

## UM PLANO DE AMOSTRAGEM DE QUALIDADE D'ÁGUA EM ESTUÁRIOS: CASO DO RECIFE

**Alex Maurício Araújo e Marcello Calado Vieira de Melo**

Departamento de Engenharia Mecânica - UFPE; Grupo de Mecânica dos Fluidos Ambiental - GMFA/UFPE  
Av. Acadêmico Hélio Ramos, S/N - CEP 50740-530 Recife, PE - <http://gmfa.demec.ufpe.br>  
[ama@npd.ufpe.br](mailto:ama@npd.ufpe.br)

### RESUMO

*Os rios e canais formadores do sistema estuarino do grande Recife são caracterizados hidrológicamente pelas suas mínimas vazões de base, principalmente nas épocas de estiagem na região, ocasiões mais críticas para a realização de amostragens da qualidade das águas. Desse modo, as vazões efetivamente disponíveis para o transporte e diluição dos efluentes líquidos, produzidos pela região metropolitana, seriam definidas pelo regime hidrodinâmico de propagação das marés pelas calhas do sistema. Este regime periódico oscilatório é comandado pela interação entre o volume de águas do mar, que aflui e eflui em função da variação de nível das marés, e a morfologia (planimetria e batimetria) das calhas. Por meio deste mecanismo, seriam desenvolvidos os campos de velocidades responsáveis pelos processos de transporte advectivos e dispersivos no estuário. Com o auxílio dessa tradução da complexa realidade modela-se, conceitualmente neste artigo, o que seria um regime hidrodinâmico médio para o estuário do Recife e descreve-se com base nesse modelo a metodologia proposta para o estabelecimento de um plano simplificado de amostragem de parâmetros de qualidade d'água. Os resultados obtidos com a metodologia proposta (com advecção), mesmo ainda em aplicação exploratória, contrastando com os usualmente realizados em situação de estófo de maré (sem advecção), ajudaram a identificar a influência da hidrodinâmica do fluxo da maré, no padrão típico de espalhamento no estuário dos indicadores de qualidade d'água adotados.*

### INTRODUÇÃO

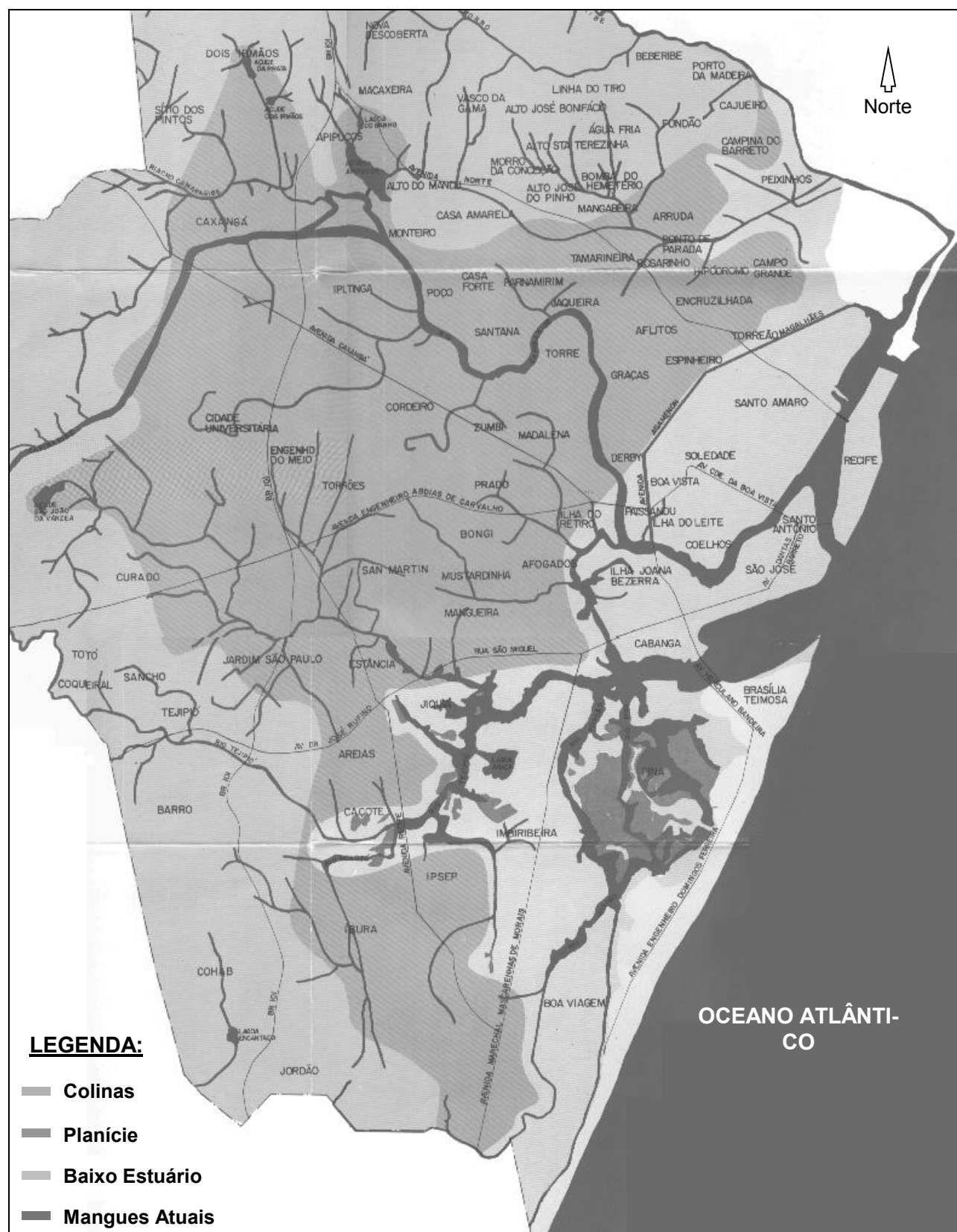
O sistema de esgotamento sanitário da cidade do Recife é realizado por meio de dois subsistemas principais, cerca de trinta e três subsistemas isolados de pequeno porte e de cinquenta e quatro sistemas condominiais. Nos últimos anos, as intervenções públicas e privadas na área do saneamento têm se concentrado na exe-

