

Estimativa do potencial de sedimentação e erosão: caso Manguezal do Pina, Recife (PE)

Estimating the potential for sedimentation and erosion: the case of Manguezal do Pina, Recife (PE), Brazil

Alex Maurício Araújo

Doutor. Professor do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Ana Lúcia Braga Mineiro

Mestranda em Engenharia Mecânica pela UFPE

José Ramon de Barros Cantalice

Doutor. Professor do Departamento de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

Resumo

O processo de desenvolvimento da sociedade moderna tem resultado em um aumento das pressões antrópicas nas áreas de manguezais. Este artigo concentra-se nos aspectos dos padrões dos fluxos d'água e na identificação de seus efeitos mecânicos nos sedimentos em áreas de manguezais. A metodologia experimental desenvolvida consiste no planejamento e execução de um programa de levantamentos hidrodinâmicos, levando-se em conta a variabilidade espaço-temporal inerente a esses ambientes. Os resultados obtidos possibilitam o traçado de cenários quantitativos e qualitativos das principais tendências dos fluxos hidrossedimentológicos, processos físicos fundamentais a serem considerados em qualquer plano de manejo dos recursos naturais dos manguezais. Esse método foi aplicado como estudo de caso ao manguezal do Pina, Recife, PE.

Palavras-chave: metodologia experimental; fluxos hidrodinâmicos; assoreamento; manguezal; estuários.

Abstract

The development process of modern society has resulted in an increase of anthropogenic pressures on mangrove areas. This article focuses on aspects of water flow patterns and the identification of their mechanical effects in sediments in mangroves areas. The experimental methodology developed consists in planning and implementing a program of hydrodynamic surveys considering spatial and temporal variability that is inherent in these environments. The results provide a qualitative and quantitative map of the main tendencies of hydrosedimentological flows, which is notably important in any plan for natural resource management of mangroves. This method was applied as a case study of the Pina mangrove in Recife, PE, Brazil.

Keywords: experimental methodology; hydrodynamic flows; siltation; mangrove; estuary.

Introdução

Os manguezais são áreas muito importantes do ponto de vista ecológico, constituindo locais de convergência das águas continentais e marinhas, das suas faunas, floras e seus sedimentos. Apresentam uma cobertura vegetal de aspecto peculiar, na qual a zonation e o desenvolvimento estrutural são condicionados pela pluviometria, granulometria do sedimento, temperatura e hidrodinâmica dos fluxos de água doce (rio) e salgada (mar) (OLIVEIRA, 1984).

Os sistemas estuarinos e as áreas de manguezal, de modo especial, são aqueles com maiores riscos, tanto biológicos quanto socioeconômicos, e são regiões onde as medidas de manejo, quando bem estudadas e planejadas, resultam em significativa melhoria ambiental.

O fenômeno de propagação das marés apresenta grande influência sobre a composição e distribuição dos organismos nas áreas de manguezal, porquanto seu aspecto cíclico é um dos agentes reguladores da dispersão de sementes vegetais e das larvas de muitas espécies. A reduzida diversidade de espécies nos manguezais é um reflexo de seu sedimento lodoso instável e deficitário em oxigênio,

além da existência de uma variação rítmica da salinidade. Apesar disso, os mangues são considerados ambientes produtivos pela sua capacidade de exportação de detritos orgânicos (em suspensão e macrodetritos) para os sistemas costeiros adjacentes. De uma extensão estimada de 7.408 km do litoral brasileiro, 6.786 km contêm florestas de mangue (SCHAEFFER-NOVELLI *et al.*, 2000). O ecossistema manguezal possui diversas funções importantes para o equilíbrio ambiental, funcionando como indicador biológico para as modificações de linha de costa, em função da rápida resposta das suas espécies vegetais a qualquer alteração no ambiente. É o ecossistema que responde mais acentuadamente a processos geomorfológicos, sedimentares e oceanográficos que controlam a evolução da paisagem. Assim, tanto o crescimento desordenado das áreas urbanas e das atividades ali realizadas como as alterações ambientais e climáticas afetam o seu desenvolvimento (ALMEIDA; SOARES; KAMPEL, 2008). Portanto, o desenvolvimento de metodologias que tenham potencial de apropriação pela área de Engenharia Sanitária e Ambiental deve impulsionar o caráter tecnológico da gestão ambiental desses ecossistemas.

Esforços anteriores foram desenvolvidos no sentido de aplicar métodos e procedimentos das engenharias e geologia a alguns sistemas manguezais nacionais, como por exemplo, Baía de Vitória (ES), usando abordagem computacional (CHACALTANA; MARQUES; RIGO, 2003) e Baía de Todos os Santos (BA), usando abordagem experimental (BEZERRA; FREIRE, 2003). Na primeira aplicação, a hidrodinâmica do sistema estuarino mostrou-se bastante influenciada pela presença do manguezal, ocasionando uma assimetria nas elevações do nível d'água e um aumento substancial nas velocidades de corrente, principalmente durante a maré vazante. Na segunda, os autores concluíram que a caracterização dos parâmetros hidrodinâmicos do sistema estuarino é um fator importantíssimo no gerenciamento desses ambientes, principalmente nas áreas de manguezal.

