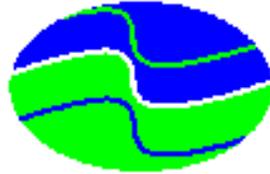


**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE OCENOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA**



LOFEC

**HIDROLOGIA E HIDRODINÂMICA DO BAIXO
ESTUÁRIO DO RIO IPOJUCA, PE.**

por

Pedro Augusto Macedo Lins

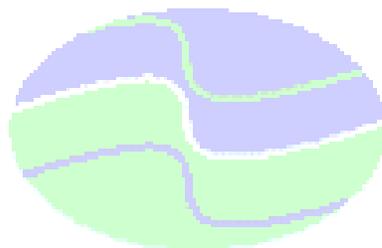
**RECIFE
Agosto, 2002**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE OCENAOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA**

**HIDROLOGIA E HIDRODINÂMICA DO BAIXO
ESTUÁRIO DO RIO IPOJUCA, PE.**

por

Pedro Augusto Macedo Lins



LOFEC

**Dissertação apresentada ao Curso de
Mestrado em Oceanografia da
Universidade Federal de Pernambuco,
como parte dos requisitos para
obtenção do grau de Mestre em
Ciências, na área de Oceanografia
Abiótica.**

**Orientadora:
Dr^a Carmen Medeiros Queiroz**

**RECIFE
Agosto, 2002**

HIDROLOGIA E HIDRODINÂMICA DO BAIXO ESTUÁRIO DO RIO IPOJUCA, PE.

Por

Pedro Augusto Macedo Lins

Dissertação defendida e aprovada em conteúdo e estilo, em 23 de Agosto de 2002, pela banca examinadora:

Orientadora:

Dr^a Carmen Medeiros Queiroz

Examinadores:

Dr. Sílvio José de Macedo

Dr. Paulo Eurico Pires Ferreira Travassos

Dr^a Sigrid Neumann-Leitão

Dr^a Maria Oziléa Bezerra Menezes

RECIFE
Agosto, 2002

*“O trabalho afasta de nós três grandes males:
o tédio, o vício e a necessidade”.*

Voltaire

Aos meus pais Macedo e Eny

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Dr^a Carmen Medeiros de Queiroz pela oportunidade, valiosa orientação e incentivos, que permitiram a realização deste trabalho;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo apoio financeiro indispensável para a sua realização;

Ao Dr Moacir Cunha de Araújo Filho, e a todos os colegas do Laboratório de Oceanografia Física Estuarina e Costeira – LOFEC/UFPE pela amizade e descontração durante minha estada neste laboratório;

A Isaac Freitas pela inestimável ajuda nos trabalhos de campo, bem como pelas boas horas de conversa;

Ao amigo Marcelo Rollnic, companheiro, não só nessa jornada, mas também nas imersões, pela amizade, disponibilidade e imensurável ajuda ;

A todos que compõem o Departamento de Oceanografia da UFPE, professores, funcionários e alunos, pela boa convivência, amizade e carinho recebidos, e em especial a Dr^a Kátia Muniz pelo incentivo, já desde a Especialização;

Aos meus irmãos Isabela, Francisco e Luiz, pelo apoio e incentivo em tudo que faço;

Ao primo-irmão Rômulo Sérgio e família, sempre presente;

A Érika Maria Luna, cuja contribuição foi fundamental;

A Nivana Costa pela valiosa ajuda;

Finalmente agradeço a minha esposa Taíza e ao meu filho Matheus, pelo amor e paciência dedicados durante mais essa fase de minha vida.

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
Figura 01	Plano costeiro de Suape: a) antes da implantação do complexo portuário, b) depois da implantação do complexo portuário	2
Figura 02	Vista aérea da área aterrada para a construção do porto e terminal de tancagem	3
Figura 03	Vista aérea da desembocadura do rio Ipojuca/ Barra Nova	4
Figura 04	(A) direção das forças centrípetas por unidade de massa (CF) e a força gravitacional da lua por unidade de massa (F_a F_b F_c F_d) em pontos na Terra (fora de escala), (B) direção e magnitudes relativas dos resíduos de CF e F em vários pontos na superfície terrestre, (C) forma das forças atrativas horizontais na superfície da Terra, (D) arqueamento da maré (muito exagerado) em A e C de acordo com a teoria do equilíbrio para o oceano cobrindo toda a Terra	14
Figura 05	Mapa de localização do estuário dos Rios Ipojuca e Merepe, e dos pontos de coleta	19
Figura 06	Localização das transecções batimétricas realizadas	22
Figura 07	Distribuição horizontal da salinidade para os estágios de baixa-mar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante maré de sizígia no inverno	26
Figura 08	Distribuição horizontal da salinidade para os estágios de baixa-mar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante segunda maré de sizígia no inverno	27
Figura 09	Distribuição horizontal da salinidade para os estágios de baixa-mar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante maré de quadratura no inverno	29
Figura 10	Distribuição horizontal da salinidade para os estágios de baixa-mar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante segunda maré de quadratura no inverno	30
Figura 11	Distribuição horizontal da salinidade para os estágios de baixa-mar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante maré de sizígia no verão	32
Figura 12	Distribuição horizontal da salinidade para os estágios de baixa-mar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante segunda maré de sizígia no verão	33
Figura 13	Distribuição horizontal da salinidade para os estágios de baixa-mar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante maré de quadratura no verão	34
Figura 14	Distribuição horizontal da temperatura para os estágios de baixamar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante maré de sizígia no inverno	36
Figura 15	Distribuição horizontal da temperatura para os estágios de baixamar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante segunda maré de sizígia no inverno	37
Figura 16	distribuição horizontal da temperatura para os estágios de baixa-mar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante maré de quadratura no inverno	38

Figura 17	Distribuição horizontal da temperatura para os estágios de baixa-mar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante segunda maré de quadratura no inverno	39
Figura 18	Distribuição horizontal da temperatura para os estágios de baixa-mar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante maré de sizígia no verão	40
Figura 19	Distribuição horizontal da temperatura para os estágios de baixa-mar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante segunda maré de sizígia no verão	41
Figura 20	Distribuição horizontal da temperatura para os estágios de baixa-mar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante maré de quadratura no verão	42
Figura 21	Distribuição horizontal da capacidade de retroespalhamento óptico para os estágios de baixa-mar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante maré de sizígia no inverno	44
Figura 22	Distribuição horizontal da capacidade de retroespalhamento óptico para os estágios de baixa-mar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante segunda maré de sizígia no inverno	45
Figura 23	Distribuição horizontal da capacidade de retroespalhamento óptico para os estágios de baixa-mar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante maré de quadratura no inverno	46
Figura 24	Distribuição horizontal da capacidade de retroespalhamento óptico para os estágios de baixa-mar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante segunda maré de quadratura no inverno	47
Figura 25	Distribuição horizontal da capacidade de retroespalhamento óptico para os estágios de baixa-mar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante maré de sizígia no verão	48
Figura 26	Distribuição horizontal da capacidade de retroespalhamento óptico para os estágios de baixa-mar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante segunda maré de sizígia no verão	49
Figura 27	Distribuição horizontal da capacidade de retroespalhamento óptico para os estágios de baixa-mar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante maré de quadratura no verão	50
Figura 28	Direção e intensidade de correntes para os estágios de baixa-mar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante uma sizígia no inverno	52
Figura 29	Direção e intensidade de correntes para os estágios de baixa-mar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante uma quadratura no inverno	54
Figura 30	Direção e intensidade de correntes para os estágios de baixa-mar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante uma sizígia no verão	56
Figura 31	Direção e intensidade de correntes para os estágios de baixa-mar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante uma quadratura no verão	58
Figura 32	Transporte líquido para marés de sizígia e quadratura no inverno e no verão	59
Figura 33	Classificação do sistema estuarino do baixo Ipojuca de acordo com o diagrama de Hansen e Rattray (1966)	60
Figura 34	Curvas batimétricas no baixo estuário do rio Ipojuca	63

Figura 35	Vista aérea do estuário do Ipojuca com identificação do canal principal e banco arenoso	64
Figura 36	Mares no Porto de Suape e no estuário do Ipojuca	66

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 01 Características de algumas das principais forças produtoras de maré, segundo Pond & Pickard (1983)	16
Tabela 02 Altura (m) e fase (min) relativa ao instante de preamar (PM) e baixa-mar (BM) no Porto de Suape nas estações 2 e 6 do Ipojuca	65

RESUMO

O baixo estuário do rio Ipojuca está localizado entre os paralelos 8°15'00"S e 8°30'00"S e meridianos 34°55'00" W e 35°05'00", cerca de 40 km ao sul da cidade do Recife. O clima na região é tropical quente-úmido, classificado como As' na escala de Köppen. Com a construção do porto de Suape, a partir da década de 70, o sistema estuarino do rio Ipojuca, sofreu várias modificações, sendo a maior delas, o fechamento da comunicação com a Baía de Suape e, quase total, com o Atlântico, o que ocasionou modificações das características físico-químicas e batimétricas na área. O presente estudo visou conhecer o padrão atual da distribuição das características físico-químicas das águas do baixo Ipojuca e sua variabilidade espaço-temporal, bem como os processos hidrodinâmicos que regem o funcionamento do sistema e a distribuição de materiais e organismos no sistema. Levantamentos de campo foram realizados nos meses de junho e julho/2000 (período chuvoso), e janeiro e fevereiro/2001 (período seco) e incluíram a realização de perfis batimétricos, medidas sistemáticas de parâmetros oceanográficos como salinidade, temperatura, retroespalhamento ótico e correntes, em seis pontos do baixo estuário. Registros de marés para dois pontos do sistema e dados climatológicos (temperatura do ar, precipitação pluviométrica e direção e intensidade de ventos) foram também obtidos. A temperatura média anual do ar na região é de 27.7 °C, com máxima de 30.0 °C e mínima de 25.5 °C, correspondendo a uma variação de 4.6 °C. Prevalecem na área, ventos alísios de SE com velocidade média de 3.8 m.s⁻¹. Ventos mais fortes ocorrem durante o período chuvoso com intensidade média de 4.3 m.s⁻¹. A precipitação média anual é de 168,2 mm, com os maiores índices acontecendo em junho e julho com médias de 324.9 mm e 343.6 mm respectivamente, e os menores índices pluviométricos ocorrendo nos meses de outubro e novembro, com médias de 61.3 mm e 42.5 mm, respectivamente. De acordo com o critério de classificação de Hansen e Rattray (1966), o baixo estuário do Rio Ipojuca é um estuário tipo bem misturado. O sistema é bastante raso, com profundidade média de 1m, apresentando um extenso banco arenoso em sua região central que fica emerso nas baixa-mares. A distribuição horizontal da salinidade variou do regime limnético (0,5) a euhalino (36), com flutuações predominantemente semi-diurnas, sendo a advecção da maré, o principal mecanismo de transporte longitudinal de sal. Temperaturas no baixo estuário do rio Ipojuca, mostraram-se altas e relativamente homogêneas ao longo do sistema e estável ao longo do ciclo de maré com as menores temperaturas sendo registradas no inverno, em resposta às condições climáticas naturais, com valores oscilando entre 24 °C e 30 °C, com média de 28 °C. Durante o verão, temperaturas são mais elevadas (média=30 °C), em resposta a combinação da redução da lâmina d'água e ao aumento da incidência da radiação solar. A capacidade de retroespalhamento ótico (OBS) é relativamente baixa, com valores geralmente inferiores a 100 unidades. Os valores médios de OBS foram mais elevados durante o período chuvoso, quando o carreamento de material para o sistema pelos rios Ipojuca e Merepe aumenta em respostas aos maiores volumes de precipitação. No baixo Ipojuca, as correntes mais intensas foram observadas durante estágios de baixa-mar e enchente, próximo à Barra Nova e na confluência dos rios Ipojuca e Merepe, atingindo velocidades de 66 cm.s⁻¹. A direção preferencial das correntes é Oeste-Leste, seguindo o eixo principal do estuário. O transporte líquido apresentou balanço positivo, com o estuário atuando como exportador, durante todos os períodos e estágios analisados. As marés no estuário são semi-diurnas mas apresentam-se bastante modificadas relativas ao sinal do Porto de Suape, com um atraso em fase 158-175 minutos nas baixa-mares e uma redução de amplitude média de 60-80 cm.