cução dos subsistemas secundários (isolados e condominiais) que apresentam como uma de suas características principais o fato de evitarem a implantação de longos emissários, sendo seus efluentes tratados ou não, lançados diretamente nos corpos d'água (canais, rios, manguezais, galerias, etc.) mais próximos integrantes do complexo de drenagem estuarina da região (Vasconcelos, 1998).

Este tipo de padrão de esgotamento sanitário, conduz a um sistema de disposição final de efluentes descentralizado, que repercute no ambiente hídrico receptor como um tipo de poluição difusa (Araújo & Calheiros, 1998 a). Os recursos hídricos de superfície componentes do sistema estuarino do Recife, em que são lançados efluentes, são em sua maioria locais de encontro das águas doce e salgada, dos seus sedimentos, flora e fauna. (Figura 1).

Do ponto de vista da drenagem, os recursos hídricos de superfície constituem-se nos naturais corpos receptores dos efluentes sanitários ou industriais. A qualidade da água que recebe despejos de efluentes dependerá basicamente dos regimes hidrodinâmicos indutores dos mecanismos de transporte advectivo e de dispersão, além das transformações químicas e biológicas sofridas pela mistura nos corpos d'água. Um maior entendimento, da complexa dinâmica dos sistemas estuarinos, pode ajudar muito na compreensão das interações dos vários fatores intervenientes objetivando o controle dos seus principais processos. Este é um requisito fundamental para a avaliação dos impactos físicos (hidrodinâmico e hidrológico) a serem capturados pelas amostragens, possibilitando um mais eficiente gerenciamento e adequado manejo dos recursos hídricos das áreas estuarinas (Fischer et al., 1979), (Araújo, 1993).

Para o planejamento, projeto, construção e operação de sistemas de disposição de efluentes torna-se necessário o monitoramento qualitativo e quantitativo dos recursos hídricos estuarinos em campanhas de extensão e duração bastante amplas, baseadas num plano de amostragem que estabeleça os métodos e procedimentos, além de determinar a frequência e os parâmetros a serem



**Figura1. Mapeamento dos recursos hídricos de superfície do Recife.**

pesquisados, objetivando a mitigação dos seus impactos ao meio ambiente (James, 1993).

## OBJETIVOS E ÁREA DE ESTUDOS

Os objetivos deste artigo são estabelecer as bases conceituais e aplicar, com base na metodologia proposta, um plano de amostragem de qualidade das águas para o estuário do Recife que possa contribuir para aumentar a compreensão do papel da hidrodinâmica das águas do sistema estuarino, na assimilação dos efluentes do sistema de saneamento da cidade.

O complexo estuarino da cidade do Recife é formado pela desembocadura comum dos rios Capibaribe, Tejió e Beberibe na sua planície (Figura 1).

O subsistema estuarino considerado para aplicação do plano proposto neste trabalho faz parte da bacia hidrográfica do rio Tejió, que tem como seus principais afluentes formadores os rios Jiquiá, Jordão, Pina e o canal do Setúbal, integrantes do estuário do Recife (Figura 2). A bacia possui uma área superficial de 93,2 km<sup>2</sup>, alta impermeabilização do solo em função de sua avançada urbanização, e uma topografia de planície, elementos que potencializam características capazes de induzir uma rápida drenagem das águas pluviais. O rio Tejió apresenta uma extensão, desde sua nascente até a foz, de aproximadamente 20 km. Parte integrante deste complexo estuarino é a bacia do Pina reconhecida como uma área de importância estratégica para o planejamento de um polo de turismo ancorado na promoção de eventos ligados ao lazer e esportes náuticos, local de grande beleza estética, potencialmente capaz de resgatar o aspecto turístico diferencial "fluvial estuarino" da cidade do Recife (Araújo & Pires, 1998).

## METODOLOGIA DO PLANO DE AMOSTRAGEM

Os estuários constituem-se em ambiente particularmente difícil para a coleta de dados de campo. A logística de apoio a pessoal e equipamentos em barcos e em terra tornam a investigação da dinâmica estuarina uma tarefa árdua e de alto custo (James, 1993).

Para se caracterizar espacial e temporalmente a qualidade da água em estuários a concepção, o planejamento e o controle de um minucioso plano de amostragem se constitui em tarefas essenciais. (Fischer et al., 1979).

A metodologia proposta consiste na montagem de um minucioso plano de amostragem baseado no estabelecimento de critérios para a localização e números das estações de coleta, no conceito de regime hidrodinâmico médio do estuário e sua associada identificação do cronograma e "timing" do processo de coletas, e na definição de parâmetros e dos métodos e técnicas empregadas durante os trabalhos de campo e de laboratórios.