A nível internacional, de acordo com Bryce, Larcombe e Ridd (2003), ainda há poucos estudos que examinam em detalhe as relações entre as marés, o transporte de sedimentos e a geomorfologia nesses ambientes. Há trabalhos que apresentam relação entre a atenuação da onda da maré e o tipo de vegetação do manguezal, conforme Mazda *et al.* (2006), Furukawa e Wolanski (1996) e outros que apresentam efeitos de retenção e importação de sedimentos em manguezais conforme Kitheka, Ongwenyi e Mavuti (2003).

Este artigo objetivou apresentar uma metodologia experimental para obtenção, tratamento e análise de dados de campo, visando à identificação dos principais padrões de fluxos hidrodinâmicos e dos mecanismos de sedimentação e erosão associados e atuantes em estuários com áreas de manguezais. Seu produto final é a identificação das principais magnitudes do potencial de erosão e sedimentação em áreas alagadas, cuja posição do plano da superfície livre é influenciada principalmente pelo regime dinâmico das marés locais, caso específico das áreas de manguezais. Sua aplicação permite prever as tendências de permanência das áreas de manguezais com espelho

d'água ou de assoreamento progressivo, quando estas são impactadas pela pressão antrópica.

Material e Métodos

A morfologia de uma bacia estuarina é parâmetro físico de importância fundamental na determinação da natureza das forças hidrodinâmicas operantes dentro do estuário (REID, 1961). Os elementos hidrodinâmicos modeladores naturais da forma da calha de um estuário são as energias associadas às correntes de maré e fluviais. Em função da ação desses elementos, os processos antagônicos de erosão e de assoreamento são induzidos em vários locais do sistema estuarino.

Por sua vez, as forças associadas com aquelas energias são transientes e não uniformes. As correntes fluviais variam sazonalmente com as chuvas, enquanto as marés e suas correntes são correlacionadas com efeitos lunares e meteorológicos, que variam em bases diárias e instantâneas, respectivamente.

Os ventos podem atuar aumentando o movimento da maré ou dos rios, dependendo da direção e intensidade dos deslocamentos das massas de ar. As correntes de maré são movimentos horizontais que afetam toda a massa líquida e ocorrem de modo simultâneo ao movimento vertical de subida (correntes de enchente ou afluxo) e de descida (correntes de vazante ou refluxo). Em geral, apresentam sentidos opostos, e os instantes em que se anulam são chamados de estofas, de enchente e de vazante, respectivamente. Por outro lado, as correntes fluviais em rios costeiros nas zonas estuarinas são relativamente fracas, por conta da baixa declividade do leito, uma característica da sua morfologia fluvial (ALFREDINI; ARASAKI, 2009a).

Para se estimar experimentalmente os modos como as velocidades de uma massa líquida em um corpo d'água influenciam na deposição ou na erosão de sedimentos das suas margens e leito, é necessário elaborar um detalhado programa de medições diretas das velocidades das principais correntes dominantes no corpo d'água. No caso de áreas estuarinas de rios costeiros, com pequeno potencial de produção de descargas fluviais de relevância, predomina o regime de correntes de maré.

O programa de medições deve contemplar o estabelecimento de critérios para identificar espaço (onde/ quais seções?) e tempo (quando/ dias, horas?). Para se localizarem as seções transversais de estudo, é necessário considerar critérios teóricos e práticos, como locais de maiores e menores potencial de velocidades, usando-se o conceito de conservação das massas (equação da continuidade), com o apoio de mapas, plantas, fotos aéreas, internet etc. Quanto aos critérios práticos, considera-se a acessibilidade ao local, eventual apoio logístico, existência de barramentos e o tempo de permanência para a execução das medições. Em relação ao aspecto temporal, devem-se observar as sazonalidades dos fenômenos naturais locais (por exemplo, inverno, verão), consultar as tábuas de maré dos portos mais próximos e

utilizar procedimentos de aproximação do sinal de maré local, conforme detalhado em Araújo *et al.* (2008), por exemplo.

Como as seções encontram-se sempre a montante do sinal aproximado, deve-se proceder a um estudo de propagação dessa onda de maré pelo(s) canal(is) do estuário. Esse fenômeno está sujeito aos efeitos morfológicos de confinamento lateral e redução de profundidades, acarretando concentração de energia hidrodinâmica, que pode promover o surgimento de grandes variações de amplitudes e defasagens da onda e nas suas correntes associadas. O processo é controlado pelos mecanismos de atrito rugoso superficial e atrito viscoso, induzidos pela propagação da onda e seu fluxo hidrodinâmico associado (correntes de maré e/ou fluviais). A presença de manguezal pode também ocasionar um efeito retardador e amortecedor da energia propagada, devido à exposição e ao entrelaçado de seus caules e/ou raízes, o que pode funcionar como um meio eficaz de proteção, principalmente das margens dos canais, contra o processo erosivo causado pelo escoamento alternativo de afluxos e refluxos induzidos pelas correntes de maré (MAZDA *et al.*, 2006).

Para se avaliar como o estuário modifica as características físicas da propagação da onda de maré, utiliza-se um processo de comparação direta entre maregramas aproximados na foz com a leitura de alturas de lâminas d'água medidas nas seções do estuário durante, pelo menos, um ciclo completo de maré. Os dados são colocados em gráficos com mesma base temporal, que revelam o comportamento comparativo entre as evoluções dos sinais de maré na foz *versus* a evolução dos sinais nas seções escolhidas para levantamentos de campo (ARAÚJO *et al.*, 2008).