ABSTRACT

The lower estuary of the Ipojuca river is located between $8^{\circ}15'00''$ and $8^{\circ}30'00''$ S, and $34^{\circ}55'00''$ and $35^{\circ}05'00''$ W, about 40 km to the south of the city of Recife. The region climate is classified as tropical warm-humid according to Köppen classification. With the construction of the Suape Harbour, started on the 70th, the Ipojuca estuarine system has been subjected to several modifications, among which the most impacting one been the landfilling of an area that isolated the system from the Suape Bay and almost totally its communication with the Atlantic Ocean, causing changes in the bathymetric and physical-chemical characteristics of the system. The present work was aimed in identifying present patterns of distribution of physic and chemical water characteristics at the lower Ipojuca, its spatial and temporal variability as well as to identify the hydrodynamical processes that governs the system functioning and the distribution of materials and organisms within the system. Field survey took place during the months of June and July 2000 (rainy season), and December 2000 and January 2001 (dry season). Survey included obtention of bathymetric profiles, systematic measurement of oceanographic parameters such as salinity, temperature, optical back scatterance and currents at six fixed points of the lower estuary. Tide records has been gathered for two points within the system and climate data (air temperature, rainfall, wind speed and direction) also obtained. The annual average of air temperature at the region is 27.7°C , with maximum of 30.0°C and minimum of 25.5°C , which corresponds to a variation of 4.6°C . At de area prevails Southeast trade winds, with an average speed of $3.8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Strongest winds occurs during the rainy period, with an average speed of $4.3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. The annual average rainfall is 168.2 mm, with the highest rainfall occurring during the months of June and July when average precipitation is 324.9 and 343.6 mm respectively. The lowest rainfall occur during the mouths of October and November, with average precipitation of 61.3 and 42.5 mm, respectively. According the Ransen and Rattray classification criterion, the estuary is well-mixed. The system is very shallow, with an average depth of 1m and presenting an extensive sand bank, in its central region, which becomes emerged during low tides. The horizontal salinity distribution ranged from a limnetic (0.5) regime to a euhaline (36) regime on a semi-diurnal cycle, with tidal advection being the major mechanism of longitudinal salt transport. Water temperature at the Ipojuca were high and relatively homogeneous within the system and stable through the tidal cycle. Lower temperatures occur during the winter, as an answer to natural climate conditions, oscillating from 24 to 30°C . During the summer, temperatures are higher (mean= 30°C) due to the combination of shallow depths and increase in solar radiation incidence. The optical backscatterance (OBS) is relatively low with values usually lower than 100 units. OBS mean values were higher during the rainy season when the load of material brought into the system via the Ipojuca and Merepe rivers increases in response to higher rainfall. At the lower Ipojuca, stronger currents have were observed during the ebb and flood tidal stages, near the Barra Nova and at the confluence of the Ipojuca and Merepe rivers reaching speeds of $66\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$. The preferential currents direction is West-East, following the estuary main axis. The liquid transport at the system results in a positive balance, with the estuary behaving as an exporting system during all the sampled period and tidal stages. Local tides are semi-diurnal, but differs from the signal at the Suape Harbour, showing a phase lag of 158-175 minutes during low water and an average amplitude damp of 60-80 cm.

SUMÁRIO

	Pág.
RESUMO.....	
ABSTRACT.....	
AGRADECIMENTOS.....	
SUMÁRIO.....	
LISTA DE FIGURAS.....	
LISTA DE TABELAS.....	
1 - INTRODUÇÃO.....	1
2 - OBJETIVOS.....	
2.1 – Objetivo Geral.....	6
2.2 – Objetivos Específicos.....	6
3 - ANTECEDENTES E JUSTIFICATIVA.....	
3.1 – Os Estuários.....	7
3.2 - Marés.....	13
3.3 – O Porto de Suape.....	17
4 - MATERIAL E MÉTODOS.....	
4.1 – Área de Estudo.....	19
4.2 – Trabalhos de Campo.....	21
4.3 – Dados Climáticos.....	22
4.4 – Análise dos Dados.....	23
4.5 – Sistema de Coordenadas e Demais Convenções.....	23
5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	
5.1 – Temperatura do ar, precipitação pluviométrica e ventos.....	24
5.2 – Hidrologia.....	25
5.3 – Circulação e Mistura.....	51
5.4 – Batimetria.....	62
5.5 – Marés.....	64
6 - CONCLUSÕES.....	67
7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68

1 - INTRODUÇÃO

As regiões estuarinas constituem áreas de alta produtividade e diversidade biológica, uma vez que, pela natureza de seus componentes, são encontrados nesse ecossistema, representantes de todos os elos da cadeia alimentar. São áreas de extrema importância, não só ecológica mas, também, econômica, servindo de meio de vida para boa parte da população brasileira. Junto com as zonas de ressurgência e as baías, as áreas costeiras estuarinas, embora correspondam a apenas 10% da superfície marinha, produzem mais de 95% do alimento que o homem captura no mar (CIRM, 1981).

O Brasil com aproximadamente 8.500 km de costa, oferece inúmeros exemplos de ecossistemas estuarinos bastante diferenciados entre si, não apenas quanto às suas características geobiológicas, como também, quanto à ocupação humana a que foram submetidos (Schaeffer-Novelli, 1989). Considerados um ecótono, situado entre os ambientes terrestre e marinho, geralmente associados à desembocadura de rios, os estuários, devido à sua localização privilegiada, têm sofrido grande impacto antrópico. Esses impactos decorrem de uma ação conjunta de várias causas e fatores, resultantes de um modelo econômico de ocupação do espaço litorâneo, dentre os quais podemos citar a especulação imobiliária, aterros, implantação de pólos industriais e construção de portos.

Em Pernambuco, desde a década de 1970, vem sendo implantado o Complexo Industrial-Portuário de Suape. O Porto de Suape, surgiu como uma necessidade de ampliação da movimentação portuária, para impulsionar o desenvolvimento do Estado, e, ainda, como uma alternativa para reduzir os riscos com a movimentação e armazenagem de cargas potencialmente perigosas. Até então, o porto utilizado para essas operações era o do Recife, localizado a barlavento da área central dessa cidade, Assim, explosões ou vazamento de derivados de petróleo e produtos químicos, por exemplo, poderiam ter conseqüências catastróficas para a capital pernambucana. Segundo Barbalho (1974), o porto iria contribuir para o desenvolvimento da Região Nordeste, tornando o Recife, a metrópole industrial da América do Sul, pelo fortalecimento do crescimento harmônico e integrado a outros centros brasileiros.

A instalação do empreendimento no entanto, gerou uma série de impactos ambientais, como a derrocagem de trechos do arrecife principal para a passagem de navios de grande calado, aterro e corte de manguezais para implantação de indústrias, aumento da carga poluidora proveniente de unidades fabris e da movimentação portuária e desestruturação da pequena atividade agrícola e da pesca artesanal (Diegues, 1991).

Um dos principais impactos decorrentes da implantação do CIPS, foi o da alteração da fisiografia da Baía de Suape. Antes da construção do Porto (Fig. 01A), quatro rios desaguavam na referida baía: Massangana, Tatuoca, Merepe e Ipojuca. Para a construção do cais portuário e terminal de tancagem (Fig. 01B), o trecho que comunicava os rios Ipojuca e Merepe com o sistema, foi aterrado (Fig. 02), isolando-os dos rios Mansangana e Tatuoca, e do mar. O fechamento desse trecho, impediu o escoamento do Ipojuca e do Merepe pela Baía de Suape, resultando em modificações de características físico-químicas e biológicas no baixo estuário do rio Ipojuca.

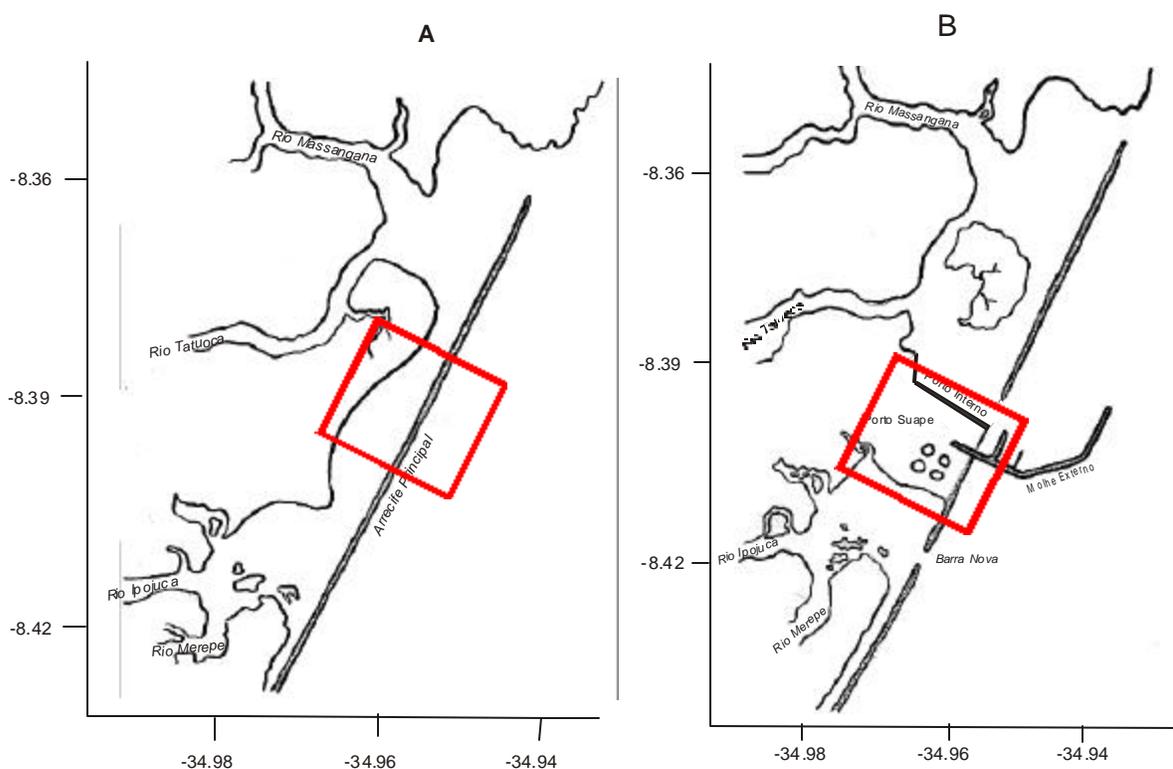


Figura 01. Plano costeiro de Suape:(A) antes da implantação do complexo portuário, (B) depois da implantação do complexo portuário.



Fonte: CIPS

Figura 02. Vista aérea da área aterrada para a construção do porto e terminal de tancagem.

O rio Ipojuca é o maior e mais importante dos quatro rios que fluem em direção à região de Suape, e o que sofreu maior impacto com a construção do porto, devido, principalmente, ao represamento de suas águas e ao corte de extensas áreas de manguezal, como cita Braga *et al* (1989), indicando que o trecho mais impactado situa-se, na parte mais Oeste do manguezal do rio Ipojuca.

