

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL APLICADA À DISPERSÃO DE POLUENTES E ANÁLISE DE RISCOS À CAPTAÇÃO DE ÁGUA NA ORLA DE MACAPÁ-AP

Luis Aramis dos Reis Pinheiro¹; Alan Cavalcanti da Cunha²; Helenilza Ferreira Albuquerque Cunha³; Leandro Rodrigues de Souza¹; Jaci Saraiva Bilhalva⁴.

1. Graduando em Física – UNIFAP, aramis.pinheiro@iepa.ap.gov.br; leandro.souza@iepa.ap.gov.br.

2. Prof. Dr., NHMET/IEPA, alan.cunha@iepa.ap.gov.br

3. Profª. Dra, Ciências Sociais e Coordenadora do PPGBIO/UNIFAP, helenilza.cunha@unifap.br

4. Profª. Dra. Pesquisadora SIPAM-AM, jacisaraiv@yahoo.com.br

RESUMO

Macapá é uma cidade típica da Amazônia que apresenta características de urbanização desordenada além de problemas variados relacionados ao saneamento básico. Neste caso há preocupação com potenciais impactos negativos de efluentes e esgotos atingirem o sistema de captação e abastecimento de água (CAESA), localizado às margens do rio Amazonas. O objetivo do estudo foi simular a hidrodinâmica local e a influência da dispersão de plumas de poluentes ao longo de um trecho significativo da orla urbana de Macapá. Foi utilizado o pacote computacional da Ansys CFX 11.0, no qual se empreendeu simulações numéricas para analisar o escoamento e as concentrações de poluentes na água. Nos resultados da análise foram consideradas sete fontes de poluentes pontuais hipotéticas sob regime transiente das marés semidiurnas, onde se avaliou os possíveis efeitos físicos da dispersão em um ponto de controle, localizado no sistema de captação de água. Concluiu-se que as plumas hipotéticas se apresentam como uma significativa ameaça ao ponto de captação de água de abastecimento da CAESA.

Palavras-chaves: Simulação; Dispersão; Poluentes; Marés; Saneamento

ABSTRATC

Computer Simulation Applied to the Dispersion of Pollutants and Environmental Sanitation: Potential Risks to the Water Supply System of Macapá-AP

Macapá is a typical city of the Amazon that has characteristics of chaotic urbanization in addition to various problems related to basic sanitation. In this case there are concerns about potential negative

impacts of effluent reaching the system of collection and water supply (CAESA), located on the margins of the Amazon River, estuarine coastal zone, Macapá. The aim was to simulate hydrodynamics local influences and possible spread of plumes of pollutants over a significant portion of the central urban zone of Macapá. For this objective was used a computer package of Ansys CFX 11.0, which carried out numerical simulations to model the flow and concentrations of pollutants in the water. In the analysis it was considered seven hypothetical point sources of pollutants under the transient tidal conditions and studied the effects of dispersion on the water supply system. The conclusions indicated that plumes hypothetical presenting as a potential threat to the water supply system.

Key-words: Simulation; Dispersion; Pollutants; Tidal; Sanitation.

Introdução

De acordo com Carrera-Fernandez e Garrido (2002) a demanda de água para uso humano surge tanto das atividades estritamente domésticas, quanto de quaisquer outras atividades praticamente inseparáveis destas e que também exijam requisitos de qualidade e quantidade, além da garantia de abastecimento. No século XX com a produção de milhares de compostos orgânicos sintéticos surgiram o problema da eutrofização acelerada dos rios e os riscos de doenças crônicas, associadas às concentrações muito baixas de micropoluentes, orgânicos e inorgânicos, que não são absolutamente removidos pelos sistemas convencionais de tratamento, como é o caso da maioria das Estações de Tratamento de Água no Brasil, apresentam-se com mais um risco à saúde pública.

No Amapá, assim como a maioria dos sistemas brasileiros, o tratamento da água na CAESA segue o mesmo processo de tratamento. Isto é, coagulação-floculação, sedimentação, filtração, desinfecção (cloração). Neste trabalho foram desenvolvidos estudos preliminares de simulação computacional do escoamento em superfícies livres em canais utilizando o modelo hidrodinâmico Shear Stress Transport (SST). A idéia foi simular a dispersão de poluentes na água na região que abrange a orla de Macapá (entre o Igarapé do Jandiá até o bairro Pedrinhas) e analisar a variação da concentração de potenciais poluentes, exatamente no posto de captação de água da CAESA.

