base as equações básicas da Mecânica dos Fluidos. Para casos bastante simples, soluções analíticas são possíveis. Na grande maioria das aplicações, as soluções numéricas são mais utilizadas, pois possibilitam uma inclusão das complexidades relativas à geometria e às condições de contorno que seriam impossíveis de tratar analiticamente (Araújo e Melo, 2003).

O sistema computacional utilizado neste trabalho tem como base os modelos matemáticos fundamentados nas equações de águas rasas (Saint-Venant), que compõem uma classe de problemas dinâmicos de mecânica dos fluidos e hidráulicos.

O modelo emprega na sua formulação as equações de conservação de massa (continuidade),

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0, \quad (1)$$

e de conservação da quantidade de movimento nas direções x e y, respectivamente.

$$\frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(q_x \frac{q_x}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(q_x \frac{q_y}{H} \right) = \sum F_x \quad (2)$$

$$\frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(q_y \frac{q_x}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(q_y \frac{q_y}{H} \right) = \sum F_y \quad (3)$$

Onde,

$$\sum F_x = -gH \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{n^2 g |\vec{q}| q_x}{H^{1/3}} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x} (H \tau_{xx}) + F_{cx} + F_{wx} \quad (4)$$

$$\sum F_y = -gH \frac{\partial h}{\partial y} - \frac{n^2 g |\vec{q}| q_y}{H^{1/3}} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial y} (H \tau_{yy}) + F_{cy} + F_{wy} \quad (5)$$

Sendo,

F_c : componentes da força de Coriolis;

F_x, F_y : componentes da força máxima dependendo de x ou y;

F_{wi} : componentes da pressão do vento;

g : aceleração da gravidade;

h : altura ou nível d'água;

H : profundidade da coluna d'água;

n : coeficiente de Manning;

$|\vec{q}|$: modulo da vazão especifica;

q_x, q_y : componentes da vazão especifica nas direções x e y;

x, y : coordenados do plano;

ρ : massa especifica da água;

τ_{xy} : constantes de Reynolds.

DADOS FÍSICOS DA BACIA PARA O MODELO UTILIZADO

A projeção da bacia do Tucunduba foi discretizada por uma malha constituída por elementos finitos triangulares, indicados na figura 4.

Os dados de batimetria utilizados no modelo numérico, foram obtidos através de levantamentos efetuados pela Prefeitura Municipal de Belém em parceria com a Universidade Federal do Pará através da Fundação de Desenvolvimento e Amparo a Pesquisa – FADESP, através da técnica de levantamento topobatimétrico e referidas ao zero do maregráfo brasileiro, de Ibituba, Santa Catarina, adotada pela Companhia de Desenvolvimento e Administração da área Metropolitana de Belém - CODEM no levantamento aerofogramétrico de Belém (1964), onde o nível de referência – RN utilizado se encontra localizado na ponte sobre o canal Tucunduba na avenida Perimental localizada próxima a UFPA cuja cota é de 6,024m (CODEM).