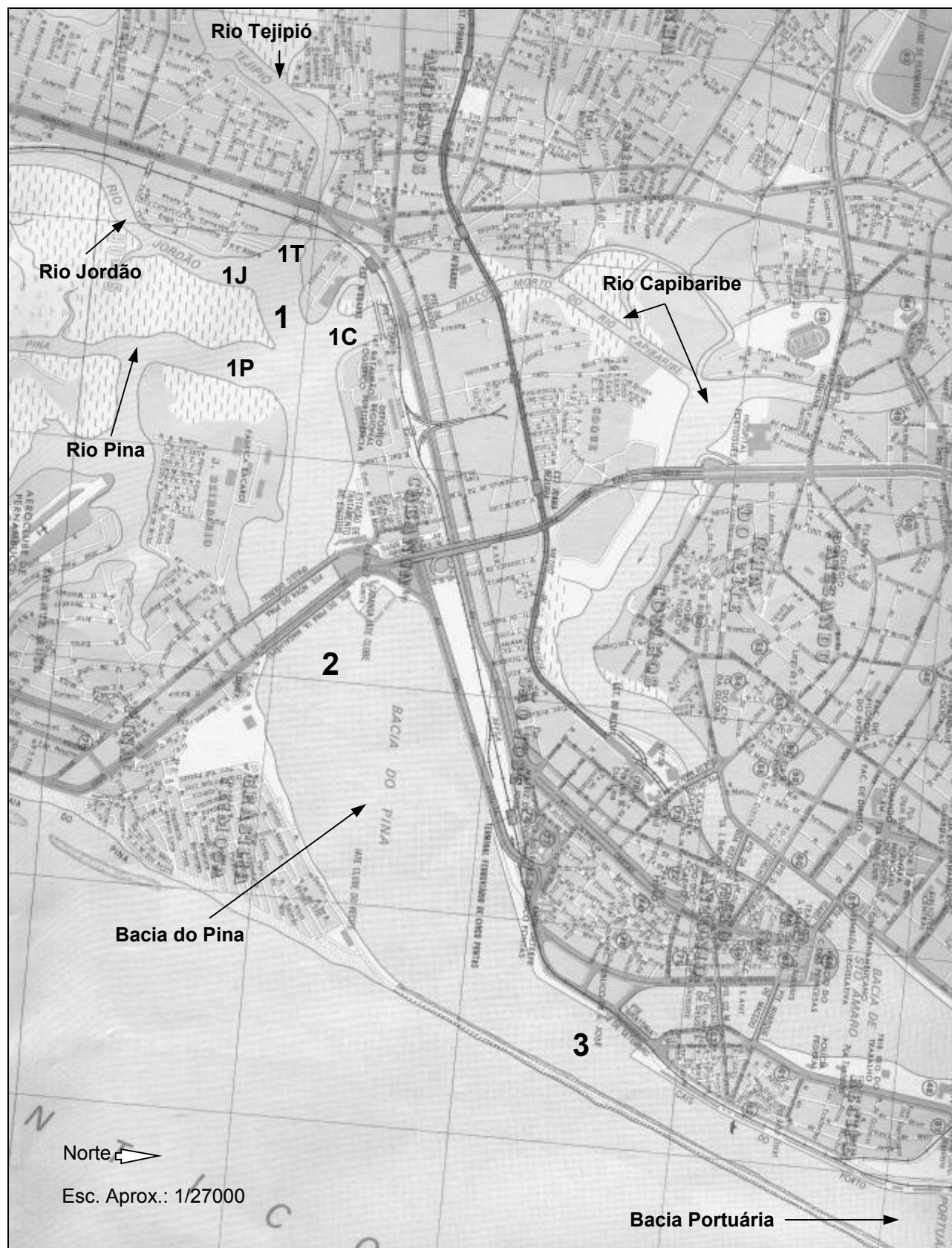
## Localização das estações de coleta

A dimensionalidade do fenômeno de transporte de poluentes deve ser muito bem examinada antes da adoção de um determinado modelo (Eiger, 1991). Considerando-se a forma canalizada do estuário do Recife (Figura 2), em primeira aproximação da realidade, pode-se simplificar o problema real, através do modelo conceitual unidimensional longitudinal, em que o sistema estuarino é segmentado em trechos. Nesta conceitualização a amostra deve ser representativa, ou seja, os parâmetros da amostra devem ter o mesmo valor médio que apresenta o corpo d'água na seção transversal e no instante da amostragem.

Para se proceder a segmentação do sistema estuarino em um número suficiente de trechos, definidos como a porção do estuário compreendida entre dois pontos nos quais pode ocorrer mudança significativa nos parâmetros descritores da qualidade d'água, em geral se utiliza dos seguintes critérios:

- identificação dos locais de aflúncias de importância para a vazão e qualidade da água do canal principal de escoamento;
- identificação dos locais de lançamentos de efluentes das ETE's - Estação de Tratamento de Esgotos - atuais e projetadas;
- identificação de locais onde ocorrem alterações importantes no desenvolvimento e geometria do canal principal.

Em condições ideais, todos os pontos encontrados com o uso destes critérios, deveriam potencialmente constituir locais de coleta de dados. Na prática, é comum serem adotadas outras hipóteses simplificadoras adicionais que conduzem a uma redução no número das estações de coleta, obtido com o procedimento acima. A Figura 2 também indica de modo esquemático a localização final das estações de coleta, identificadas nessa aplicação, essencialmente por critérios de aflúncias importantes e de representatividade das amostras para o processo unidimensional de transporte



**Figura 2. Detalhe do trecho estudado e localização esquemática das estações de amostragem.**

hidrodinâmico modelado, conforme (Feitosa, 1988), (GMFA, 1998 b) e (Araújo & Calheiros, 1998 b).