Naquelas seções, são realizados levantamentos topobatimétricos via sondagens de fundo para se obterem os perfis das seções transversais tanto em baixa-mar como em preamar por ocasião das grandes marés (sizíguas).

O regime hidrodinâmico em áreas estuarinas de rios costeiros é comandado pela interação entre o volume de águas do mar, que aflui e reflui em função das alturas de maré, e as formas em planta e fundo das suas calhas. Essa interação produz os principais campos de velocidades responsáveis pelos processos de transporte na massa d'água. As medidas de velocidades são executadas em cada seção, de modo a se obterem os valores máximos e médios na vertical central, local onde devem ocorrer os maiores valores. Admitindo-se a lei de Prandtl-von Kármán de variação das velocidades na vertical, a velocidade média aproxima-se daquela medida a 60% da profundidade, a contar da superfície livre. Medidas demonstram que a velocidade máxima pode ser medida em um ponto pouco abaixo da superfície da água (AZEVEDO NETO, 1977).

Para cada sinal de maré propagado no estuário, existirão distintos campos de velocidades. O regime hidrodinâmico de referência, considerado nesta metodologia, é aquele gerado pela distribuição do volume d'água decorrente da amplitude mediana das marés anuais no sistema estuarino. A justificativa para tal deve-se ao fato de que

essas condições são indicativas de valores medianos anuais, ou seja, haverá repetidamente em todos os anos aproximadamente um mesmo número de maiores e menores valores dessas vazões, conforme detalhado em Araújo, Calheiros e Pires (1999).

O regime hidrodinâmico de referência é encontrado por meio do cálculo da amplitude mediana das marés de cada mês para o ano em que for aplicada a metodologia. Com esses valores, calcula-se a amplitude mediana anual admitindo-se uma faixa de tolerância para essa estimativa. Desse modo, torna-se possível a identificação das marés (dias dos meses) que atendem ao critério de apresentarem uma amplitude dentro da faixa de tolerância adotada. Essas marés constituem um conjunto de dias em que deverão ser realizadas todas as medidas. Em seguida, avaliam-se, para cada maré selecionada, os instantes em torno da sua altura máxima, média e mínima e fixa-se uma tolerância de aproximadamente 30 minutos para execução dos processos de medidas. Com o uso dessa metodologia, torna-se possível estabelecer um cronograma temporal para o programa de medições.

Com os dados de campo das velocidades obtidos de acordo com o procedimento descrito e objetivando-se uma melhor visualização dos comportamentos hidrodinâmicos, pode-se recorrer ao processo de mapeamento da distribuição espacial de velocidades na preamar e na baixa-mar, esquematizando-se os campos de velocidades máximas e médias encontradas no estuário.

As forças hidrodinâmicas geradas pelos escoamentos induzidos pelas correntes de maré podem atingir uma situação dinâmica na qual as partículas formadoras do leito e margens do canal de escoamento são deslocadas de sua posição inicial (erosão) e passam a se mover juntamente com o fluxo (transporte). Em outros momentos, essas forças praticamente cessam, criando condições de sedimentação das partículas em transporte (assoreamento). As condições em que as partículas do material constituinte do fundo e das margens iniciam o movimento são designadas condições críticas e podem ser expressas em função de parâmetros físicos, como, por exemplo, as velocidades médias do escoamento que, por extensão, são denominadas velocidades críticas. Esse parâmetro é usado como critério para a análise da estabilidade dos canais percorridos pelo fluxo (ALFREDINI; ARASAKI, 2009b).

Como na maioria dos casos práticos de campo, não é possível determinar com boa precisão a velocidade crítica junto ao leito; a análise da estabilidade tradicionalmente se baseia na velocidade média do fluxo (LENCASTRE, 1983).

A partir das velocidades médias obtidas, de fatores de correção para a profundidade e grau de sinuosidade dos canais – e considerando-se também a natureza do material do fundo –, é possível confeccionar gráficos ou tabelas que auxiliam na identificação do potencial dos processos erosivos e deposicionais nas áreas de interesse.

Os resultados permitem configurar panoramas qualitativos gerais típicos para a distribuição espacial dos processos erosivos, de

transporte e deposicionais, induzidos pelo regime hidrodinâmico de referência no corpo d'água em estudo.

Resultados e discussão do estudo de caso

O município do Recife, Pernambuco, tem um dos maiores manguezais em área urbana do mundo, localizado no complexo estuarino dos Rios Pina, Jordão e Tejiptó. Sua área de espelho líquido é parte integrante do complexo estuarino do município do Recife, cujo principal rio formador é o Capibaribe (Figura 1).

A área de mangues fica sujeita à ação forçante das marés, o que determina seu comportamento hidrodinâmico. Do ponto de vista hidrológico, a área funciona como uma bacia de amortecimento de enchentes, sendo, portanto, de grande importância para a drenagem da cidade (ARAÚJO; CALHEIROS; PIRES, 1999).

No porto do Recife, a maré é do tipo semidiurna, o que significa que são produzidas duas preamares e duas baixa-mares por dia lunar. Pelas informações prognosticadas pelas tábuas de marés, as marés de sizígia no porto do Recife podem alcançar 2,70 m na preamar e -0,20 m na baixa-mar, apresentando, assim, a maré astronômica, uma amplitude previsível potencial máxima da ordem de 2,90 m.