Com 200 km de curso, o rio Ipojuca tem sua nascente nas encostas das serras Páu D'arco, Porteiras e Açáí, na divisa dos Estados de Pernambuco e Paraíba. Possui forma alongada e não apresenta nenhum afluente importante. O Ipojuca drena um grande volume de água e apresenta uma bacia hidrográfica com a extensão de 3.600 km², que inclui áreas de 24 municípios da região Centro-Leste do Estado de Pernambuco. Vale salientar que nenhuma das cidades de sua bacia possui sistema adequado de esgoto sanitário, e que toda carga de poluentes recebida pelo rio é trazida para a área de seu baixo estuário. Esta situação é agravada pelo fato de as trocas de suas águas com as águas marinhas serem reduzidas. A situação não é pior,

graças ao papel depurador dos manguezais que ainda existem na área (Neumann-Leitão, 1994).

O isolamento do sistema Ipojuca/Merepe da baía de Suape pelo aterro central, trouxe diversas conseqüências. Inicialmente, a inundação permanente de manguezais e mesmo de canaviais, devido à falta de comunicação, quase que total, daquele sistema com o mar. Para escoar essas águas, em dezembro de 1983, foi aberto um vão na linha de arrecife principal. Essa abertura ficou conhecida como Barra Nova (Fig. 03) e consistiu no rebaixamento para a cota de +0.50 m, de uma faixa de 175 metros de extensão, a aproximadamente, 1.500 m ao Sul do molhe externo, onde já havia uma passagem natural, porém, menos profunda. O projeto foi desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Hidroviárias (INPH).



Fonte: CPRH

Figura 03. Vista aérea da desembocadura do rio Ipojuca/Barra Nova.

A abertura do arrecife, aliviou o problema do fluxo e refluxo das águas dos rios Ipojuca e Merepe, mas não resolveu os problemas decorrentes do represamento, continuando restrita a circulação, com inundações constantes (Braga, 1989). Além disso, alterações nas características dos sedimentos foram evidenciadas por Neumann *et al* (1996).

Atualmente, o Complexo Industrial Portuário de Suape (CIPS), ocupa uma área total de 135 km² (13.500 hectares), distribuídos entre as zonas, portuárias, industrial, administrativa e de preservação ecológica e cultural. Situado na extremidade oriental da Costa Atlântica da América do Sul, o porto tem uma localização estratégica em relação às principais rotas de navegação marítima. O CIPS conta hoje com 42 empreendimentos já instalados, 10 em fase de implantação, e com o potencial para abrigar, pelo menos, mais 100 empresas (Suape, 2001). Considerado de águas profundas (15,5 m), o Porto de Suape pode atender a navios com calado operacional de até 14,5 metros. O CIPS conta ainda com 27 km² de retroporto e seus portos interno e externo, oferecem as condições necessárias para atendimento a navios de grande porte.

Inerente à natureza de um complexo industrial e portuário, devem-se considerar os riscos potenciais de impactos pelo derramamento de produtos químicos e combustíveis estocados naquela área, bem como futuras intenções de instalações de indústrias, refinarias e oleodutos por parte do Governo do Estado. Não obstante, obras de ampliação da face Sul do Porto estão em andamento na área aterrada que separa os rios Ipojuca e Merepe da Baía de Suape, restringindo ainda mais a área de circulação daqueles rios. Essas intervenções, possivelmente, contribuirão para deslocar o balanço de domínio fluvial-marinho para o lado marinho e assim para o aumento da salinidade na área, mudança nas características dos sedimentos de fundo, e conseqüentemente, na composição florística e faunística na área (Pires, 2001).

Dentro desse contexto, os estudos sobre a hidrodinâmica são de extrema importância, uma vez que, processos ecológicos complexos em ambientes estuarinos, são altamente influenciados pelo movimento das águas. Através da circulação, são distribuídos componentes bióticos como, por exemplo, o plâncton, e abióticos como nutrientes, poluentes (ex: resíduos domésticos, combustíveis, fertilizantes oriundos da atividade agrícola local), etc. , alterando todo o sistema. Em geral, alterações antrópicas, como no caso da construção do Porto de Suape, são maléficas ao meio ambiente, servindo o presente estudo, portanto, de subsídio para futuras atividades de prevenção e/ou controle de possíveis novos impactos no baixo estuário do Rio Ipojuca.

2 – OBJETIVOS

2.1 – Objetivo Geral

O presente estudo visou identificar os processos hidrodinâmicos que atuam no baixo estuário do Rio Ipojuca, e que regem o transporte de materiais e organismos dentro do mesmo, bem como suas trocas com as águas costeiras adjacentes.

2.2 – Objetivos Específicos

Mais especificamente, o trabalho visou:

- a caracterização morfo-batimétrica da referida bacia, e sua influência na circulação;
- a determinação do padrão de distribuição da salinidade, temperatura e capacidade de retroespalhamento ótico no estuário do Ipojuca, e sua variabilidade espacial e sazonal em função das forçantes locais;
- a caracterização do padrão de circulação das águas do baixo Ipojuca e sua variabilidade espacial e sazonal;
- a caracterização das marés no estuário, e a determinação de sua contribuição e influência nos processos de circulação.

3 – ESTADO DA ARTE

3.1 – Os Estuários

Os estuários constituem ambientes costeiros geologicamente efêmeros. Eles se formaram nos últimos 15.000 anos, durante o último estágio interglacial, quando o mar subiu 120m relativo ao nível presente e alcançaram uma certa estabilidade nos últimos 5.000 anos (Kjerfve, 1989).

Pritchard (1967), definiu os estuários como sendo um corpo de água costeiro, semi-fechado, com livre conexão com o mar e onde a água salgada é gradativamente diluída com água doce oriunda do continente. Por sua vez, Kjerfve (1989), em uma definição funcional mais recente e abrangente, que inclui águas costeiras adjacentes, diz que os estuários são ambientes costeiros com uma conexão restrita com o oceano adjacente, a qual permanece aberta intermitentemente. Segundo este autor, um estuário pode ser dividido em 3 zonas: (1) uma zona fluvial, fora da influência da maré, e com salinidade menor que 1‰; (2) uma zona de mistura, ou o estuário propriamente dito, caracterizado pela mistura de água doce e salgada, e pela grande variabilidade temporal e espacial de suas propriedades; (3) uma zona próxima à costa, incluindo a área do oceano adjacente que recebe influência direta do estuário e é delimitada por uma fronteira bem definida, do lado do oceano. O baixo estuário do Rio Ipojuca insere-se na região (2), ou estuário propriamente dito.

Dependendo das características do sistema, estas zonas podem ou não estar presentes e existir em diferentes proporções (Medeiros, 1991), sendo seus limites geográficos dinâmicos, variando com escalas de ciclos de maré a tempos geológicos (Miranda, 1984).

Devido a tais características, e ainda por sua diversidade de formas e tamanhos, a tarefa de descrever e classificar estuários constitui uma atividade complexa. Todavia, esses ambientes tem sido classificados levando-se em consideração diversos aspectos, tais como: características geomorfológicas, distribuição de massas d'água, regime de salinidade e grau de estratificação e mistura.

Segundo diversos autores (Ex: Pritchard, 1952; Dyer, 1973; Kennet, 1982; Kjerfve 1989), quanto à sua geomorfologia, os estuários podem ser divididos em: (1) Fjords, que são normalmente profundos com entalhes costeiros escavados pelos glaciais, e restritos às altas latitudes (ex: Fjord da Noruega); (2) Formados por barreiras, que são bacias de águas superficiais expostas em parte, durante a baixa-mar, cercadas por uma cadeia de bancos de areia ou ilhas, formando uma barreira em frente à costa; (3) Deltas de Rio, que são formados pelo acúmulo de sedimento na desembocadura de grandes sistemas estuarinos (ex: Delta do Parnaíba); (4) Tectônicos, originados em processos tectônicos: movimento da crosta terrestre, erupções vulcânicas, deslizamentos de terra ou falhas, etc.; (5) Planícies Costeiras – aqueles formados ao longo de regiões costeiras de litorais planos, relativamente baixos, extensos e rasos, geralmente pela subida ou descida do nível do mar (ex: Amazonas, Nilo).

Quanto ao grau de estratificação da coluna d'água, os estuários podem ser classificados em: (1) altamente estratificados ou de cunha salina, os quais apresentam duas camadas distintas, fluindo em direções opostas, com uma haloclina bastante forte. Os limites entre essas duas camadas são bem pronunciados em desembocaduras de rios durante períodos de grande descarga fluvial; (2) parcialmente misturados ou moderadamente estratificados, que são estuários geralmente rasos, que apresentam um aumento de salinidade em direção à desembocadura, apresentando uma haloclina moderada ao longo do eixo longitudinal do estuário; (3) verticalmente homogêneo ou bem misturados, que são estuários que apresentam salinidade homogênea desde a camada superficial até a de fundo e são geralmente rasos, com circulação dominada pela maré, podendo apresentar-se lateralmente homogêneo ou heterogêneo (Pritchard, 1955; Bowden, 1967; Dyer, 1973; Ketchum; 1983).

Os processos de circulação e mistura das águas em ambientes estuarinos constituem fatores físicos de extrema importância, uma vez que controlam ou modificam muitos processos ecológicos, determinando, por exemplo, a distribuição de nutrientes, sal, material em suspensão, plâncton, assim como de poluentes. Todavia, a compreensão de processos hidrodinâmicos nesses ambientes, constitui uma tarefa difícil, visto que, esses, são ambientes de transição que apresentam uma grande variabilidade espacial e temporal de suas propriedades (Medeiros, 1991).

O termo circulação refere-se ao tempo médio de movimento das águas, como resultado de processos advectivos e difusivos. Advecção, por sua vez, pode ser considerado como um movimento permanente das águas, não sendo, contudo, constante no tempo, espaço ou direção (Fisher *Et al*, 1979), e onde ocorre uma transferência de massa do fluido. Difusão constitui uma propriedade dos fluidos, na qual deixa de ocorrer transferência de massa no fluido, acontecendo transporte difusivo por movimento molecular, seguindo um gradiente eletro-químico, conhecido como difusão molecular, ou como resultado de turbulência, gerada pela fricção no fundo e lados do estuário, conhecida como difusão de Eddy. O termo dispersão é usado para descrever o transporte total, englobando processos difusivos e advectivos.

A circulação estuarina tem sido bem estudada e descrita em todo o mundo (ver: Pritchard, 1954; Bowden, 1962; Dyer, 1973; Hansen & Rattray, 1966; Officer & Lynch, 1981; Lewis, 81; Lewis & Lewis, 83; Uncles *et al*, 1985; Kjerfve 1989; Simpson, 1990; Restepro & Kjerfve, 2002), inclusive no Brasil (ver: Gibbs, 1970; Miranda, 1984; Medeiros, 1991; Araújo, 1998; Araújo *et al*, 1999).

Kjerfve (1990) define 3 tipos principais de circulação estuarina: (a) circulação gravitacional; (b) circulação induzida pela maré e (c) circulação induzida pelo vento. Dois outros fatores também são importantes na circulação: a geometria estuarina e a batimetria, sendo que, esses fatores diferem dos 3 primeiros por serem passivos, alterando o padrão de circulação somente quando realmente existem correntes.

A circulação gravitacional é determinada pela diferença de densidade entre camadas de água com salinidades distintas. Como a densidade é função da temperatura, profundidade e da concentração de partículas em suspensão e dissolvidas, em estuários rasos e localizados em regiões tropicais, onde a temperatura varia pouco, como a maioria dos do Nordeste brasileiro, a densidade é definida, principalmente, pela salinidade. A distribuição da salinidade estuarina pode ser usada para indicar mistura, principalmente, por 3 razões: (1) a salinidade é um constituinte conservativo, não sendo afetada por processos biogeoquímicos, e afetada por processos de mistura (dispersão e advecção), e em menor grau por outros processos, como, por exemplo, evaporação ou chuvas locais; (2) o sal estuarino é derivado, em sua grande maioria, de uma única fonte, o oceano; (3) a determinação da salinidade é

feita por um método rápido e relativamente barato de se usar, e não requer uma grande precisão, devido ao grande gradiente espacial e temporal de sal, que ocorre na maioria dos estuários (Kjerfve, 1990).