## Regime hidrodinâmico médio

Nos estudos de qualidade d'água em rios, usualmente são utilizados modelos probabilísticos para a descrição do comportamento estatístico do seu regime hidrológico. Com essas ferramentas, pode-se obter informações sobre a época mais adequada para a programação do plano de amostragem da qualidade das águas. Em geral, a qualidade das águas será mais crítica durante o período das vazões mínimas, daí a necessidade do conhecimento das probabilidades dessas descargas críticas. Nestes casos, o evento mínimo considerado pode ser a vazão mínima do ano, que é o menor valor de descarga média diária que ocorreu no ano de observação, ou a vazão mínima de período de retorno igual a dez anos e permanência de sete dias (Araújo, 1977).

Os rios e canais formadores do sistema estuarino do Recife, são caracterizados hidrológicamente pelas suas baixas vazões de base, principalmente nas épocas de estiagem na região que ocorrem geralmente durante os meses de setembro a fevereiro, segundo dados de média anual de precipitação pluviométrica coletados desde 1961 pela Estação Meteorológica do Curado (Recife - PE). O regime hidrodinâmico do sistema estuarino, na época das vazões mínimas, é comandado pela interação entre o volume de águas do mar, que afluí/eflui em função das variações das alturas das marés, e as planimetria do estuário e a batimetria das suas calhas. Essa interação produz os campos de velocidades responsáveis pelos processos de transporte advectivos e dispersivos (Araújo & Pires, 1998).

Considerando-se que as alturas das marés, a planimetria e batimetria do estuário não se alteram de modo importante com a escala de tempo dos levantamentos, além de que as vazões dos efluentes das ETE's lançadas no sistema não sejam capazes de alterar de modo significativo as condições do seu fluxo médio, conforme demonstrado em (Araújo & Calheiros, 1998 a), infere-se, então que um regime hidrodinâmico médio do sistema estuarino, pode ser antecipado com boa aproximação.

Nessas condições, conceitua-se o regime hidrodinâmico médio como aquele gerado pela distribuição do volume d'água de maré (prisma de maré) decorrente da amplitude média anual das marés no sistema estuarino. Este regime conceitual será usado para definir o cronograma do plano de

amostragem da qualidade das águas no estuário. A justificativa para tal modelo deve-se ao fato de que estas condições hidrodinâmicas são indicativas de valores médios periódicos, ou seja, haverá repetidamente em todos os anos aproximadamente um mesmo número de maiores e de menores valores de volumes que este valor médio, circulando e renovando suas águas no sistema estuarino.

## Identificação do cronograma de coletas

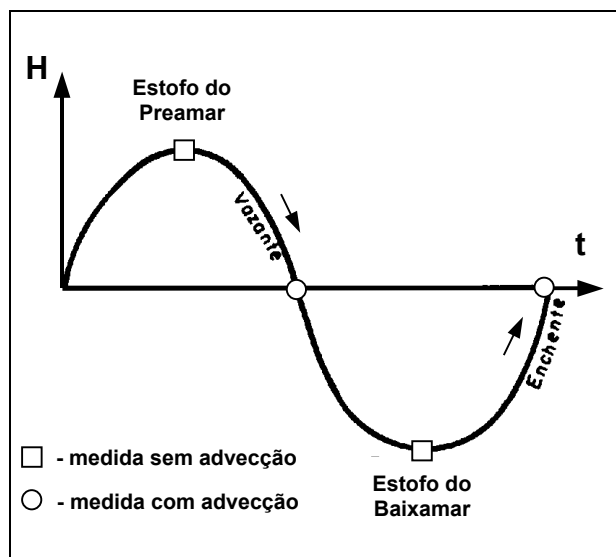
Baseando-se nos dados das Tábuas de Marés elaborada pela Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil, para o Porto do Recife (DHN-MB, 1994) calcula-se a amplitude média das marés de cada mês. Com esses valores estima-se a amplitude média anual.

Esta última informação possibilita a identificação das marés (dias do mês) que atendem ao critério de apresentarem amplitude dentro de uma certa faixa de tolerância adotada para o valor da amplitude média anual.

Essas marés constituem um conjunto de dias em que deverão ser realizadas todas as medidas e coleta de material de campo, pois proporcionam pelas hipóteses do modelo conceitual adotado, as condições médias anuais de diluição e de assimilação de efluentes. Em seguida avalia-se para cada dia com maré selecionada, os instantes no entorno da sua altura (H) média de afluxo e de efluxo respectivamente, e fixa-se uma tolerância ( $\pm 30$  minutos) para a execução dos processos de medidas e coletas. Estes instantes correspondem à situação de energia, induzida pelas marés no estuário, em que a forma cinética estaria mais disponível para realizar o processo de transporte advectivo (Figura 3).

Com o emprego dessa metodologia simplificada torna-se possível estabelecer um cronograma temporal detalhado para a realização do programa de amostragem que deve envolver tanto medidas diretas quanto a coleta de material para ensaios em laboratórios (GMFA, 1998 b).

De fato a elevação e descida da superfície da água do mar, na entrada do estuário (Porto do Recife), causa gradientes superficiais que resultam na propagação de uma onda gravitacional para o interior do estuário (Melo, 1998). A velocidade da propagação desta onda depende da profundidade da água e, conseqüentemente, da amplitude da maré na boca do estuário. Durante as marés vazantes, quando o nível d'água desce, a celeridade diminui e a influência da onda torna-se mais fraca. Isto pode originar um processo de escoamento



**Figura 3. Ciclo de maré e instantes de coleta no estuário.**

movido apenas por gravidade e, em estuários com vastas áreas de águas rasas, causar um período mais prolongado de efluxo pelos seus canais principais.