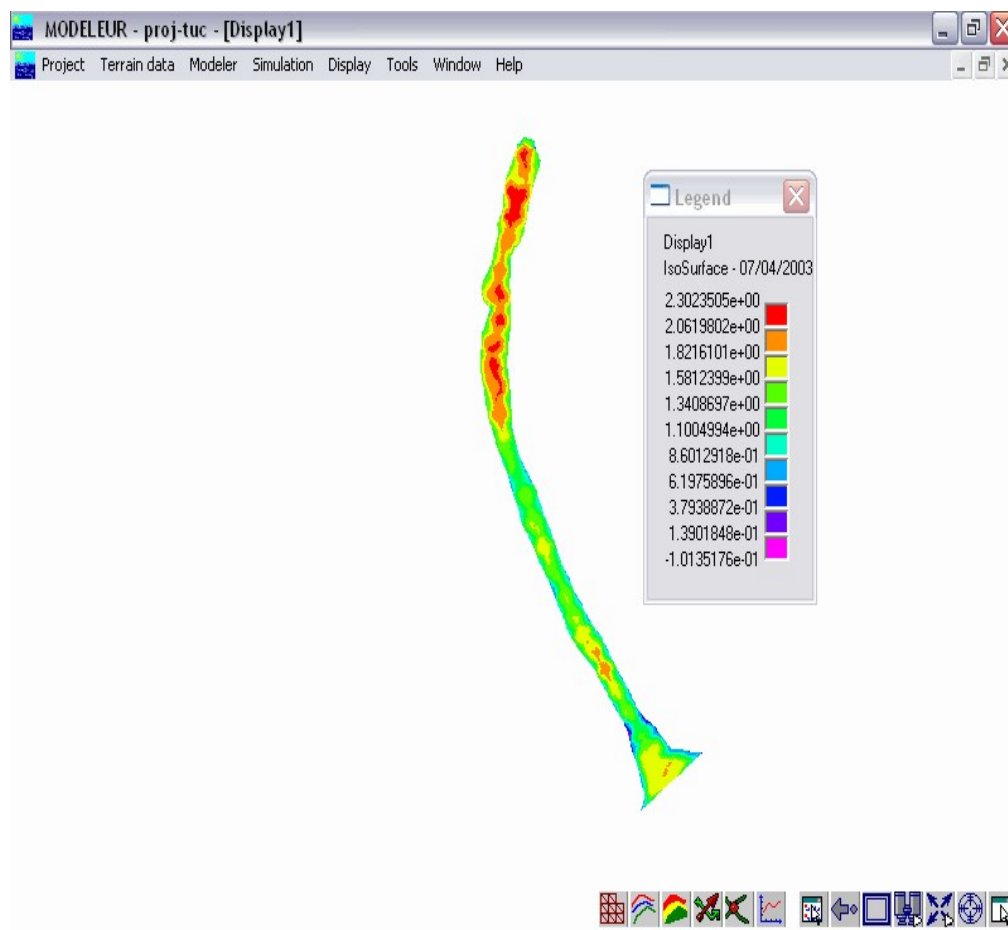


Figura 2: Batimetria da Bacia do Tucunduba

Os dados de níveis d'água como de vazão utilizados para a simulação foram obtidas através do levantamento efetuados pela Prefeitura Municipal de Belém no ano de 1997.