A circulação gravitacional ocorre, em grande parte, devido à mistura de água salgada de fundo com massas de água doce superficiais. Isso depende fortemente da quantidade de água doce que entra o sistema induzindo a estratificação, e por outro lado, das forças de maré, as quais agem para misturar a coluna d'água, inibindo a estratificação (Dyer, 1977). A quantidade de água doce ou salgada introduzida no sistema, é um fator condicionante no comportamento de processos físicos, químicos, geológicos, assim como na determinação da biota local, visto que irá controlar a distribuição da salinidade e a extensão da intrusão de água salina no estuário.

Esse tipo de circulação foi descrito por Hansen e Rattray (1966), que a representou em uma equação matemática, que requer medidas de velocidade e salinidade, e que, segundo Kjerfve (1989), representa o estado da arte de nosso entendimento teórico da dinâmica física em estuários.

A circulação induzida pela maré resulta das diferenças entre os fluxos de enchente e vazante, causados principalmente por uma interação não linear entre a geomorfologia estuarina e as correntes de maré. Esse tipo de circulação é particularmente pronunciada em estuários rasos, e com uma grande variação de maré. Como normalmente a batimetria varia muito em ambientes estuarinos, essas interações raramente serão as mesmas em dois locais no mesmo estuário.

A força da maré é, normalmente, a causa mais importante de mistura em estuários. As interações entre as correntes de maré e os limites estuarinos geram turbulência e promovem mistura em larga escala. Estas promovem mistura, principalmente por 2 motivos: fricção entre o fluxo de maré e o fundo do estuário; e interação de ondas de maré com a batimetria estuarina.

O vento, por sua vez, é um fator dominante de energia em grandes lagos, no oceano aberto e em algumas áreas costeiras. Porém, em estuários, podem ter ou não uma grande influência. Em sistemas estreitos e longos, o fluxo pode ser

predominantemente ditado pela maré, e o vento ter pouca influência na determinação das correntes. Por outro lado, se o estuário for largo, ou consistir numa série de baías, a ação dos ventos na superfície pode gerar correntes de considerável importância e promover mistura. A quantidade de vento induzindo circulação e mistura irá variar de acordo com sua direção e intensidade, posição do estuário em relação à predominância de direção do mesmo e profundidade local. Normalmente, a mistura induzida pelo vento, é menos importante que aquela ditada pela maré. Contudo, o vento é responsável pela geração de ondas de superfície, ondas internas e pelas células de circulação de Langmuir, as quais podem ter efeito significativo nos processos de mistura.

O efeito de rotação da terra (força de Coriolis) pode, também, ter grande influência na circulação estuarina. Esta, porém, tem maior importância em estuários largos, sendo praticamente insignificante em ambientes estreitos, onde o desvio de fluxo é mais influenciado pela profundidade, curvatura e afunilamento do canal.

A circulação gravitacional, é geralmente, um processo longitudinal-vertical; a de maré um processo longitudinal-lateral; e a circulação induzida pelo vento mais variável, visto que sua direção e intensidade variam freqüentemente (Medeiros, 1991).

A circulação longitudinal é ditada por desníveis da superfície das águas (marés), e por gradientes longitudinais de densidade, ditados, principalmente, pela salinidade (Officer, 1977, Medeiros, 1991). A força resultante do desnível das águas é constante com a profundidade, embora a força resultante do gradiente de densidade aumente com a profundidade quase que linearmente. Na maioria dos estuários, a força promovida pelo desnível na superfície das águas, domina a porção superior da coluna d'água produzindo um fluxo líquido de circulação rio acima. As forças do gradiente de densidade, por sua vez, dominam a porção inferior da coluna d'água, e produzem um fluxo líquido no sentido oposto.

Circulação vertical e transversal, ocorrem principalmente devido a uma seção de um estuário não ser retangular, e ainda devido à forma dessa mesma seção transversal não ser uniforme ao longo do eixo do estuário. Esse eixo, normalmente, se constitui de caminhos sinuosos, e vegetação, confluência de rios, assim como o vento, introduzem

variabilidade lateral. Esse tipo de circulação tem sido pouco descrito, devido, em grande parte, à escassez de informações sobre a dinâmica lateral estuarina, e ainda, devido à complexidade na construção de modelos em 3 dimensões (Medeiros, 1991).

Embora, normalmente, um estuário seja dominado por um dos processos descritos anteriormente, isso pode mudar temporariamente, e dois ou mais tipos de circulação podem estar atuando simultaneamente no mesmo estuário, determinando uma situação de difícil compreensão.

Assim, o transporte de material em ambientes estuarinos tem sua principal origem nos processos de advecção e difusão de Eddy, sendo a contribuição por difusão molecular insignificante (Medeiros, *Op cit*). Esse transporte pode ser decomposto em termo de números, os quais representam diferentes processos físicos como, por exemplo: influencia da maré, difusão vertical e lateral, vazão de um rio, efeito de ventos, entre outros. Tais componentes são quantificados e correlacionados, demonstrando o comportamento do sistema, em função das forças locais. Todavia, esses cálculos, requerem medidas sistemáticas desses parâmetros, por um dado período de tempo, realizadas normalmente, em um ou mais ciclos de marés, devendo, ainda, serem observados outros aspectos, tais como: número e localização das estações de coleta, frequência das coletas, duração do estudo e procedimentos de análise a serem utilizados.

Uncles *Et al* (1986), por exemplo, demonstraram a variabilidade temporal da salinidade, correntes e elevações no nível das águas, para um sistema bem misturado (Savem Estuary). Mostraram que correntes residuais, salinidade e elevações da superfície, apresentavam uma pronunciada variabilidade temporal. Através de análise de regressão e correlação, este autor identificou, por exemplo, forte coerência entre a variação da maré e o desnível das águas, mostrando forte variabilidade durante sizígias e quadraturas, indicativa de uma força de maré não linear.

3.2 - Marés

Denomina-se maré, o movimento periódico que envolve uma variação vertical (nível) e horizontal (correntes de maré) das águas do mar (Defant, 1961), fenômeno de grande importância, visto que os oceanos recobrem mais de dois terços da superfície terrestre e influenciam, direta e indiretamente, vários processos marinhos e globais. As marés envolvem o deslocamento de grandes volumes de água e energia que podem resultar na geração de correntes e transporte de materiais, na modificação da morfologia costeira, em alterações na composição da biota, em enchentes, alterações climáticas, etc.

Somente depois dos estudos realizados por Issac Newton no século XVII, que resultaram na lei da gravitação universal, obteve-se um melhor entendimento sobre as marés. Segundo Newton, a força que atrai a Lua para o centro da Terra e que a mantém em órbita é a força de gravidade da Terra, que se estende até a Lua. A “Lei de Newton” como ficou conhecida, diz: “partículas materiais se atraem com uma força diretamente proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que as separa”. Assim, não só as águas, mas também a atmosfera e a crosta terrestre sofrem marés.

Entretanto, as marés não ocorrem como uma resposta direta às forças de atração gravitacional entre a Terra e os demais corpos celestes, e sim em resposta à resultante dessas forças sobre a superfície dos oceanos, e da aceleração centrípeta devido ao movimento relativo desses corpos. O sistema Terra-Lua move-se em uma órbita elíptica, tendo seu centro comum de massa como foco. No centro da Terra, a força de atração gravitacional é balanceada pela aceleração centrípeta. Considerando-se as resultantes para cada ponto do globo, estas podem ser decompostas em uma componente vertical (normal à superfície que atua, intensificando ou reduzindo a aceleração da gravidade) e uma componente horizontal, paralela à superfície, que é a força produtora de maré, que pode ser calculada como:

$$F. P. M = \frac{2}{3} \cdot \frac{M_L}{M_T} \cdot \left(\frac{r}{d}\right)^3 g \cdot \text{sen } 2q$$

onde M_L é a massa da Lua, M_T a massa da Terra, r o raio da Terra, d é a distância do centro da Terra eq a latitude (Dronkers, 1964).

Segundo Pond & Pickard (1983), o ponto de força máxima está a, mais ou menos, Lat. 45° e Long. 135°, e o ponto de força mínima a Lat.0. A distribuição da força produtora de maré (Fig. 04), é função da posição da Lua relativa à Terra, mudando assim, ao longo do tempo, lembrando que a força produtora de maré pela Lua é quase o dobro daquela produzida pelo Sol.

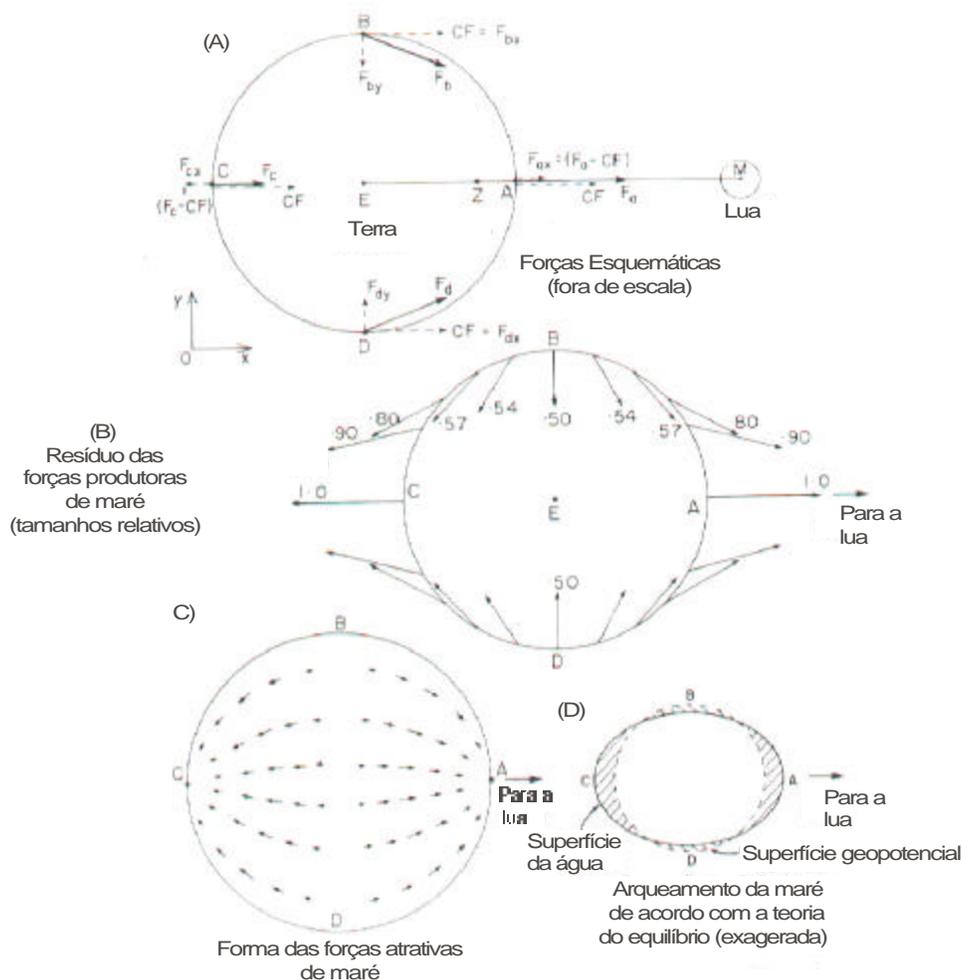


Figura 04. (A) direção esquemática das forças centrípetas (CF) e gravitacional da lua por unidade de massa (F_a , F_b , F_c , F_d) em pontos na Terra, (B) direção e magnitudes relativas dos resíduos de CF e F em pontos da superfície terrestre, (C) forma das forças atrativas horizontais na superfície da Terra, (D) arqueamento da maré (muito exagerado) em A e C de acordo com a teoria do equilíbrio para o oceano cobrindo toda a Terra (Pond & Pickard, 1983).