Sendo assim, o cronograma das amostragens não deveria levar em conta apenas os valores das alturas das marés no Porto do Recife, pois fenômenos como o descrito acima podem conduzir a acentuadas variações tanto na periodicidade como na amplitude do sinal propagado pela hidrodinâmica estuarina ao longo do estuário.

De fato o processo de propagação hidráulica das marés, num estuário, pode ser melhor compreendido pelo monitoramento das variações dos níveis d'água simultaneamente em várias estações distribuídas ao longo de sua extensão, (GMFA, 1998 a).

## Definição dos parâmetros investigados

A idéia de que a qualidade da água é uma dimensão de caracterização a ser explicitada, em números, é relativamente recente (Porto, 1991). O monitoramento da qualidade da água exige que sejam estabelecidas formas de acompanhamento da variação de indicadores da qualidade da água. Critérios de qualidade da água especificam concentrações e limites de alguns parâmetros que interferem na manutenção do ecossistema aquático e na proteção da saúde humana.

As medidas de OD - Oxigênio Dissolvido são vitais para a manutenção de condições oxidan-

tes (aeróbias) para degradar a matéria orgânica. Sua manutenção em níveis adequados é essencial aos usos recreativos, de lazer e mesmo estéticos. Em geral considera-se o OD - Oxigênio Dissolvido como o principal parâmetro para avaliar o impacto ambiental de efluentes orgânicos lançados nas águas receptoras. O (OD) é importante para a vida aquática porque dependendo das espécies consideradas, quando o seu nível cai abaixo de 4 a 5 mg/l, ocorrem mortandade. O levantamento do (OD) atual deve estar associado à medida da T - temperatura da água, para com ela ser encontrada a concentração de saturação de (OD).

O conteúdo de matéria orgânica de uma água, natural ou introduzido pelo homem, pode ser estimado através de parâmetros, sendo o principal a DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio que avalia a quantidade de (OD) em mg O<sub>2</sub>/l, que será consumida pelos organismos aeróbios ao degradarem a matéria orgânica em um período de tempo pré-fixado. A (DBO) padrão é a de cinco dias à temperatura de 20 °C. Através da (DBO) se estima a carga orgânica de corpos d'água, de efluentes, e as necessidades de aeração para degradá-la em ETE's. A DBO retrata a quantidade de oxigênio requerida para estabilizar, através de processos bioquímicos, a matéria orgânica carbonácea. Seu controle pode levar à situação que não conduza a um excessivo abatimento dos níveis de OD das águas receptoras.

A determinação da potencialidade de uma água transmitir doenças pode ser feita de modo indireto, através dos organismos indicadores de contaminação fecal, pertencentes às bactérias do grupo coliforme. Os CF - Coliformes Fecais são um grupo de bactérias indicadoras de organismos originários do trato intestinal humano e de animais de sangue quente (Sperling, 1996). Os Coliformes podem ser usados como indicadores de organismos patogênicos de origem fecal (CF - Coliforme Fecal) e fornecem uma medida de segurança para usos d'água como recreação e lazer de contato primário (natação, esqui, surfe, etc.).

## Métodos e técnicas empregadas

A confiabilidade de um plano de amostragem, para a avaliação da qualidade de um corpo d'água, depende fundamentalmente, das técnicas de amostragem envolvendo uma seleção criteriosa dos locais de coleta e o uso correto das técnicas de coleta e sua preservação (Coimbra, 1991). A coleta de amostras para a determinação da qualidade das águas deve seguir o mesmo padrão de rigor técnico que as demais etapas de um plano de amostra-

gem, para a obtenção de uma amostra ou séries de amostras que representem o todo. Utilizou-se em todas as estações estudadas a técnica de amostragem simples, em um ponto central da seção transversal do estuário acerca de 50 cm de profundidade.

Em cada seção, as águas a serem examinadas foram coletadas com o auxílio da garrafa de Nansen, sendo dela retiradas três diferentes amostras para avaliação das concentrações de OD, DBO, e Coliformes Fecais. As amostras foram acondicionadas em vasilhames de 250 ml e mantidas sob controle de temperatura até a realização dos ensaios nos laboratórios do Departamento de Oceanografia da UFPE. A amostra para determinação da concentração de OD foi fixada com Sulfato de Manganês e solução alcalina de Iodeto de Potássio. Para acondicionamento das amostras a serem utilizadas para a determinação de Coliformes Fecais, foram utilizados vasilhames esterilizados fornecidos pelos laboratórios da CPRH - Companhia Pernambucana de Recursos Hídricos e do ITEP - Instituto Tecnológico de Pernambuco.

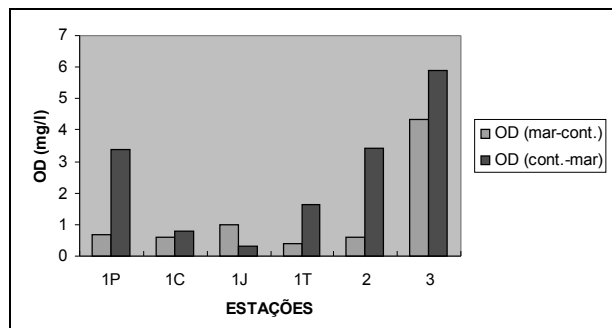
As análises físico-químicas foram efetuadas conforme as técnicas recomendadas, por Strickland & Parsons (1972), e consistiram na determinação do teor de OD, pelo método de Winkler, e na determinação da DBO, pelo método da diluição e incubação.

As análises bacteriológicas consistiram na determinação do Número Mais Provável (NMP) de Coliformes Fecais pela técnica de fermentação dos tubos múltiplos, conforme o "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (A.P.H.A., 1989).