METODOLOGIA

Área estudada

Alguns estuários, como o Amazônico, são típicos de regiões de planície costeira que se formaram durante a transgressão do mar no Haloceno, que inundou os vales de rios. Esses estuários são relativamente rasos, raramente excedendo 30 m de profundidade (Cunha et al., 2006). A área de seção transversal do rio, em geral, aumenta estuário abaixo, às vezes de forma exponencial e a configuração geométrica tem a forma de “V”, em que a razão entre a largura/profundidade, em geral, é grande. O Rio Amazonas, nos trechos estudados da zona estuarina estão na faixa de 25 a 40 m profundidade (Lung, 1993; Miranda et al, 2002 *apud* Cunha, 2006).

No presente estudo, as principais considerações são concernentes à geometria do canal. Desta forma, consideramos a região estudada como um “fundo plano”, com profundidade média de aproximadamente 10 m, para dar início às simulações, e simplificar a geometria próxima da margem esquerda do rio Amazonas em Macapá. Assim, consideramos os fenômenos de dispersão superficial como quase bidimensional (águas rasas) e o nível de água como constante para efeito de simplificação da análise.

Digitalização do Domínio - Geração da Geometria 3D da Orla de Macapá

Para a geração do domínio computacional da orla de Macapá em três dimensões foram usados dois softwares: *Techdig* e o *Solidworks CAD*, no Laboratório de Energia e Ambiente da UnB (LEA-UnB). O primeiro gera uma série de coordenadas

cartesianas (X,Y) demarcados usando uma imagem de satélite do domínio. Depois foi gerada a curva inserida no software *Solidworks CAD*, através do arquivo de texto do *Techdig*. Posteriormente é convertido em um esboço geométrico e usado um recurso de extrusão do plano formado. O recurso de extrusão serve para dar a dimensão de profundidade do domínio e transformá-lo em um sólido.

Geração da Malha Computacional - Elementos de Volume Finitos

Antes de gerar a malha computacional, ou grade, foi necessário importar a geometria criada no *Solidworks* para o software *Ansys Workbench 11.0*. Neste ambiente a malha é convertida para o formato de arquivo aceito pelo *Ansys CFX 11.0*. No procedimento metodológico a malha foi desenvolvida no módulo do software *Ansys Workbench 11.0*, *CFX - Meshing*, resultando uma estrutura de 211.364 nós e 791.708 tetraedros (elementos computacionais onde todas as soluções numéricas do escoamento são resolvidas numericamente).

Modelagem da Dispersão de Poluentes em Regime Transiente no Ansys CFX-11.0

O pacote comercial *ANSYS 11.0 (CFX 11.0)* resolve o problema do escoamento a partir da seguinte seqüência metodológica: a) *Ansys CFX - Pre* para o pré-processamento; b) *Ansys CFX - Solver* para o processamento da dinâmica de escoamento e dispersão de um passivo escalar (poluente); e c) *Ansys CFX - Post* para o pós-processamento (Pinheiro e Cunha, 2008).

No *CFX - Pré* determina as condições de contorno do problema de dispersão de poluentes, ou seja, parametrizam-se as informações como carga de poluente, pontos de emissão, velocidades de entrada e saída do trecho de rio em uma determinada região, vazões médias, entre outros. A segunda etapa do modelamento, *CFX - Solver*, são resolvidas as equações discretizadas de Navier-Stokes, permitindo o acompanhamento do processo de convergência do problema, assim como toda a informação do pré-processamento e os valores das variáveis em cada espaço de tempo. Após a obtenção da solução numérica e a convergência dos erros, no *CFX - solver*, inicia-se a fase do pós-processamento, *CFX - Post*. Nesta etapa são gerados os campos vetoriais e outras variáveis do

escoamento, além do campo de concentração do poluente na água. A visualização da simulação é gerada em 3D.

A dinâmica de descarga líquida (vazão) foi a principal variável de análise da variação da maré. Esta foi aproximada à uma curva senoidal, cujo efeito é aproximar a condição típica real do escoamento e gerar as condições de contorno e inicial numéricas. Isso permite o avanço temporal das iterações na etapa solver (Balanço de Massa e Resolução das Equações de N-S).

Resultados da Simulação Computacional

Após a obtenção da solução numérica e a convergência dos erros, inicia-se a fase do pós-processamento, CFX-Post. Nesta etapa são gerados os campos vetoriais e variáveis do escoamento, além do campo de concentração do poluente na água. A visualização da simulação é gerada em 3D.

Na Figura 1 encontra-se a distribuição da concentração dos poluentes exatamente no posto de captação da CAESA, ao longo de um ciclo de maré semidiurna de 12,30h.

Observou-se que o pico de concentração de poluente variou significativamente entre os intervalos de tempo de $t = 6h$ à $t = 9h$ após o início do ciclo de maré vazante ($t = 0$). Isto significa que durante 3h o posto de captação pode bombear para a ETA uma quantidade de água com elevada concentração de poluentes.