Vários critérios têm sido empregados para classificar as marés. Quanto a sua amplitude as marés podem ser classificadas em (1) Micromarés, quando apresentam amplitudes inferiores a 1m; (2) Mesomarés, apresentam amplitudes de 1m a 3m; e (3) Macromarés, quando apresentam amplitudes superiores a 3m (Duxbury, 1996).

Quanto ao período (Arx, 1967), as marés podem ser classificadas em (1) Semidiurna, com período de 12,42h ou 12h e 25 min, respondendo principalmente às fases lunares (sizígia e quadratura) e com ciclo de 14,5 dias, ou seja $\frac{1}{2}$ mês lunar (são mais comuns, ocorrendo no Atlântico e Pacífico); (2) Diurna, menos comuns, apresentam período de 24,84h ou 24h 50min e ciclo de 13,7 dias ($\frac{1}{2}$ mês solar). São geralmente micromarés, que respondem à declinação da Lua (tropical ou equatorial) e ocorrem principalmente no Caribe, Antártica e Báltico; (3) Mista, um tipo intermediário, que ocorre principalmente no Pacífico e quase sempre com desigualdade diurna. Todavia, quanto à periodicidade das marés, observa-se uma superposição de oscilações com períodos relacionados com os movimentos planetários (previsíveis), e oscilações não periódicas, associadas a condições meteorológicas e/ou hidrológicas nem sempre previsíveis.

Matematicamente, as várias componentes da maré podem ser obtidas pela análise harmônica. Doodson (1922) *Apud* McIellan (1965) define 390 componentes das marés, das quais cerca de 100 são de longo período, 160 diurnas, 115 semi-diurnas e 15 terci-diurnas. Cada componente com um período e uma amplitude. A amplitude é usualmente expressa em relação à amplitude do componente principal lunar semi-diurno (M_2). Praticamente 7 são as componentes mais amplamente usadas: 4 componentes semi-diurnas (M_2 , S_2 , N_2 , K_2) e 3 componentes diurnas (K_1 , O_1 , P_1). As principais componentes, segundo Pond & Pickard (1983), são apresentadas na Tabela 01.

O fenômeno da maré apresenta oscilações com períodos que variam de poucas horas a milênios. As maiores amplitudes ocorrem nas condições de conjunção ou oposição, perigeu, periélio, alinhamento dos planos do equador.

Tabela 01. Características de algumas das principais forças produtoras de maré, segundo Pond & Pickard (1983)

Componentes	Símbolo	Período (h)	Amplitude (%)	Descrição
semi-diurnos	M ₂	12,42	100	principal lunar
	S ₂	12	46,6	principal solar
	N ₂	12,66	19,1	lunar elíptica maior
	K ₂	11,97	12,7	luni-solar declinacional
diurnos	K ₁	23,93	58,4	luni-solar declinacional
	O ₁	25,82	41,5	lunar principal
	P ₁	24,09	19,3	solar principal
14 noites	M ₁₄	330	17,2	lunar quinzenal
mensal	M _m	661	9,1	lunar mensal
solar semi-anual	S _{sa}	4.385	8	solar semestral
solar anual	S _a	8.759	1,3	solar anual
nodal	-	163.024	-	regressão dos nodos
-	-	(18.6 anos)	-	

Quando várias dessas condições ocorrem ao mesmo tempo, as marés apresentam suas maiores amplitudes. Todas as condições ao mesmo tempo ocorrem a cada 1600 anos. A última amplitude máxima ocorreu em 1400. A próxima, portanto, deverá ocorrer no ano 3000. Condições de perigeu/sizígia, por sua vez, ocorrem a cada 3 meses e condições de maré nodal a cada 18,6 anos, com a última em 1987 e a próxima prevista para 2005 (Lisitzin, 1974).

As marés são fenômenos dinâmicos que envolvem inércia, atrito (de fundo e lateral), presença de barreiras (ex: massas continentais) e variação da profundidade. Nos oceanos, as marés movem-se através de séries de ondas rotatórias, conhecidas como sistemas anfidrômicos. O ponto para onde converge as linhas cotidais, girando no sentido anti-horário no hemisfério Norte e horário no hemisfério Sul, e onde não há oscilação (variação zero), é denominado de ponto nodal ou anfidrômico (Pond & Pickard, 1983). Próximo à costa as marés são modificadas, com alterações na amplitude e na diferença de fase das componentes. Isso ocorre devido a essas componentes serem refletidas, ampliadas (ressonância), reduzidas ou até mesmo filtradas (eliminadas). Nas áreas costeiras, as correntes de maré são mais intensas (10-100 cm.s⁻¹) e influenciam grandemente na circulação local. No oceano aberto, essas correntes são menos intensas (2-5 cm.s⁻¹).

3.3 - O Porto de Suape

Antes da implantação do Porto de Suape, foram realizados alguns trabalhos naquela área, sendo estes, em sua maioria, relacionados à geologia local, dos quais podemos citar: Cobra (1967), Maciel (1968), Costa *Et al* (1968), Melo & Siqueira (1972), Santos & Costa (1974), Rand (1976) e Costa & Costa (1977). Trabalhos de cunho biológico/ecológico anteriores à implantação são escassos, aparecendo os trabalhos de Coelho (1967/1969) e Coelho *et al* (1970).

Em 1973 tiveram início as obras de implantação do porto. Em 1977 a fim de se evitar maiores riscos e danos à área, por ocasião da implantação do porto, teve início um Estudo de Impacto Ambiental, patrocinado pelo próprio Governo do Estado, e por exigência dos órgãos internacionais financiadores, o qual foi concluído em 1979 (Neumann-Leitão, 1994). Os resultados desses estudos foram publicados em diversos trabalhos: Melo Filho (1977), Lima (1978), Lima & Costa (1978), Eskinazi-Leça & Koenig (1979,1985/1986), Paranaguá & Gusmão (1979), Ramos-Porto & Lima (1983), Paranaguá (1985/1986) e Neumann-Leitão (1986). Sobre a hidrologia local aparecem os trabalhos de Cavalcanti *et al* (1980) e CONDEPE (1983). Destaca-se ainda o estudo de Braga *et al* (1989) sobre a hidrologia e os impactos da construção do porto sobre o manguezal. Tais estudos contribuíram para um conhecimento geral das condições ecológicas do meio (Neumann-Leitão *op cit.*).

Dentre os estudos geológicos e sedimentares, aparecem os trabalhos de Amaral & Menor (1979) realizando uma interpretação fasciológica e considerações metalogênicas da região de Suape, Laurindo (1983) que realizou também um estudo fasciológico dos carbonatos da Formação Cabo, Alheiros (1987) que fez uma caracterização sedimentológica da Formação Cabo e Mabesoone & Silva (1989) que publicaram dados sobre a geomorfologia da faixa sedimentar costeira Pernambuco-Paraíba.

Durante a década de 1990, predominam os estudos de cunho biológico/ecológico, como os trabalhos sobre moluscos de Fernandes (1990/1992), sobre a fauna ictiológica realizados por Vasconcelos Filho *et al* (1990/1991), fitoplâncton por Barros-Franca (1991) e Koenig & Eskinazi-Leça (1991). Pode-se citar ainda os

trabalhos de Neumann (1991) e Neumann *et al* (1994 e 1996), estes sobre a geologia e sedimentologia local, onde o autor faz referência a mudanças na hidrodinâmica do local. Estudos sobre a poluição e monitoramento das águas da bacia do rio Ipojuca foram desenvolvidos pela CPRH (1993-1995).

Estudos sobre os impactos antrópicos na comunidade zooplanctônica no Porto de Suape foram feitos por Neumann-Leitão (1994). Koenig (1997), por sua vez, realizou estudos sobre a ecologia e dinâmica do fitoplâncton após a implantação do porto. Em ambos os estudos também foram publicados dados sobre as características hidrológicas da área.

Todavia estudos específicos relacionados aos processos hidrodinâmicos para a área de Suape são escassos. Mais recentemente, Neumann *et al* (1998) publicaram dados sobre a hidrodinâmica, a geomorfologia e sedimentologia da área de Suape, incluindo a bacia do rio Ipojuca. Araújo (1999) realizou uma caracterização do rio Ipojuca quanto a sua hidrodinâmica, no trecho a montante de sua confluência com o Merepe, não incluindo a área da Baía do Ipojuca, objeto do presente estudo. Ele determinou as características topográficas através de medidas batimétricas e identificou os padrões de correntes e de variação do teor de salinidade ao longo do eixo longitudinal do rio.

As profundas modificações ocorridas no complexo estuarino-lagunar de Suape em consequência da implantação do porto, e em particular na bacia do rio Ipojuca, aliada à escassez de estudos sobre a hidrodinâmica local, por si sós, constituem justificativas para a realização deste trabalho. Deve-se levar em consideração ainda, que tais estudos são de extrema importância, uma vez que são através dos processos hidrodinâmicos que ocorrem, por exemplo, o transporte de nutrientes, de sedimentos, e de poluentes, entre outros, reforçando, ainda mais, os motivos para a realização do estudo ora proposto.

4 - MATERIAL E MÉTODOS

4.1 - Área de Estudo

O baixo estuário do rio Ipojuca está localizado entre os paralelos 8°40`S e 8°42`S e meridianos 34°96` W e 34°99` W (Fig. 05), a aproximadamente 40 km ao sul da cidade do Recife. O clima na região é tropical quente-úmido, classificado como As' na escala de Köppen (Fernandes, 1990). O regime pluviométrico varia de 1500 a 2.500 mm.ano⁻¹ (Neumann-Leitão,1994), apresentando duas estações bem definidas: uma chuvosa, que ocorre entre os meses de março a agosto, com precipitação média mensal de 250 mm; e uma seca, com precipitação média mensal de 70 mm, de setembro a fevereiro.

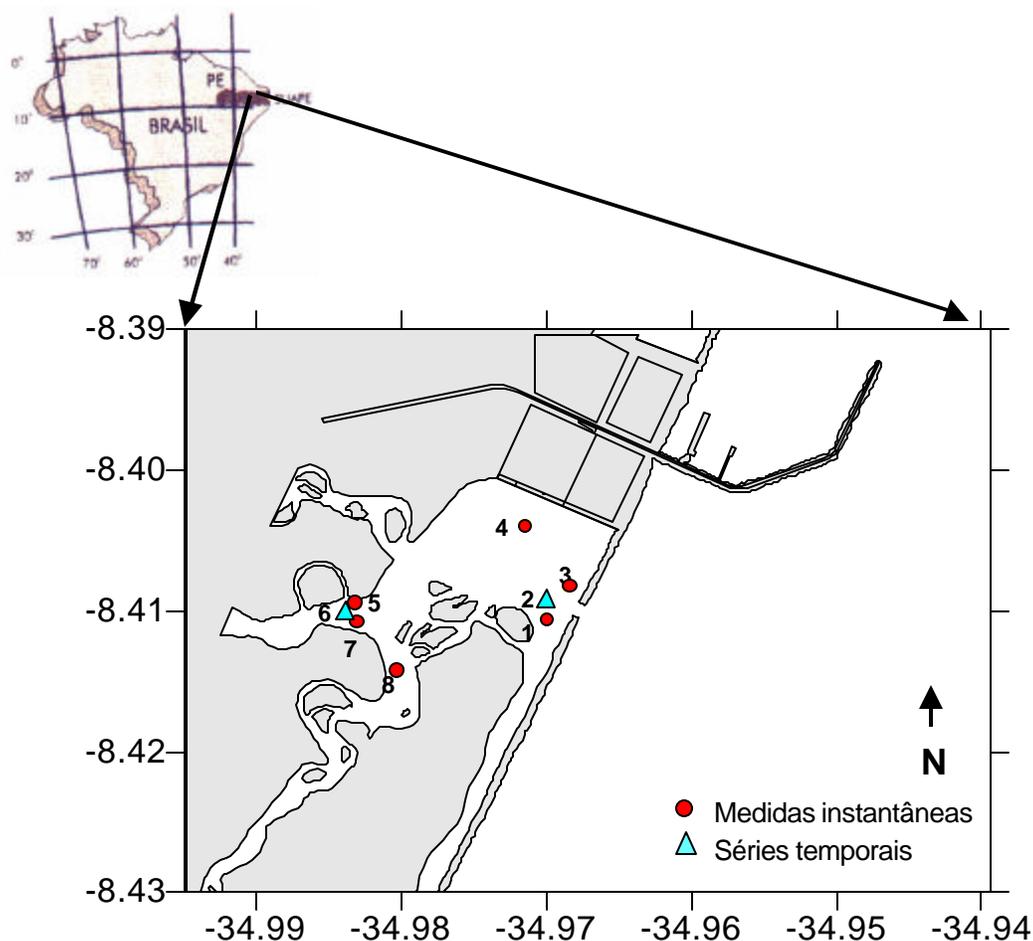


Figura 05. Mapa de localização do estuário dos Rios Ipojuca e Merepe e dos pontos de coleta.