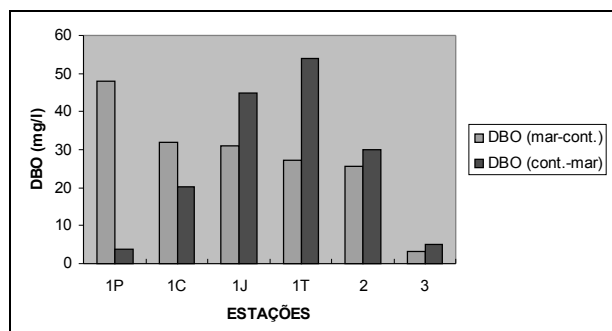
## RESULTADOS OBTIDOS DA APLICAÇÃO DO PLANO

Durante o desenvolvimento, calibração e validação de um modelo unidimensional de qualidade das águas do estuário do Recife, (GMFA, 1998 b), houve a necessidade de se estudar, planejar e executar um programa de amostragem para o estuário.

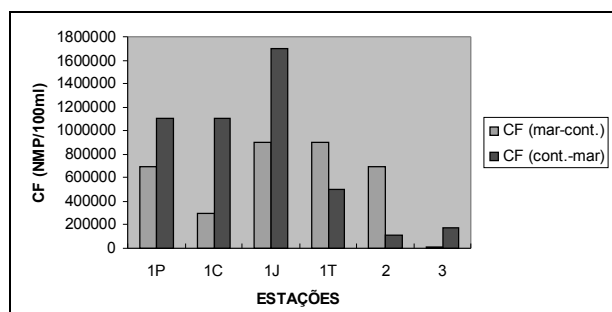
As Figuras 4, 5 e 6 a seguir, mostram a média aritmética dos resultados obtidos para os descritores de qualidade d'água OD, DBO e CF durante os dias 20, 21 e 22 de junho de 1995, indicativos de cerca de seis ciclos completos de maré de amplitude média anual, que aproximam valores médios temporais representativos daquela maré no estuário, (Weisberg, 1976) e (Kjerfve, 1978). Esses dados foram coletados dentro dos critérios estabelecidos neste artigo, com exceção, apenas do re-



**Figura 4. Distribuição de OD por estações de coletas no estuário.**



**Figura 5. Distribuição de DBO por estações de coletas no estuário.**



**Figura 6. Distribuição de CF por estações de coletas no estuário.**

gime hidrológico, visto que o mês de junho está entre os de maiores ocorrências de precipitações pluviométricas em Recife.

Da Figura 4 observa-se um padrão de consistência no "sinal" das diferenças de magnitudes em cada estação para o OD em quase todas as estações de coletas, com exceção da 1J (foz do rio Jordão), Figura 2. Este resultado sugere que o período de vazante é o mais benéfico para o estuário em termos de OD. Da Figura 5 nota-se o mesmo fato observado na Figura 4 com exceções, neste caso, para as estações 1P (foz do rio Pina) e 1C (braço sul do Capibaribe), Figura 2, sugestivo



de acúmulo de poluentes no período de enchente devido ao represamento das águas sob a influência da maré. Já os resultados para CF apresentados na Figura 6, mostra um desvio do comportamento padrão que se notava para o OD e a DBO, principalmente por conta dos resultados obtidos na estação de coleta 2. Os resultados para OD e DBO guardam semelhança com os de Ferreiro (1988) para o estuário do rio Jacuípe/BA que relacionou-os com a salinidade média, (Araújo & Calheiros, 1998 b).

## COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

Visando facilitar a interpretação e discussão dos resultados apresentados, nas Figuras 4, 5 e 6 procurou-se um outro conjunto de dados locais, para manter a característica de estudo de caso, que pudesse estabelecer um efetivo e consistente contraste entre condições hidrodinâmicas de levantamentos. O trabalho de Feitosa (1988), apresenta resultados coletados em 1986 durante os estofos de preamar e baixa-mar, praticamente nas mesmas estações e com as mesmas técnicas de amostragem. Como seu trabalho procurava investigar influências sazonais há resultados para cada mês. Em vista das condições de energia de maré das suas coletas, passa-se a chamar seus dados de “sem advecção”.

Por conta da restrição, exposta no item anterior, quanto às condições hidrológicas dos dados “com advecção” deste artigo, escolheu-se para fins de comparação dados “sem advecção” nos meses de junho/86 (com chuvas) e janeiro/86 (sem chuvas). Nos resultados apresentados por Feitosa (1988) não há coletas próximo da foz de cada rio contribuinte para o estuário (P, J, T e C) e sim apenas em um ponto (1), da foz comum, indicado na Figura 2. Para viabilizar a comparação direta entre os resultados das Figuras 4, 5 e 6 com os de Feitosa realizou-se um balanço de massas com os valores dos parâmetros “com advecção” nas estações (P, J, T e C) e associou-se esse novo valor balanceado como representativo da estação 1. Os resultados então obtidos estão apresentados nas Figuras 7, 8 e 9.