Os resultados das simulações podem ser observados na Figura 1.b, na qual é demonstrado o momento de maior concentração de plumas dos poluentes não-conservativos (com reação química de primeira ordem), no passo de tempo de $t = 495$ min ou após 8,25 h do início do ciclo de maré. Neste momento a maré já está em fase de cheia, e o valor da concentração atingiu 0.010777 Kg/m^3 .

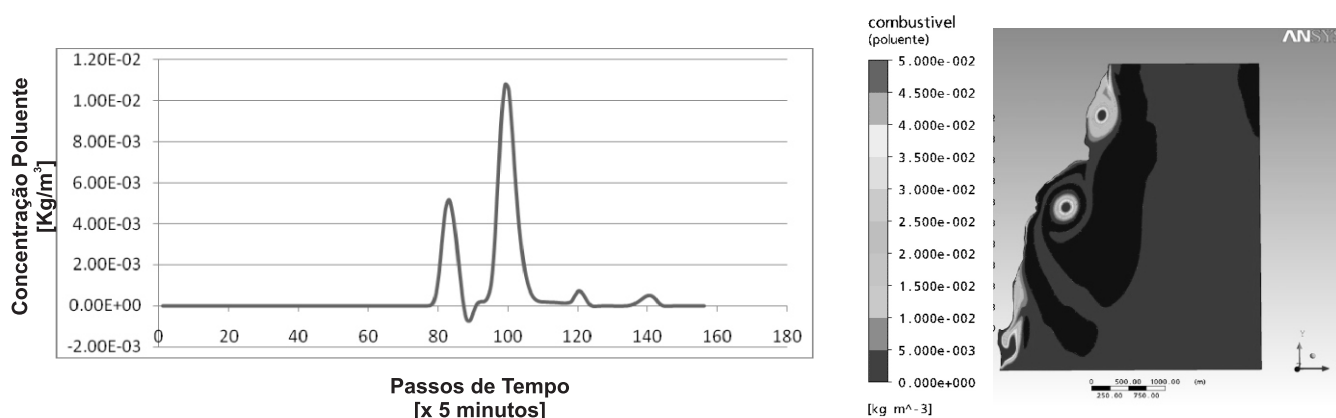


Figura 1 - (a) Esquerda – variação da concentração e pico de poluentes no posto de captação de água da CAESA no intervalo de tempo de 13h (ciclo de maré), entre 80 e 110 passos de tempos. (b) Direita - Momento de ocorrência do pico de concentração de poluente simulada no ponto de controle, em $t = 495$ min ou 8,25 h na baixa-mar.

CONCLUSÕES

O presente estudo avaliou problemas de poluição na zona estuarina de Macapá, os quais podem representar potenciais riscos ao sistema de abastecimento público de água da CAESA. Em síntese, observou-se os seguintes problemas:

- As plumas de poluentes, quando se consideram fontes contínuas e pontuais, durante um ciclo de maré semidiurna, alcançam em média uma distancia de aproximadamente 800 m além da orla da cidade, considerando que o posto de captação da CAESA está a apenas 500 m da

mesma. Portanto, prevê-se algum risco de impacto sobre a mesma.

- O desenvolvimento de modelos numéricos permite descrever com realismo a hidrodinâmica de plumas de poluentes e, desta forma, apresentam uma importância científica para alertar as instituições públicas, como a SEMA, SESA e a Defesa Civil, no gerenciamento de eventos adversos, naturais ou não, onde haja necessidade de evacuação e/ou paralização do sistema de abastecimento de água da capital Macapá, bem como alertar a população para tal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carrera-Fernandez, J. e Garrido, R. J. Economia dos recursos hídricos. EDUFBA, Coleção Pré-Textos. Salvador, BA. 2002.
- Cunha, A. C. et. al. Estudo numérico do escoamento superficial na foz do rio Matapi–Costa Interna Estuarina do Amapá. Proc. of the 11th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering - ENCIT 2006. Braz. Soc. of Mechan. Scie.s and Eng. ABCM, Curitiba, Brazil, Dec.5-8. 2006
- Pinheiro, L. A. R. e Cunha, C. C. Desenvolvimento de Modelos Numéricos Aplicados à Dispersão de Poluentes na Água sob Influência de Marés na orla de Macapá e Santana-AP, Relatório Técnico Parcial da SETEC/IEPA. Macapá, Amapá, Brasil. 2008.
- Lung, Seng-Wu. 1993. *Water quality modeling*. Vol III: Application to Estuaries. CRC Press, Inc.USA. 194 p.