Para se avaliar como a área do manguezal modifica as características físicas da propagação da onda de maré induzida na

entrada do porto do Recife, utilizou-se um processo comparativo direto entre o seu maregrama previsto e os medidos diretamente nas seções de referência, conforme descrito em Araújo, Calheiros e Pires (1999).

A Figura 2 indica de forma esquemática a situação dos locais (seções P1, P4, Jo e A) de medidas de lâmina d'água com réguas linimétricas distribuídas ao longo de trechos do manguezal, dentre outras seções. O exutório da área localiza-se a jusante da seção P4.

As seções foram denominadas segundo o rio em que estão situadas; assim, as seções P localizam-se no Rio Pina, a seção Jo localiza-se no Rio Jordão, a seção C localiza-se no Rio Capibaribe e a seção A localiza-se no braço de maré próximo ao Aeroclube.

Os gráficos das Figuras 3 e 4 revelam o comportamento comparativo entre as evoluções dos sinais de maré astronômica no porto do Recife *versus* a evolução dos sinais da maré astronômica e meteorológica nas seções P4, Jo, A e P1, usadas nos levantamentos de campo. Os dados foram obtidos na forma de um dia para cada seção e realizados entre os meses de setembro e outubro de 1995. As réguas não foram instaladas com nível em relação ao zero hidrográfico do porto do Recife; portanto, não se devem comparar as alturas diretamente nos gráficos.

Entretanto, os resultados apresentados são adequados à identificação dos fenômenos da defasagem e do amortecimento de sinais, descritores físicos do processo de propagação de onda de maré na área, por terem sido tomados em uma mesma base temporal.

Os resultados apresentados graficamente e resumidos na Tabela 1 indicam que marés aproximadas das de amplitude mediana anual (1,65 m), no porto do Recife, propagam-se pelo seu estuário quase em fase e sem amortecimento com relação à maré gerada no porto, isto é, as cristas e cavas das ondas da maré medidas durante o

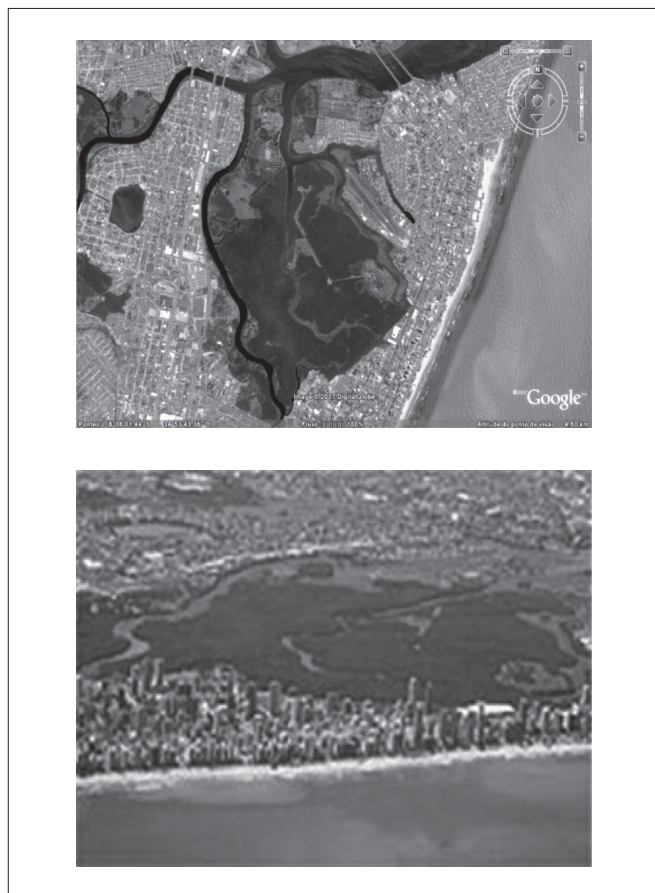


Figura 1 – Imagens de satélite e aérea do manguezal do Pina.

Fonte: Google Earth e JC On-Line.

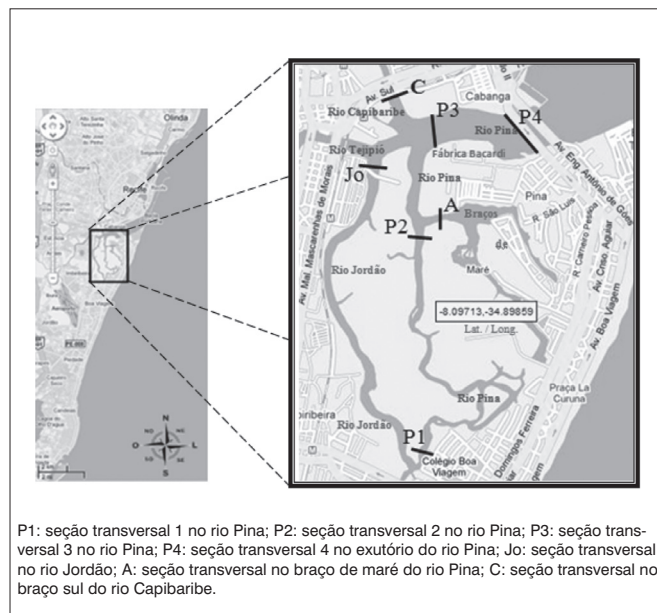


Figura 2 – Situação e localização das seções de obtenção de maregramas e velocidades no manguezal do Rio Pina.