A temperatura média anual do ar é de 24,7°C, com média mínima de 21,4°C e média máxima de 28,6°C, com uma taxa de evaporação de 1,5 mm.ano⁻¹ (www.suape.com.br). As temperaturas mais baixas ocorrem entre junho e setembro, correspondendo ao período de inverno, enquanto que as mais altas são registradas nos meses de dezembro a fevereiro, relacionadas com o verão. Predominam na área os ventos alísios de sudeste durante quase todo o ano, com variações de leste e nordeste, essas, normalmente ocorrentes no verão. A velocidade média dos ventos é em torno de 2,5 m.s⁻¹, constituinte da Massa Equatorial Atlântica e das brisas marinhas, as quais diminuem os efeitos térmicos próprios das baixas latitudes (Koenig, 1997).

As marés no Porto de Suape apresentam um período de 12,42 horas, sendo do tipo semidiurna, com uma amplitude de variação média, na quadratura, de cerca de 1,4m e na sizígia de cerca de 2,2m (Luna, 2001). Respondem, principalmente, ao forçante astronômico, chegando a atingir 2,6m em marés de sizígia, durante os equinócios (Pires, 2001).

Quanto às correntes no estuário do Rio Ipojuca, os valores mais intensos ocorrem durante as vazantes no período chuvoso, tendo como direção preferencial o eixo principal do estuário. Estas correntes, à superfície e próximas ao fundo, estão em fase e são pouco intensas (Pires, 2001).

A vegetação é caracterizada pela existência de um manguezal exuberante onde se nota a presença de árvores de grande porte, constituídas por espécies dos gêneros *Rhizophora*, *Avicennia*, *Laguncularia* e *Conocarpus*. Segundo Braga (1989), dos 2.900 hectares originais de mangue, já em 1989, 600 hectares estavam destruídos pelas obras de aterro, dragagens e represamentos, apesar da legislação proibitiva do CONAMA (1985). Dados da administração do Porto de Suape de 2001, indicava haver naquele ano, apenas 600 hectares de área de preservação de manguezal.

A área do complexo estuarino-lagunar de Suape apresenta ainda boa diversidade biológica, embora venha sofrendo impactos desde o início da implantação do Porto. A fauna aquática reconhecida na área compreende 314 espécies de animais, sendo 149 espécies zooplanctônicas, 110 de moluscos, 9 de crustáceos e 46 espécies

de peixes (www.suape.com.br). A ocorrência de alguns moluscos, artrópodos e peixes, merecem atenção particular. Entre os moluscos comestíveis destacam-se a “ostra-de-mangue” (*Crassostrea rhizophorae*) e os sururus (duas espécies do gênero *Mytella*). Os artrópodos, em particular os crustáceos, estão representados por numerosas espécies, muitas delas utilizadas para o consumo humano, a exemplo do caranguejo uca (*Ucides cordatus*) e do siri-do-mangue (*Callinectes exasperatus*). Dentre os peixes, aparecem espécies de interesse comercial tais como: camorins (família Centropomidae), tainhas (família Mugilidae) e carapebas (família Gerridae).

4.2 – Trabalhos de Campo

Os trabalhos de campo foram realizados durante os meses de junho, julho e agosto/2000 e janeiro e fevereiro/2001, de modo a representarem o sistema nos períodos chuvoso (Março a Agosto), e de estiagem (Setembro a Fevereiro), e de modo a, também, representarem os estágios de preamar, baixa-mar, enchente e vazante de marés de sizígia e de quadratura, em cada um daqueles períodos sazonais, com 2 repetições (2 ciclos) em cada caso.

Determinações instantâneas da intensidade e direção das correntes foram realizadas nos pontos 1, 3, 4, 5, 7 e 8 (Fig. 05) e a 2 níveis de profundidade (próximo à superfície e próximo ao fundo), sempre que viável, em função da pouca profundidade local (abordagem *Lagrangiana*). Para tanto, utilizou-se um correntômetro portátil Sensordata modelo SD30.

Perfis verticais contínuos da temperatura, da condutividade e do retroespalhamento ótico foram obtidos desde a superfície até o fundo, quando possível, paralelamente às medições das correntes nos pontos 1, 3, 4, 5, 7 e 8, empregando-se um perfilador CTD SeaBird SBE19, munido de sonda OBS da D&A Instrument.

Para caracterizar as marés na área, foram obtidos registros a cada 15 minutos do nível das águas, próximo à desembocadura do Ipojuca (ponto 6), e à jusante de sua confluência com o Rio Merepe (ponto 2), com uso de marégrafo SeaBird SBE26, ancorado por um período de um ciclo de maré (12,5h), com medições a intervalos regulares de 15 minutos.

Foram ainda realizados 11 transessões batimétricas (Fig. 06) na área, durante a maré cheia, com o auxílio de uma Ecossonda HumBird. Esses perfis foram utilizados para definir as características do canal, e determinar sua influência na circulação.

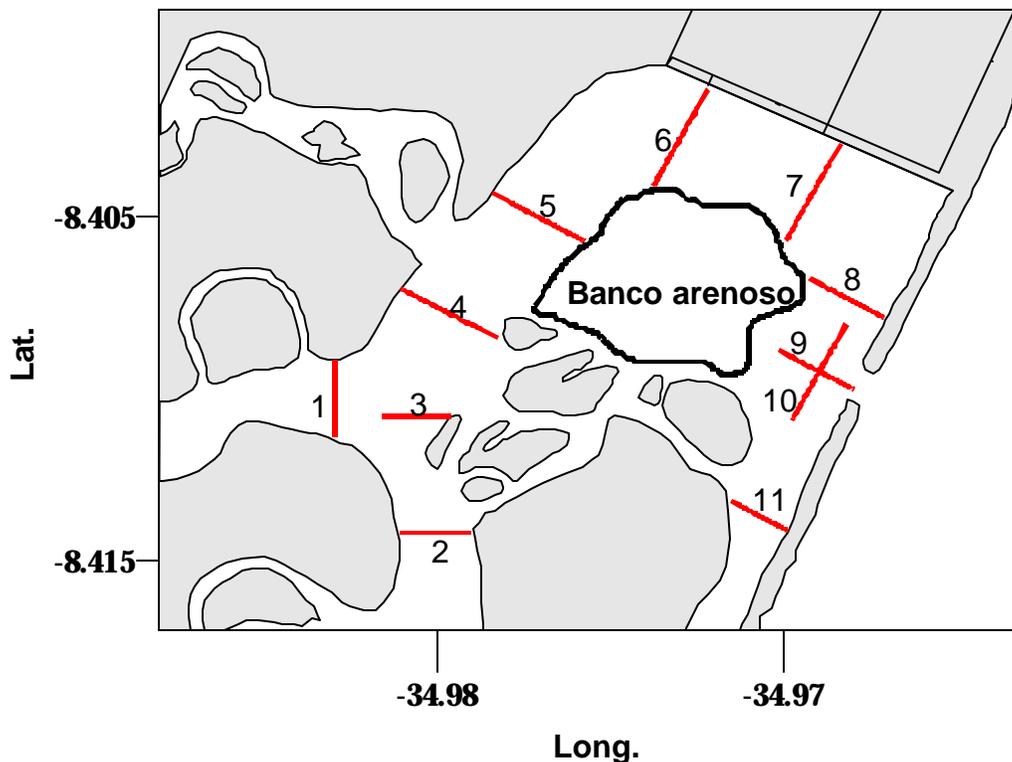


Figura 06. Localização das transessões batimétricas realizadas.

O apoio logístico para execução dos trabalhos e para análise dos dados foi obtido junto ao Laboratório de Oceanografia Física Estuarina e Costeira – LOFEC, Departamento de Oceanografia da UFPE

4.3 – Dados Climáticos

Valores mensais de precipitação pluviométrica para o período de 1966 a 2001 foram obtidos junto à estação meteorológica da Usina Salgado, escolhida devido à sua proximidade com a área de estudo. Dados de direção e intensidade dos ventos e temperatura do ar, para o período compreendido entre março de 2000 e outubro de 2001, foram obtidos junto ao CINDACTA III, cuja estação meteorológica localiza-se na Base Aérea do Recife.

4.4 – Análise dos Dados

Inicialmente, todos os dados obtidos no campo foram digitados em planilhas eletrônicas para posterior análise e representação gráfica.

A aplicação do teste estatístico t-pareado, para um nível de significância $\alpha=0,1$ indicou não haver diferenças significativas entre os pares de dados das duas coletas realizadas em cada maré de sizígia e quadratura, tanto para o período chuvoso (inverno), quanto para o período de estiagem (verão). Assim, eles foram agrupados, e a análise dos dados de correntes no baixo estuário do Rio Ipojuca foi feita tomando-se, como base, os valores médios das duas amostragens.

Para o cálculo do transporte líquido, os dados de correntes foram decompostos em duas componentes, sendo uma paralela e outra perpendicular à linha de arrecifes principal. Os resultados foram representados na forma de vetores, onde o ângulo referente ao Norte verdadeiro indica a direção e o comprimento do vetor indica a intensidade da corrente em cm.s^{-1} .

Uma malha uniforme da distribuição dos valores de salinidade, temperatura e capacidade de retroespalhamento ótico foi obtida pelo método de interpolação de Kriging, levando em consideração a variabilidade espacial dos dados. Essa malha foi, então, empregada na plotagem das isolinhas de cada propriedade.

4.5 – Sistema de Coordenadas e Demais Convenções

Todas as direções contidas neste trabalho são relativas ao Norte verdadeiro (geográfico). A declinação magnética local para o período de 1987-88 foi de 23°W (DHN, 1984). Medidas do nível da água foram feitas relativas ao nível referencial zero do Porto de Suape (1.24 m abaixo NM). A normatização textual e bibliográfica foi feita seguindo-se as recomendações da ABNT (1986).

5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 - Temperatura do ar, Precipitação Pluviométrica e Ventos

Situado em uma região de clima quente e úmido, classificado como *As'* na escala de Köppem, o baixo estuário do Rio Ipojuca apresentou temperatura média anual do ar de 27.7°C, com máxima de 30.04°C e mínima de 25.5°C, correspondendo a uma variação de 4.6°C, para período compreendido entre março de 2000 e julho de 2001, segundo dados do CINDACTA III, coletados na Base Aérea do Recife. Os valores de temperatura do ar mais baixos são observados entre os meses de junho e setembro, correspondendo ao período de inverno, com uma média de 26.2°C, enquanto as mais altas ocorrem entre os meses de dezembro e março, período de verão, com média de 29.4°C.