Do gráfico da Figura 7 pode-se distinguir com clareza que os resultados das amostragens de OD, realizadas com advecção no estuário, apresentaram valores inferiores daqueles realizados nos estofos das marés, independentemente da condição hidrológica ser com chuvas (junho) e sem chuvas (janeiro). Observa-se também o padrão do perfil de OD com advecção no sentido mar para continente esteve abaixo do de sentido continente

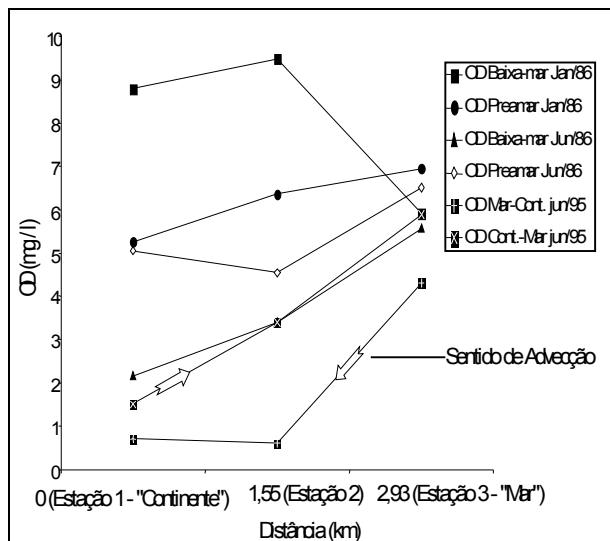


Figura 7. Perfis de OD no estuário.

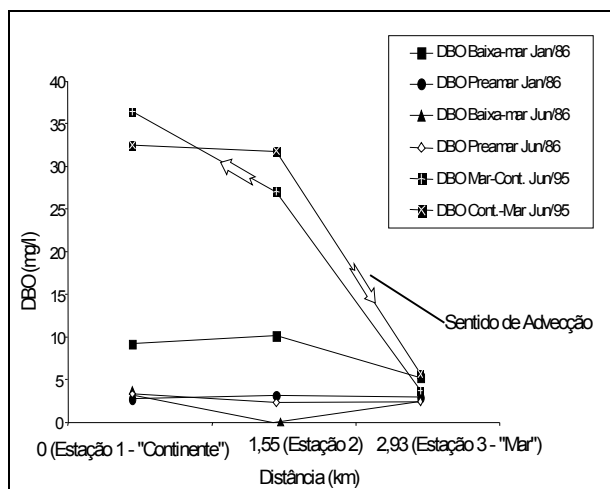


Figura 8. Perfis de DBO no estuário.

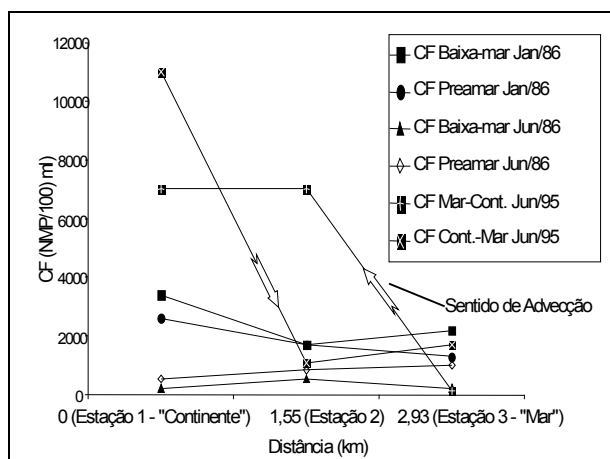


Figura 9. Perfis de CF no estuário.



para mar. Também pode ser observado que as vazões fluviais aportadas ao sistema no período mais chuvoso apresentaram uma tendência a reduzir o padrão do perfil de OD, comparativamente ao período sem chuvas.

Da Figura 8 pode-se depreender que a advecção parece contribuir de modo decisivo para o aumento do padrão do perfil da DBO média no estuário o que poderia ser explicado seja pela mais efetiva mistura entre águas, revolvimento do material de fundo, ou mesmo liberação ao fluxo principal de águas estagnadas em áreas marginais do sistema (fontes de poluição difusa) como efeito decorrente da advecção diferenciada (Eiger, 1991). Da comparação entre as Figuras 7 e 8 pode-se notar uma associação direta entre baixos valores relativos de OD com altos valores relativos de DBO.

O gráfico da Figura 9 sugere que a advecção, principalmente, a de sentido mar para continente, estabelece condições favoráveis para presença de maiores concentrações de CF no estuário, o que poderia ser explicado pelo refluxo de contaminantes ainda não expelidos para o mar cuja influência também dependeria do tempo de decaimento dos CF. Nota-se de modo claro, também neste caso, o papel da advecção influenciando de modo importante a magnitude das concentrações obtidas.

## CONCLUSÕES

Modelou-se conceitualmente o que seria um regime hidrodinâmico médio para o estuário e descreveu-se a metodologia proposta para o estabelecimento de um modelo simplificado de plano de amostragem, de parâmetros de qualidade d'água, no estuário do Recife. Os resultados obtidos, com o método proposto, indicam a importância da magnitude e sentido dos processos advectivos da propagação da maré, pelo estuário, nos padrões de espalhamento dos parâmetros de qualidade estudados. O OD diminuiu em relação aos estófos e apresentou maiores valores no refluxo da maré, a DBO aumentou apresentando maiores valores também por ocasião do refluxo e o CF apresentou em geral, aumento de suas magnitudes. Em vista do período de tempo decorrido entre os levantamentos comparados, cerca de nove anos, não se pode ainda ter estes resultados como definitivos sobre o papel da advecção na qualidade das águas do estuário, já que os dados originados deste trabalho poderiam estar incorporando o acréscimo de carga orgânica que vem sendo lançado no sistema (Araújo & Calheiros, 1998 a). Planeja-se realizar novos levantamentos, de preferência num mesmo ciclo de maré, em situação de advecção e

ciclo de maré, em situação de advecção e de estófa, objetivando esclarecer este aspecto em particular.