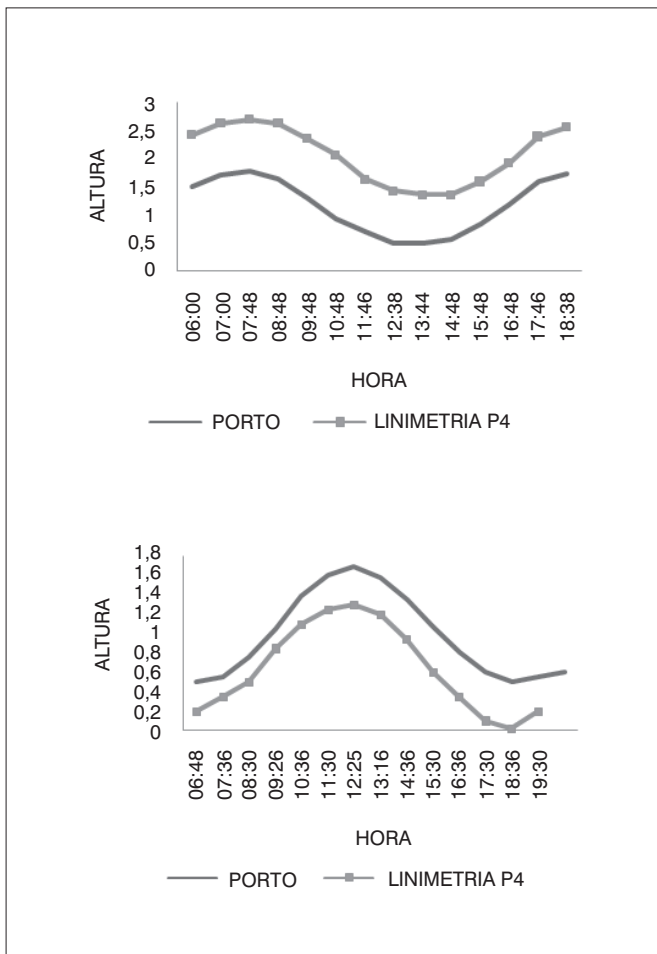


Figura 3 - Evoluções da maré no porto do Recife e nas seções P4 (seção transversal 4 no exutório do rio Pina) e Jo (seção transversal no rio Jordão).

experimento coincidem com as previstas pelo DHN, fato que pode ocorrer tanto na preamar quanto na baixa-mar. Isso se repete até as proximidades da Ponte Paulo Guerra (seção P4), onde se podem observar os sinais em fase e com aproximadamente a mesma amplitude (Figura 3). Os dados permitem concluir também que o sinal da maré do porto se propaga aproximadamente em fase e com quase a mesma amplitude até a altura das estações Jo e A (Figuras 3 e 4), provavelmente por conta da largura da calha de escoamento ainda disponível sobrepujar os efeitos dissipadores da presença da vegetação do mangue (Figura 5).

No trecho compreendido entre a foz comum dos rios e a bifurcação do Rio Jordão no Rio Pina (seção P1), ocorreu uma defasagem de cerca de uma hora, acompanhada de um pequeno amortecimento, da ordem de 5,3% (Tabela 1). Esse resultado poderia ser explicado pelo “efeito mangue” na propagação do sinal de maré entre a foz comum e o local de P1, próximo da bifurcação do Jordão (Figura 2). O manguezal pode ser um meio eficaz de proteção, principalmente das margens, contra o processo erosivo causado pela propagação da energia da onda de maré e o escoamento alternativo de afluxos e refluxos induzidos pelas correntes associadas. Ele também provoca um

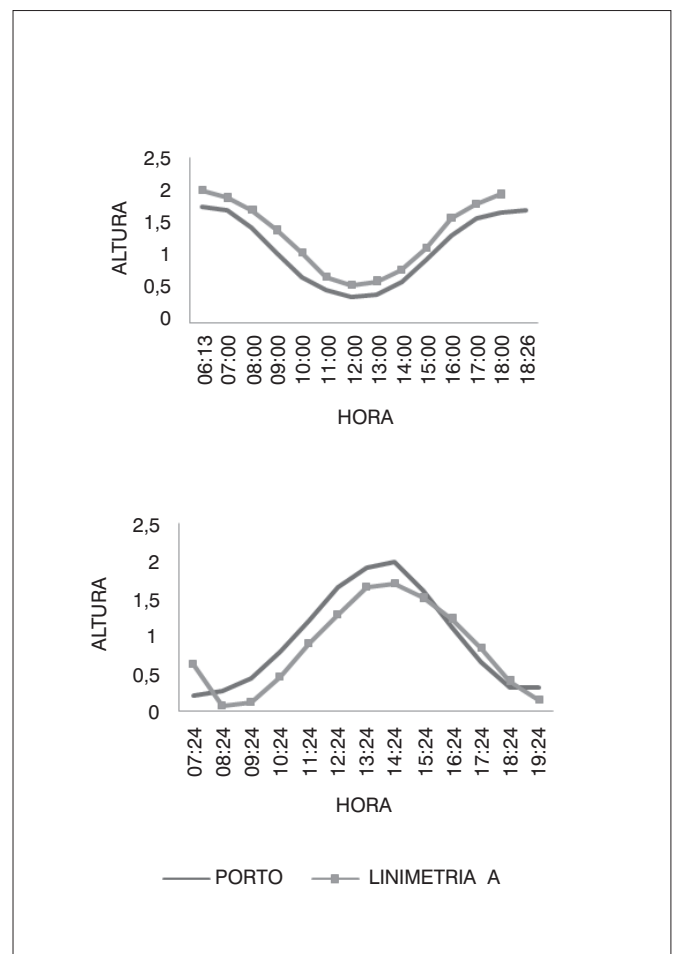


Figura 4 - Evoluções da maré no porto do Recife e nas seções A (seção transversal no braço de maré do rio Pina) e P1 (seção transversal 1 no rio Pina).