Dados de direção e intensidade de ventos para o mesmo período, mostram uma predominância de ventos alísios de Sudeste com velocidade média de 3.8 m.s⁻¹. Ventos mais fortes ocorrem durante o período chuvoso com intensidade média de 4.3 m.s⁻¹. Valores extremos, para o mesmo período indicam ventos Sudeste de 5.5 m.s⁻¹ durante o mês de outubro, porém não muito freqüentes. Durante o período de estiagem os ventos são menos intensos, apresentando uma velocidade média de 3.9 m.s⁻¹. Períodos de calmaria são mais comuns durante os meses de dezembro e janeiro, quando os ventos são mais amenos. Observa-se ainda, durante todo o ano, a alternância das brisas terrestres - localmente denominadas de *terral* - e *marinha* em um período de 24 horas, em resposta ao aquecimento/esfriamento diferenciado do continente e do oceano (Pires, 2001).

Dados de precipitação pluviométrica dos últimos 35 anos obtidos na Usina Salgado mostram uma média anual de 168,2 mm para a área e demonstram haver duas estações bem definidas. Uma estação chuvosa, entre os meses de abril e agosto, na qual ocorrem mais de 65% da precipitação anual, com os maiores índices acontecendo em junho e julho, com médias de 324.9 mm e 343.6 mm respectivamente, e outra estação de estiagem ocorrendo entre setembro e março, com os menores

índices pluviométricos sendo observados nos meses de outubro e novembro com médias de 61.3 mm e 42.5 mm respectivamente.

Deve-se salientar que, durante o ano de 2000, quando foram realizadas as coletas, foram registrados os maiores índices anuais de precipitação pluviométrica dos últimos 35 anos com um total anual de 3.859 mm, quando a média anual histórica na região é de 1.961 mm. Os maiores valores de precipitação em 2000 foram registrados durante os meses de junho (787.3 mm) e julho (930.2 mm) bastante superiores aos valores médios históricos de 342.9 mm para junho e de 346.6 mm para julho, caracterizando o ano de 2000 como atípicamente chuvoso. As intensas chuvas ocorreram devido a uma frente fria vinda do sul do Brasil, segundo o INMET, provocando o transbordamento dos Rios Ipojuca e Merepe, inundando várias cidades como, por exemplo, Ipojuca e Jaboatão (JC, 08/06/2000).

5.2 - Hidrologia

A hidrologia estuarina é caracterizada por flutuações na salinidade, devido ao fluxo de entrada de água doce e de água salgada; pelo aumento ou diminuição da temperatura, decorrente de mudanças sazonais nas condições climáticas; e por processos de mistura (Roy *et al*, 2001).

A distribuição das características hidrológicas é determinante na distribuição da biota. Por exemplo, a salinidade e a temperatura afetam diretamente processos fisiológicos vitais nos organismos vivos, sendo fatores condicionantes na biogeografia estuarina. Por outro lado, grandes volumes de matéria em suspensão na água dificultam a penetração de luz, influenciando a produtividade primária realizada pelo fitoplâncton.

De modo geral, a distribuição horizontal da salinidade apresentou ampla variação, com regimes oscilando entre o limnético 0,05 e o euhalino 36,4. Macêdo *et al* (1998) ainda encontrou regimes de salinidade entre o mesoalino e o eurialino, tanto no inverno quanto no verão.

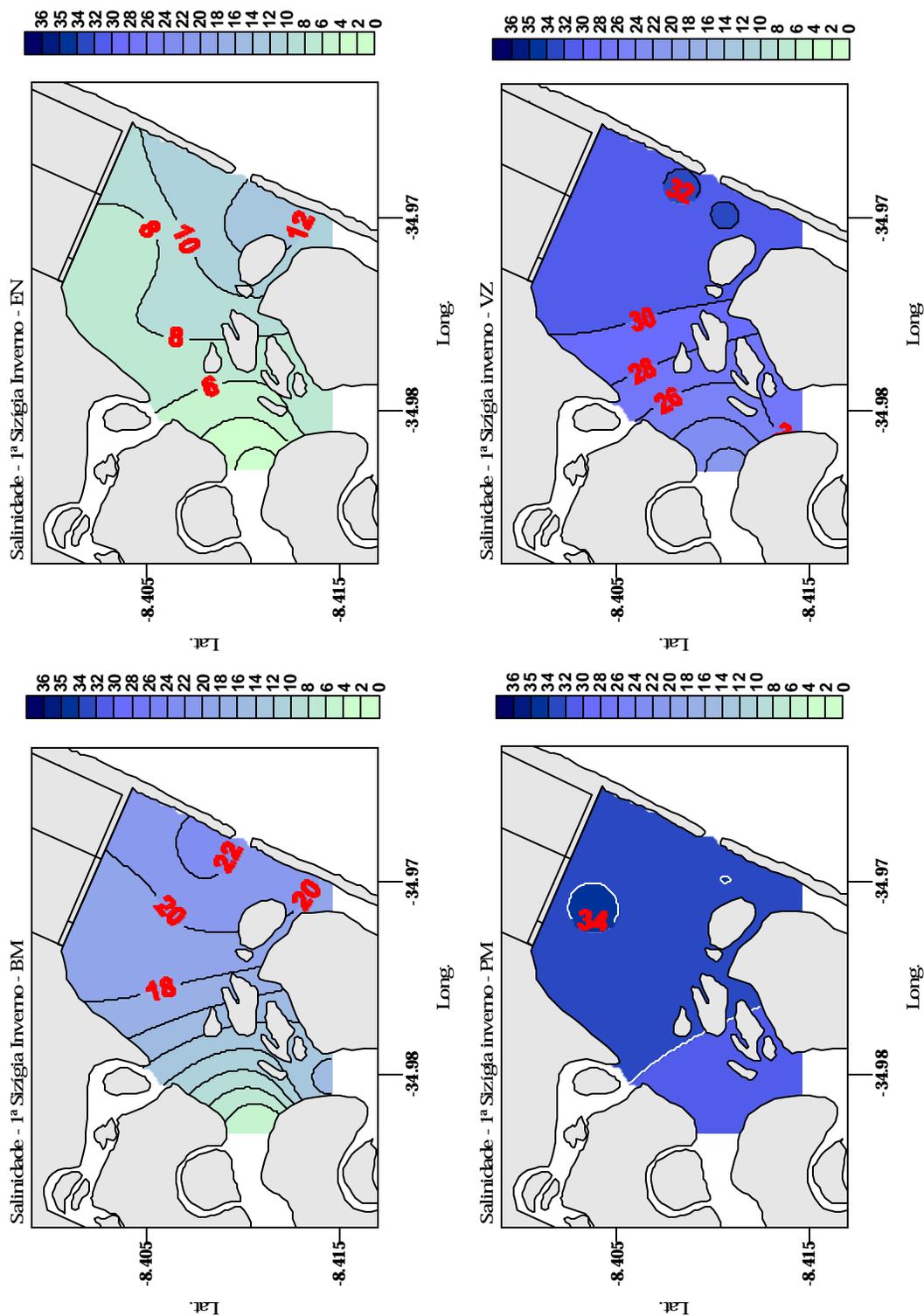


Figura 07. Distribuição horizontal da salinidade para os estágios de baixamar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante maré de sizígia no inverno (03/06/2000).

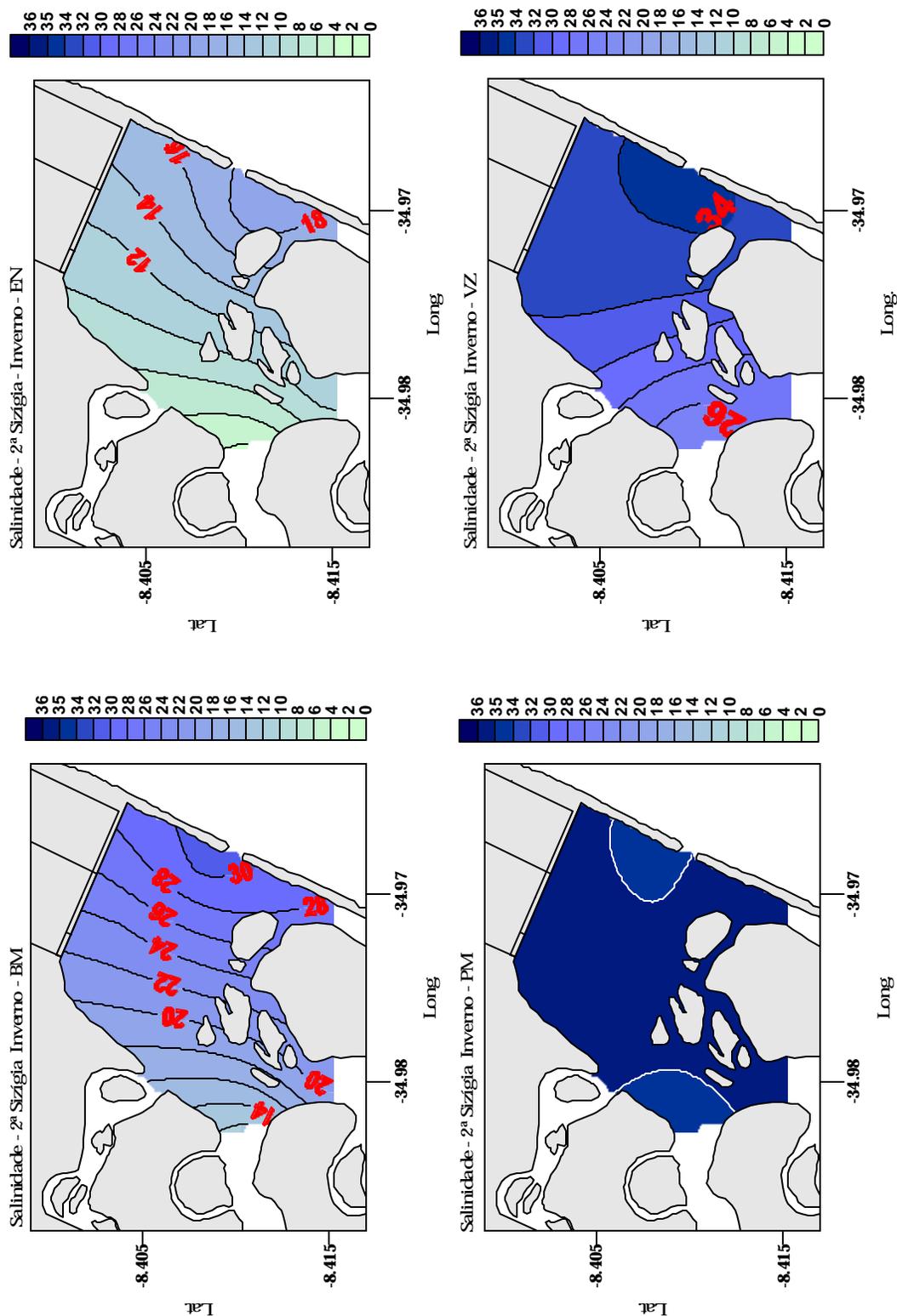


Figura 08. Distribuição horizontal da salinidade para os estágios de baixa-mar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante segunda maré de sizigia no inverno (14/08/2000).

Durante o inverno, para marés de sizígia com coletas realizadas em 03/06/00 (Fig. 07) e 14/08/00 (Fig. 08), a salinidade variou entre 1 e 36. Durante o estágio de preamar foram observados os maiores valores, com média de 35,0 para a primeira coleta, e 32,7 para a segunda. Nesse estágio foram observados valores de salinidade altos em todo o estuário, com as estações 5 e 6, situadas na confluência dos rios Ipojuca e Merepe, apresentando valores de 34,6 e 35,3 na primeira coleta, e 30,7 e 31,0 na segunda, indicando a forte intrusão salina no estuário por ocasião da preamar. Segundo Araújo (1999), a intrusão salina no rio Ipojuca se estende até aproximadamente 4 km de sua confluência com o Merepe. Os menores valores de salinidade ocorreram durante os estágios de baixa-mar (médias de 23 e 16) e de enchente (médias de 12 e 8), quando a descarga dos rios tem maior influência. Os menores valores são persistentemente encontrados nas estações 5, 7 e 8, situadas na confluência dos rios Ipojuca e Merepe. Por sua vez, os maiores valores são encontrados nas estações 1 e 3 próximas à Ponta da Gamboa e abertura nos recifes.