Numa visão prospectiva, a partir dos resultados deste trabalho, pode-se afirmar que a melhoria da compreensão da complexa circulação hidrodinâmica, deste corpo d'água, poderá ser alcançada com a intensificação da aplicação de mais esforços associados das áreas experimental e de modelagem conceitual e matemática dos sistemas estuarinos.

## AGRADECIMENTOS

Este estudo foi apoiado pelo CNPq (processos 520327/95-0), PCR/DIRBAM - Prefeitura da Cidade do Recife e FACEPE. O segundo autor concluiu Engenharia Mecânica na UFPE e foi bolsista de IC do GMFA-UFPE.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, A. M., CALHEIROS, M. C. (1998a) Impacto das vazões das ETE's atuais e projetadas nos escoamentos em Recife/PE - V Congresso Norte-Nordeste de Engenharia Mecânica - Fortaleza, *Anais do V CEM - NNE*, p. 426-32.
- ARAÚJO, A. M.; CALHEIROS, M. C. (1998b) Perfis Longitudinais de Valores de Salinidade no Estuário do Rio Tejió/Recife, PE. *Revista Ciência & Engenharia*, ano 7 n° 1, p. 18-23.
- ARAÚJO, A. M. (1993) *Um sistema computacional para a simulação do escoamento e transporte fluido turbulentos em corpos d'água rasos usando técnicas de filtragem*. Tese de D. Sc. em Engenharia - COPPE-PEC/UFRJ. Rio de Janeiro, p. 136.
- ARAÚJO, A. M. (1977) *Um modelo matemático para simulação e otimização do controle da qualidade d'água em sistemas fluviais*. Tese de M. Sc. em Engenharia - COPPE-PEC/UFRJ. Rio de Janeiro, p. 87.
- ARAÚJO, A. M.; PIRES, T. T. (1998) Simulação Exploratória dos Efeitos das Marés na Circulação e Transporte Hidrodinâmicos da Bacia do Pina, *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, vol. 3, n° 3, p. 57-72.
- A.P.H.A. (1989) *Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater*, 17th edition, Part. 9000 (9221).
- COIMBRA, R. M. (1991) Monitoramento da Qualidade da Água, cap. 4 em *Hidrologia Ambiental*, *Coleção ABRH*, vol. 3 p. 391-411.
- DHN-MB (1994) Diretoria de Hidrografia e Navegação. Ministério da Marinha. *Tábuas das Marés para 1995*, ed. 32, Rio de Janeiro.

EIGER, S. (1991) Qualidade da água em rios e estuários, cap. 1 em Hidrologia Ambiental, *Coleção ABRH* vol. 3, p. 69-161.

FISCHER, H. B. et al. (1979) *Mixing in inland and coastal waters* - Academic Press.

FERREIRO, M. F. S. (1988) A maré e a qualidade das águas, *Revista DAE*, vol. 48 n° 151, p. 59-61.

FEITOSA, F. A. N. (1988) *Produção primária do fitoplâncton correlacionada com parâmetros bióticos e abióticos na bacia do Pina (Recife, Pernambuco, Brasil)*. Tese de M. Sc., Curso de Mestrado em Oceanografia Biológica, UFPE, p. 270.

GMFA-UFPE (1998a) *Levantamento da Propagação da Maré Hidráulica e Batimetria para a Navegabilidade do Rio Massangana-Suape*, Relatório técnico final para SUAPE - Complexo Industrial Portuário, vol. único, p. 1-100, Recife.

GMFA-UFPE (1998b) *Estudo da Qualidade das Águas da Bacia do Rio Tejiú, Relatório Final*, PCR-SEPLAM/DIRBAM-Proest, p. 73.

JAMES, A. (1993) *An Introduction to Water Quality Modelling* - John Wiley e Sons.

KJERFVE, B. (1978) *Bathymetry as an indicator of net circulation in well mixed estuaries*. *Limnol. Oceanogr.*, 23 (4), 816-821.

MELO, E. (1998) Considerações sobre a hidráulica de canais fluviais e de canais de maré. *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, vol. 3, n° 2, p. 95-107.

PORTO, M. F. A. (1991) Estabelecimento de Parâmetros de Controle da Poluição, cap. 3 em Hidrologia Ambiental, *Coleção ABRH*, vol. 3, p. 375-89.

SPERLING, M. V. (1996) *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*, vol. 1, DESA-UFMG.

STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R. (1972) *Manual of Seawater Analysis*.

VASCONCELOS, R. F. A. (1998) Saneamento do Recife. *Cadernos do Meio Ambiente do Recife - Prefeitura da Cidade do Recife/SEPLAM* - vol. 1 n° 2.

WEISBERG, R. H. (1976) *A note on estuarine mean flow estimation*. *J. Mar. Res.* 34:387-394.

## **A Water Quality Sampling Plan in Estuaries: The Recife Case**

### **ABSTRACT**

Rivers and channels forming the Recife estuarine system are hydrologically characterized by minimum flow rates, specially during dry periods in the region, when water quality sampling tests are critical. Thus, the effective flow available to transport and dilute liquid effluents produced by the city and its surroundings is defined by a hydrodynamic tidal routing regime throughout the system. This oscillatory, periodic regime is governed by interaction between the sea volume, which goes up and down because of the sea level variation, and its morphology (depth and surface area). The velocity fields, responsible for the advective and dispersive processes in the estuary, are developed by this mechanism. This article conceptually models what could be accepted by an average hydrodynamic regime for the estuarine region and presents a methodology in order to establish a simplified model plan for surveying water quality parameters in the Recife estuary. In the typical spreading pattern of the water quality indicators used, the results obtained from advection, even though still an exploratory application, helped to identify the influence of advection magnitude and direction caused by tidal flow, when compared with non-advective results.