Figura 5 – Imagem de satélite de braços de maré formados no Rio Pina mostrando as calhas de escoamento induzidas pela propagação da maré e as potenciais pistas de ventos nas águas quase paralelas à pista de pouso e decolagem do Aerooclube.

Fonte: Google Earth.

aumento de rugosidade e certo retardamento no escoamento geral, conforme considerado em Araújo (2000).

Ainda que em condições ideais os dados de velocidade levantados deveriam ter sido em situação de marés extremas de sizígia e de quadratura, o cronograma disponível para os trabalhos de campo na época não permitiu esse referenciamento com base em situações limite. Por esse motivo, optou-se pela maré de amplitude mediana, que é indicativa de uma situação intermediária e que informa condições dinâmicas em um estuário consideradas como de médias anuais.

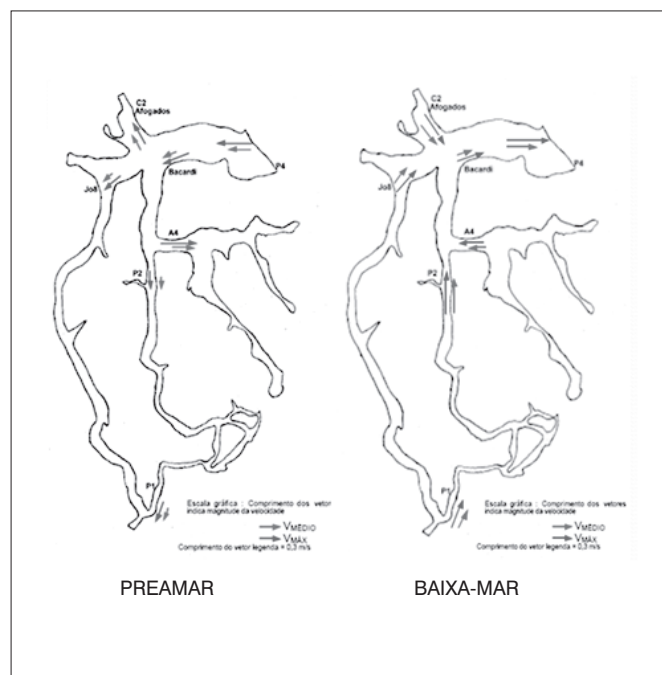
Tabela 1 - Comparação entre amplitudes e defasagens de preamar (PM) e baixa-mar (BM) medidas em um ciclo de maré

Seções	Amplitude (m)	Amplitude do porto (m)	Defasagem (PM)	Defasagem (BM)
P4	1,35	1,35	00h00	00h11min
Jo	1,27	1,25	00h40min	00h00
A	1,43	1,4	00h00	00h16min
P1	1,71	1,8	00h47min	01h00

Tabela 2 - Velocidades medidas nas seções

Seções	Velocidade (m/s)		Veloc. Máx (m/s)	Veloc.média (m/s)
	Maré			
Jo	PM		0,33	0,20
	BM		0,45	0,30
A	PM		0,56	0,36
	BM		0,40	0,25
P2	PM		0,29	0,20
	BM		0,60	0,50
P1	PM		0,32	0,28
	BM		0,47	0,28
P4	PM		0,55	0,36
	BM		0,63	0,44
C	PM		0,38	0,27
	BM		0,52	0,36
P3	PM		0,43	0,23
	BM		0,43	0,25

PM: preamar; BM: baixa-mar.

**Figura 6** – Campos de velocidades (preamar e baixa-mar).

Uma síntese dos resultados obtidos está apresentada na Tabela 2. Nela estão distinguidas as situações de preamar (fluxo dominante do mar para o continente) e baixa-mar (fluxo dominante do continente para o mar) e suas velocidades máximas e médias, obtidas em condições de maré característica de amplitude média anual.

Os resultados obtidos apontam para uma tendência geral (exceção da seção A) de as maiores velocidades máximas e médias ocorrerem durante o refluxo das águas salinas. Para uma melhor visualização do comportamento hidrodinâmico espaço-temporal, nas situações de preamar (afluxo) e baixa-mar (refluxo), os prováveis campos de velocidades máximas e médias encontrados no manguezal estão esquematicamente representados na Figura 6, com as suas respectivas escalas gráficas e seções.

O mapeamento da distribuição espacial de velocidades na preamar (Figura 6) indica que as máximas e médias correntes de maré são atenuadas após a passagem pela ponte do Rio Pina (P4), com exceção da área próxima ao Aeroclube (A), onde as velocidades das correntes são retomadas, provavelmente por efeito de ventos locais interagindo com a morfologia das calhas, conforme evidencia a Figura 5.

Na situação de baixa-mar, as maiores velocidades das correntes de maré ocorrem ao longo dos canais principais dos Rios Pina (P2), braço sul do Rio Capibaribe/Ponte de Afogados (C) e Ponte do Pina (P4), conforme indica a Figura 6.