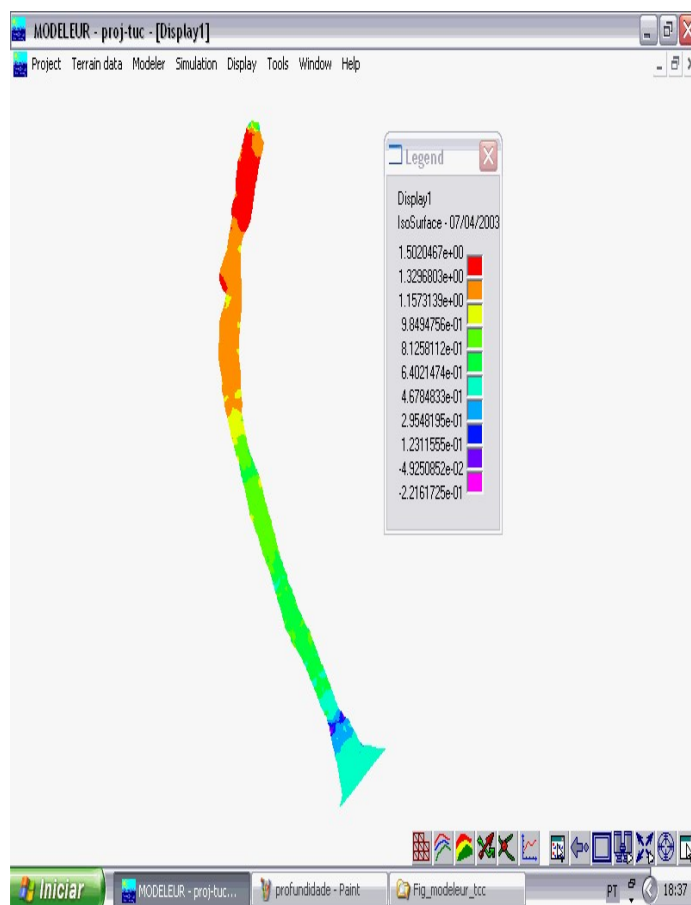


Figura 3: Nível d'água

RESULTADOS E DISCURSÕES

As simulações foram realizadas em condições de maré de vazante. Na figura 4 é mostrada uma das malhas de elementos finitos utilizados no processo de simulação. Na figura 5 é verificado o campo de velocidade para a maré de vazante. É notado a existência de diferentes valores de velocidade. De forma qualitativa o modelo hidrodinâmico é capaz de produzir não só o comportamento da maré de vazante como também de enchente. Nota-se claramente na figura 5, valores de velocidades maiores na entrada. Estes valores de velocidades podem ser explicados, pela aceleração que o escoamento sofre devido à batimetria peculiar do canal, é interessante notar ainda que o erro calculado na maioria das zonas sejam muito pequenas, porém existe pequenas zonas com erros muito altos, isso pode ser justificado devido nestes trechos apresentarem elementos distorcidos na malha de simulação, como é demonstrado na figura 5, é verificado ainda zonas de recirculação, uma próxima a entrada do canal e outra próxima a foz, somente através de uma descrição mais detalhada da batimetria da área, poderá permitir tal confirmação. Já os erros encontrados poderão ser corrigidos através de um melhor refinamento da malha utilizada para a simulação, pois quando mais refinada a malha a ser utilizada para a simulação mais próxima da realidade será o resultado obtido da simulação.

Na figura 3 é mostrada o nível da água de acordo com a simulação realizada no canal, sendo de extrema importância para o tráfego de embarcações nesta área. Na figura 2 é demonstrado os valores da profundidade do trecho estudado, figura 6 mostra campo topográfico utilizado.