Com as velocidades médias da Tabela 2 e a aplicação de fatores de correção para a profundidade e grau de sinuosidade dos canais – e considerando-se também a natureza do material do fundo como sendo majoritariamente constituído de argilas muito finas, pouco compactadas – obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela 3. Eles expressam o potencial dos processos erosivos e deposicionais nas seções de estudos.

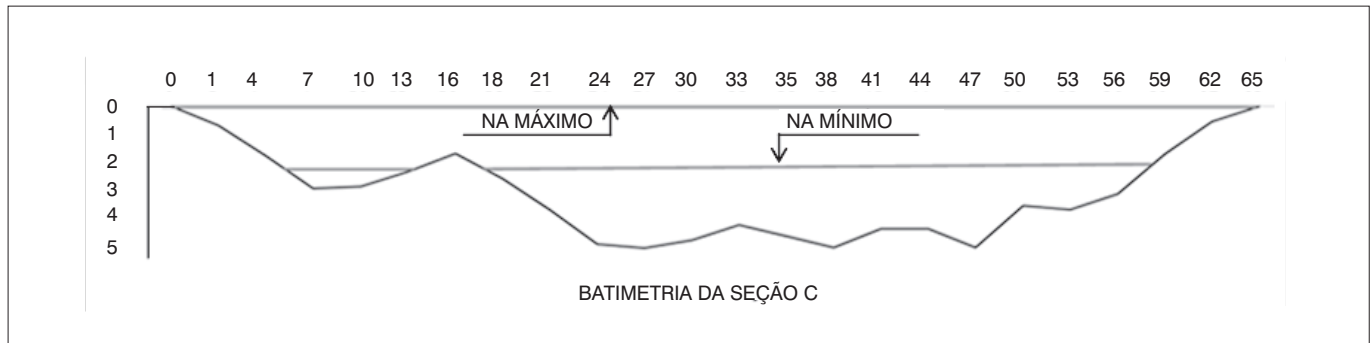
Os resultados indicados na Tabela 3 permitem configurar um panorama qualitativo geral para a distribuição espacial dos processos erosivos, de transporte e deposicionais, induzidos pela hidrodinâmica identificada nas seções estudadas, conforme descrito a seguir.

O braço sul do Rio Capibaribe seção C (Figura 2), na preamar, apresentou um pequeno potencial de sedimentação e, na baixa-mar, um potencial de erosão alto, o que significa que essa seção é provável contribuinte do processo de transporte de sedimentos para a área do manguezal. A batimetria dessa seção está representada na Figura 7.

Tabela 3 - Potenciais de sedimentação e erosão nas seções estudadas

		Seções					
		Jo	A	P2	P1	C	P3
Marés	BM	E-	S-	E+	E-	E+	S-
	PM	S-	E+	S+	S-	E-	S-

BM: baixa-mar; PM: preamar; S: potencial de sedimentação; E: potencial de erosão; +: alto; -: baixo.

**Figura 7** - Batimetria da seção C (seção transversal no braço sul do rio Capibaribe), ponte de Afogados. NA: nível d'água.

Na seção Jo, exutório do Rio Jordão, tanto na preamar como na baixa-mar, os processos de sedimentação e de erosão ocorrem em pequena magnitude, propiciando condições efetivas de transporte de sedimentos tanto para o interior como para o exterior da área do manguezal, função da hidrodinâmica local.

Na seção P1, bifurcação do Rio Jordão com o Rio Pina, ocorre processo hidrossedimentológico similar ao da seção Jo, observados a defasagem e o amortecimento na propagação da onda de maré. Esse resultado pode ser constatado pelo processo de assoreamento observado no canal revestido do Rio Jordão, antes da sua desembocadura no manguezal do Rio Pina. Na seção P2, no Rio Pina, na preamar ocorre alto potencial de sedimentação, o que significa que o Rio Pina recebe sedimentos do manguezal, enquanto que na baixa-mar há um alto potencial de erosão que pode trazer de volta o sedimento aprisionado na sua calha na preamar anterior. Esse aspecto de retrabalho sugere que o Rio Pina não é efetivo para a produção e deposição de sedimentos observada na saída do manguezal, conforme evidencia a Figura 8.

Já a seção (A), próxima ao Aeroclub, que fica na entrada do braço de maré formado no Rio Pina, apresenta grande potencial de erosão na preamar e baixo potencial de sedimentação na baixa-mar, o que configura uma situação de baixa produção de sedimentos para a área do manguezal. Na seção P3, os resultados dos experimentos sugerem área de transporte de sedimentos. Na seção exutório do manguezal do Rio Pina, Ponte do Pina (P4), os resultados encontrados indicam velocidades e seção transversal relativamente maiores, potencial de erosão alto na baixa-mar e baixo na preamar, que, juntos, são indicadores altamente sugestivos de que por ali deve haver um importante fluxo de sedimentos no sentido continente-mar. Esse material erodido fica em suspensão na massa líquida até se depositar mais a jusante, formando um grande banco de areia chamado pelos moradores locais de Coroa dos Passarinhos (Figura 8) (ARAÚJO; PIRES, 1998).

**Figura 8** - Foto aérea da área do exutório do manguezal do Pina, em situação de baixa-mar de sizígia, evidenciando a grande deposição de sedimentos com formação de grandes bancos de areia. P4: seção transversal 4 no exutório do rio Pina.