Figura 4: Malha de Elementos Finitos Gerada

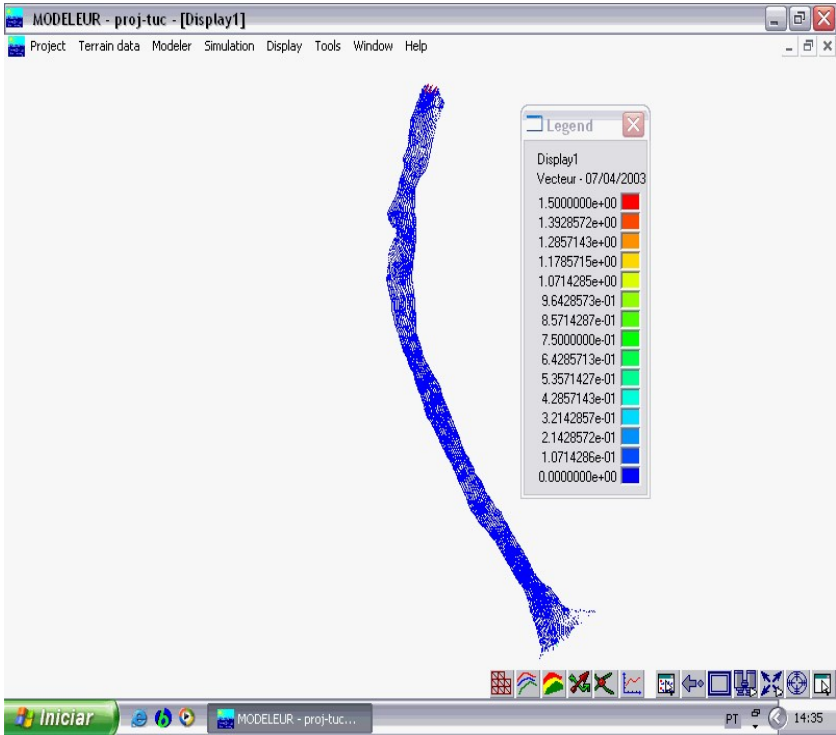


Figura 5: Campo de Velocidade para maré de Vazante

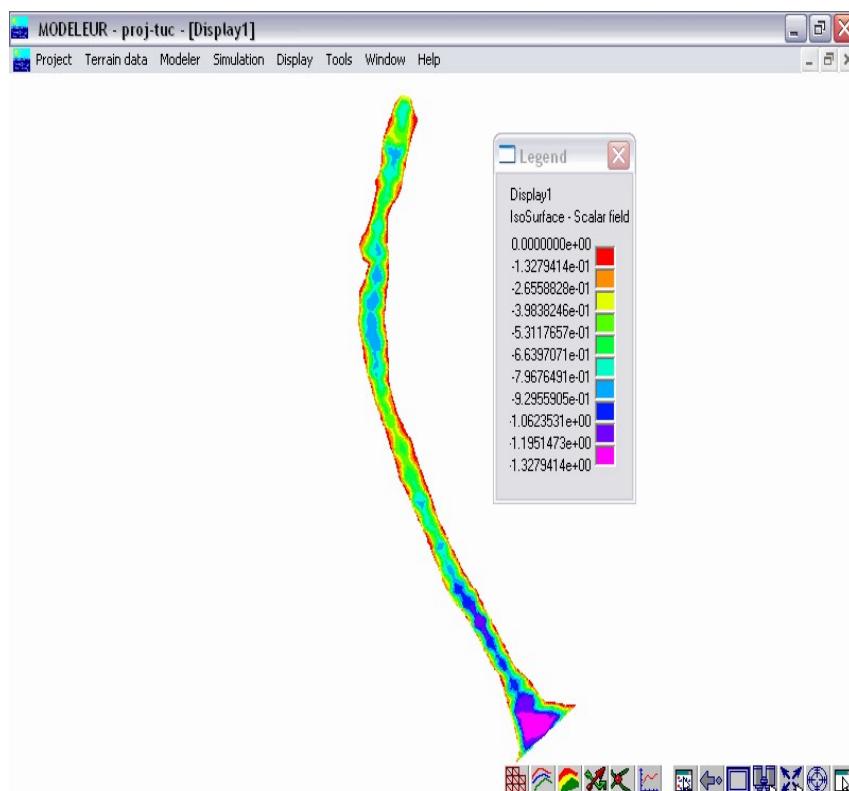


Figura 6: Campo Topográfico

AGRADECIMENTOS

A Prefeitura Municipal de Belém, por disponibilizar a base de dados para a realização do trabalho.

CONCLUSÕES

Com base no estudo realizado, pode-se concluir que a modelagem hidrodinâmica do escoamento do Tucunduba utiliza-se de sistemas que possuem complexas interações entre processos físicos, químicos e biológicos, nos quais a circulação da água circulação da água é o mais importante fator de controle desse processo.

Os resultados obtidos na simulação mostra duas áreas de recirculação da água, umas das hipóteses seria não apenas a sua geometria, como também a diferença de batimetria, que possui um efeito significativo no seu padrão de circulação, ou então aos elementos distorcidos na malha de elementos finitos utilizada na realização da simulação.

Tais características poderão favorecer a eliminação de poluentes, pois através do estreitamento e a mudança dos valos de batimetria na região de entrada do escoamento, gerando assim um efeito de jato que acarreta uma alta vazão ocasionando em sua proximidade zona de recirculação. Uma outra zona de recirculação aparece na região da foz, isto pode se possível, devido ao encontro com as correntes vindas do rio Guamá, que tenta entrar no canal, e aos valores de batimetria encontradas nesta área.

É importante salientar que além da análise do modelo hidrodinâmico da bacia do Tucunduba, é necessário também uma inclusão de dados mais completos na definição do modelo como verificação e validação do modelo utilizado.

Realização de estudos de transportes de sedimentos que servem como base ao planejamento de manutenção de canais, como também para o conhecimento do destino final destes poluentes, uma vez que os mesmos apresentam a característica de serem adsorvidos pelas partículas finas, o estudo do transporte e deposição dos sedimentos finos em regiões fluviais se apresenta como imprescindível para o completo gerenciamento ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1ARAÚJO, A. M., MELO, M. C. V., Efeitos do Local na Validação da Circulação (2D-H): Caso do Estuário do Recife.

2_____,PIRES, T. T., Simulação Exploratória dos Efeitos das Marés na Circulação e Transportes Hidrodinâmico da Bacia do Pina. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 3, no. 3, jul/set, 1998, p. 57-71.

3BORTHWICK, A.G.L. et al. Adaptive Hierarchical Grid of Water-Borne Pollutant Dispersion, Advances in Water Resources 23, p. 849-865, 1979.

4LOPES, D. F. ; BEZERRA, M. S. M. Avaliação dos Níveis de Contaminação do Igarapé Tucunduba: Evolução Histórica e Atuais Perspectivas. 2001. 65p. Tcc (Graduação em Engenharia Sanitária) - Centro Tecnológico, Universidade Federal do Pará, Belém, 2001.

5Fundação de Amparo do Desenvolvimento de Pesquisa/Secretaria Municipal de Saneamento FADESP/SESAN. Projeto de Drenagem e Revestimento do Canal Tucunduba. Belém, jun/set 1997, FADESP/SESAN.

6ERREIRA, C. F. Produção do Campo do Espaço Urbano e Degradação Ambiental: Um Estudo sobre a Várzea do Igarapé Tucunduba (Belém - PA). 1995. Dissertação (Mestrado em Geografia Física). Apresentada ao Departamento de Geografia FFLCH/USP. 170p. 1995.

7BRIEN, M. N. Análise Bacteriológica das Águas do Igarapé do Tucunduba do Município de Belém – PA. 2002. 41p. Tcc (Graduação em Biomedicina) – Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará, Belém, 2002.

8SECRETAN, Y. et al. Manual do software MODELEUR versão 1.0a07, INRS, jun. 2000