Conclusões

A metodologia apresentada mostrou-se eficaz como meio de planejar ações, levantar dados físicos, ordenar, processar e fornecer elementos numéricos e gráficos necessários para as análises e interpretações dos dados de campo, informações essenciais que, quando associadas a modelos e/ou outros estudos, permite traçar um diagnóstico ambiental de áreas sob influência das marés.

Essas informações, especialmente distribuídas e apresentadas na forma de padrões de fluxos hidrodinâmicos e de índices de identificação de potenciais erosivos e sedimentares, são fundamentais para se desenhar, propor e licenciar qualquer plano, programa ou projeto de intervenção em áreas alagadas de estuários e de manguezais, atividades próprias da área de Engenharia Sanitária e Ambiental.

No estudo de caso apresentado, manguezal do Rio Pina localizado em Recife, Pernambuco, os resultados de um balanço global com a aplicação da metodologia proposta aos dados ora disponíveis revelam que, em condições de forçantes hidrodinâmicas de referência, a área não apresentaria indicadores hidrossedimentológicos que

permitam prever um forte processo de deposição sugestivo de uma futura tendência de completo assoreamento. De fato, a evidência apresentada no artigo apóia esse resultado, mostrando que a região do manguezal funciona como exportadora de sedimentos para suas áreas contíguas.

Referências

ALFREDINI, P.; ARASAKI, E. Hidráulica estuarina – Princípios. In: *Obras e Gestão de Portos e Costas*. São Paulo: Edgard Blücher, 2009a. p. 85-247.

_____. Transporte de sedimentos - Princípios. In: *Obras e Gestão de Portos e Costas*. São Paulo: Edgard Blücher, 2009b. p. 276-281.

ALMEIDA, P.M.M.; SOARES, M.L.G.; KAMPEL, M. Monitoramento de uma área de manguezal na região metropolitana do Rio de Janeiro através de técnicas de sensoriamento remoto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, 3, 2008, Fortaleza; CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE OCEANOGRAFIA, 1, 2008, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza: CNPq/Programa Instituto do Milênio - Estuários [s.n.], 20 a 24 mai. 2008.

ARAÚJO, A. M. *et al.* Comparação entre métodos de estimativa das taxas de variação da altura de maré. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 15, 2008, Natal. *Anais...* Rio de Janeiro: ABAS, 2008.

ARAÚJO, A.M. Qualidade das Águas Estuarinas em Recife (1995/96). *Ciência & Engenharia*, v. 9, n. 1, p. 32-39, 2000.

ARAÚJO, A.M.; CALHEIROS, M.C.; PIRES, T.T. Estudos Hidrodinâmicos do Estuário do Recife. *Cadernos do Meio Ambiente do Recife*, v. 2, n. 1, p. 11-53, 1999.

ARAÚJO, A.M., PIRES, T.T. Simulação Exploratória dos Efeitos das Marés na Circulação e Transporte Hidrodinâmicos da Bacia do Pina. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 3, n. 3, p. 57-71, 1998.

AZEVEDO NETTO, J. M. *Manual de Hidráulica*, 6. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1977, v. 2.

BEZERRA, R.G.; FREIRE SÁ, G.S. Determinação dos Parâmetros Hidrodinâmicos do Estuário de São Francisco do Conde, Bahia de Todos os Santos/BH. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS, 2, 2003, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: UFRJ [S.I.], [s.n.], 2003.

Agradecimentos

Ao CNPq, pelo financiamento dos projetos de pesquisa e à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), pela concessão de bolsa de mestrado à segunda autora.

BRYCE, S.; LARCOMBE, P.; RIDD, P.V. Hydrodynamic and geomorphological controls on suspended sediment transport in mangrove creek systems, a case study: Cocoa Creek, Townsville, Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. v. 56, n. 3-4, 415-431, 2003.

CHACALTANA, J.T.A.; MARQUES, A.C.; RIGO, D. Modelagem computacional da Baía de Vitória considerando a área de manguezal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22, 2003, Joinville. *Anais...* Joinville: ABES [S.I.], [s.n.], 2003. p. 1-5.

FURUKAWA, K.; WOLANSKI, E. Sedimentation in mangrove forests. *Mangroves and Salt Marshes*. v. 1, n. 1, p. 3-10, 1996.

KITHEKA, J.U.; ONGWENYI, G.S.; MAVUTI, K.M. Fluxes and exchange of suspended sediment in tidal inlets draining a degraded mangrove forest in Kenya. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. v. 56, n. 3-4, p. 655-667, 2003.

LENCASTRE, A. *Hidráulica Geral*. Edição Luso-Brasileira, Lisboa: Hidroprojecto, 1983.

MAZDA, Y. *et al.* Wave reduction in a mangrove forest dominated by *Sonneratia* sp. *Wetlands Ecology and Management*, v. 14, n. 4, p. 365-378, 2006.

OLIVEIRA, E.S. Brazilian mangal vegetation with special emphasis on the seaweeds. In: POR, F.D.; DOR, I. (Eds.). *Hydrobiology of the Mangal. The Ecosystem of the Mangrove Forests*. Boston: Dr. W. Junk Publishers, 1984, p. 55-65.

REID, G.K. *Ecology of Inland Waters and Estuaries*. New York: Reinhold Publishing Corporation, 1961.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. *et al* Brazilian mangroves. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, v. 3, p. 561-570, 2000.