Durante as duas coletas realizadas em 09/06 e 24/07, marés de quadratura no inverno, a salinidade variou de 0,05 a 36,4. Coletas realizadas em 09/06/2000, apresentaram valores de salinidade entre 0,05 e 8,2 que representam a menor variação, assim como os menores valores de salinidade encontrados (Fig. 09). Esses valores podem ser explicados pelo alto índice pluviométrico observado durante os dois dias que antecederam a coleta, determinando grande volume de descarga dos rios Ipojuca e Merepe, e caracterizando uma situação atípica, com pouca variação da salinidade em todo o baixo estuário, desde as estações 5, 7 e 8, situadas na confluência dos rios Ipojuca e Merepe, até nas estações 1 e 3 com maior influência marinha, situadas a jusante destas. Marés de quadratura, devido a sua pouca amplitude, têm menor influência no estuário, contribuindo para tal variação.

Para a segunda coleta em maré de quadratura no inverno (24/07), a salinidade variou entre 0,1 e 36,4 correspondendo a maior amplitude encontrada (Fig.10). Valores mais altos são encontrados durante a preamar nas estações 1 e 3, com 36,42 e 35,43 respectivamente. Todavia a pouca amplitude da maré não foi suficiente para promover a entrada de águas marinhas no estuário, sendo observada variação com valores entre 0,1 e 0,2 nas estações 5, 7 e 8. Durante os estágios de baixa-mar, enchente e

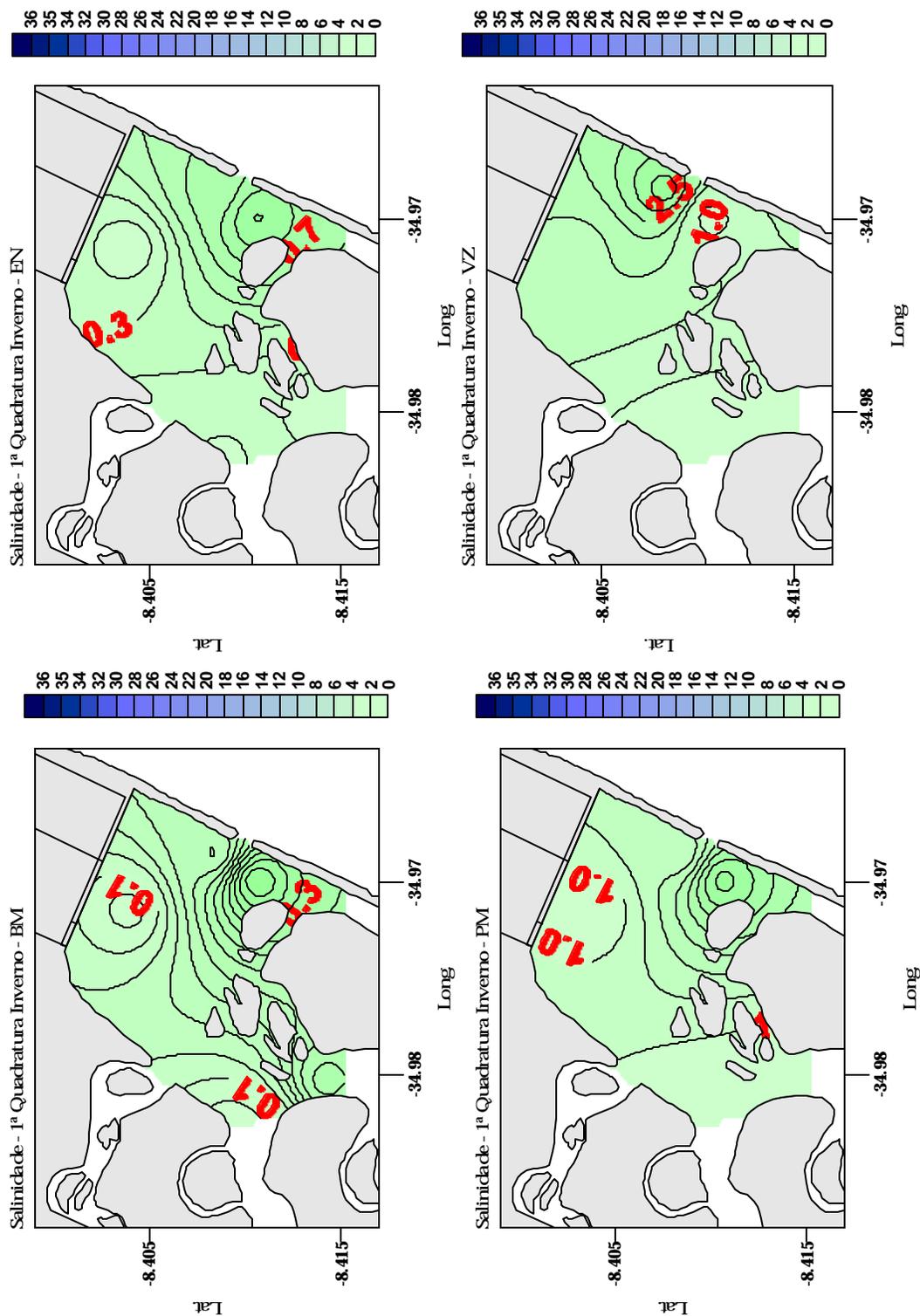


Figura 09. Distribuição horizontal da salinidade para os estágios de baixamar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante maré de quadratura no inverno (09/06/2000).

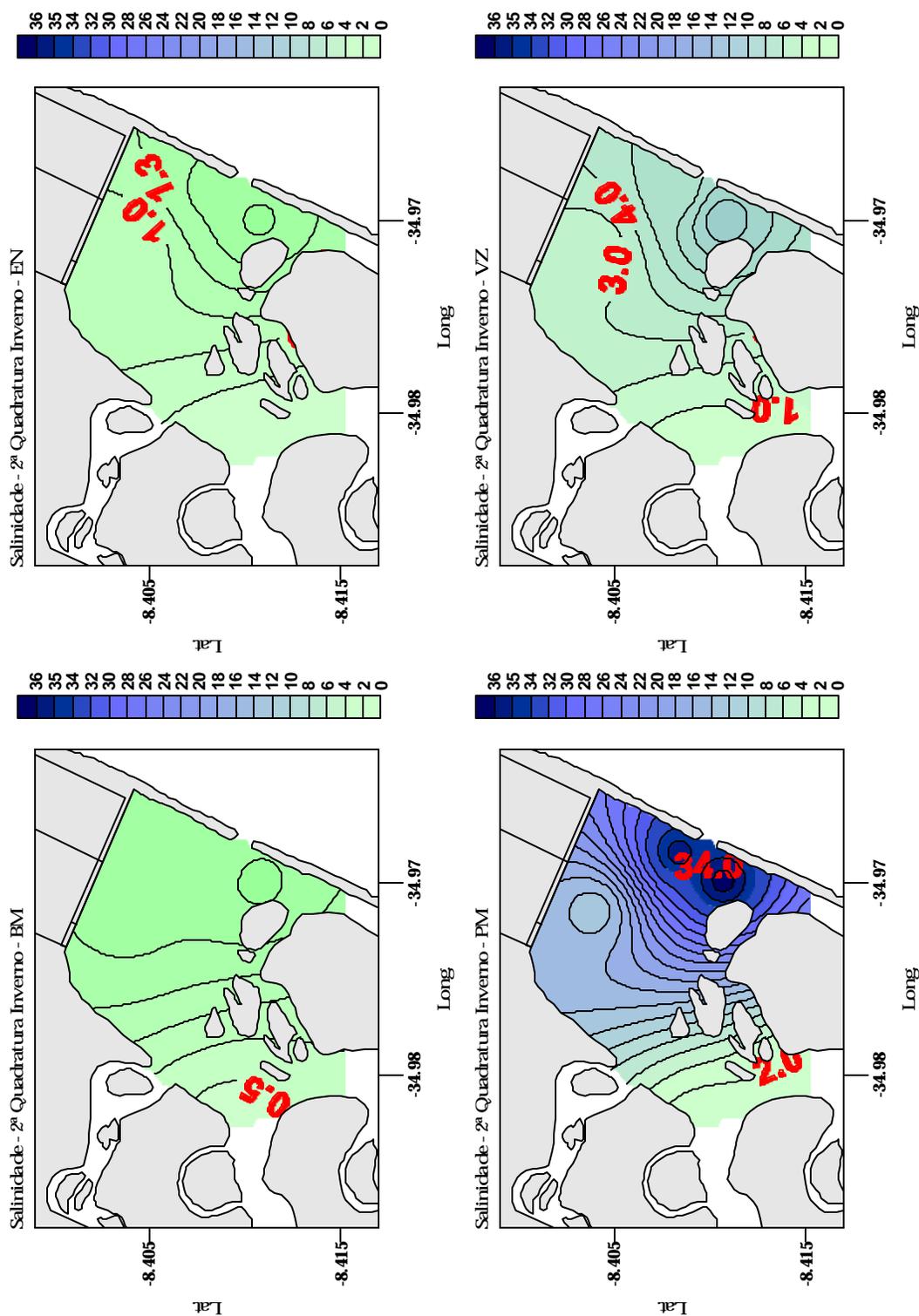


Figura 10. Distribuição horizontal da salinidade para os estágios de baixamar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante segunda maré de quadratura no inverno (24/07/2000).

vazante, a salinidade manteve-se baixa em todo o baixo estuário, com valores médios de 1,6 , 0,8 e 2,9 respectivamente.

No verão a salinidade é mais alta em todo o baixo estuário. Este aumento geral da salinidade responde principalmente ao menor aporte fluvial, decorrente da diminuição das chuvas na bacia dos rios Ipojuca e Merepe, à diminuição da lâmina d'água e ao aumento da temperatura em função da maior incidência solar.

A variação temporal da salinidade para as duas coletas realizadas em maré de sizígia (Figs. 11 e 12) foi parecida com aquela encontrada no inverno, onde, durante a preamar, ocorre entrada de águas marinhas no estuário com valores oscilando entre 33,7 a 35,8. Esses valores decrescem durante os estágios de vazante, com médias de 31,2 e 27,6, atingindo os valores mais baixos durante o estágio de enchente com valores médios de 15 na primeira coleta e 11,2 na segunda. Esse mesmo padrão de variação temporal da salinidade foi observado por Macêdo *et al* (1998) que também encontrou uma menor concentração (9,96) durante o estágio de maré enchente, e concentração maior durante a preamar chegando a valores de 36,63.

Na quadratura de verão, os maiores valores foram também observados no estágio de preamar (Fig. 13). Todavia a pouca amplitude da maré não é suficiente para promover salinidades mais altas na confluência dos rios Ipojuca e Merepe, como ocorre durante marés de sizígia. Valores de 35,6 e 35,2 foram observados somente nas estações 1 e 3 próximas a Ponta da Gamboa e à Barra Nova. A salinidade média durante a preamar foi de 25,7. Salinidades mais baixas ocorreram na baixa-mar com média 12,6. De modo geral observa-se um aumento geral da salinidade na área do baixo estuário do Rio Ipojuca (Neumann-Leitão, 1994; Koenig, 1997; Pires, 2001), relativo a valores relatados para períodos anteriores a construção do Porto de Suape.

Valores de temperatura da água estão intimamente ligados as variações de temperatura do ar (Hoguane *et al*, 1999). Temperaturas no baixo estuário do Rio Ipojuca, mostraram-se altas e apresentaram pequena variação tanto temporal quanto espacial.

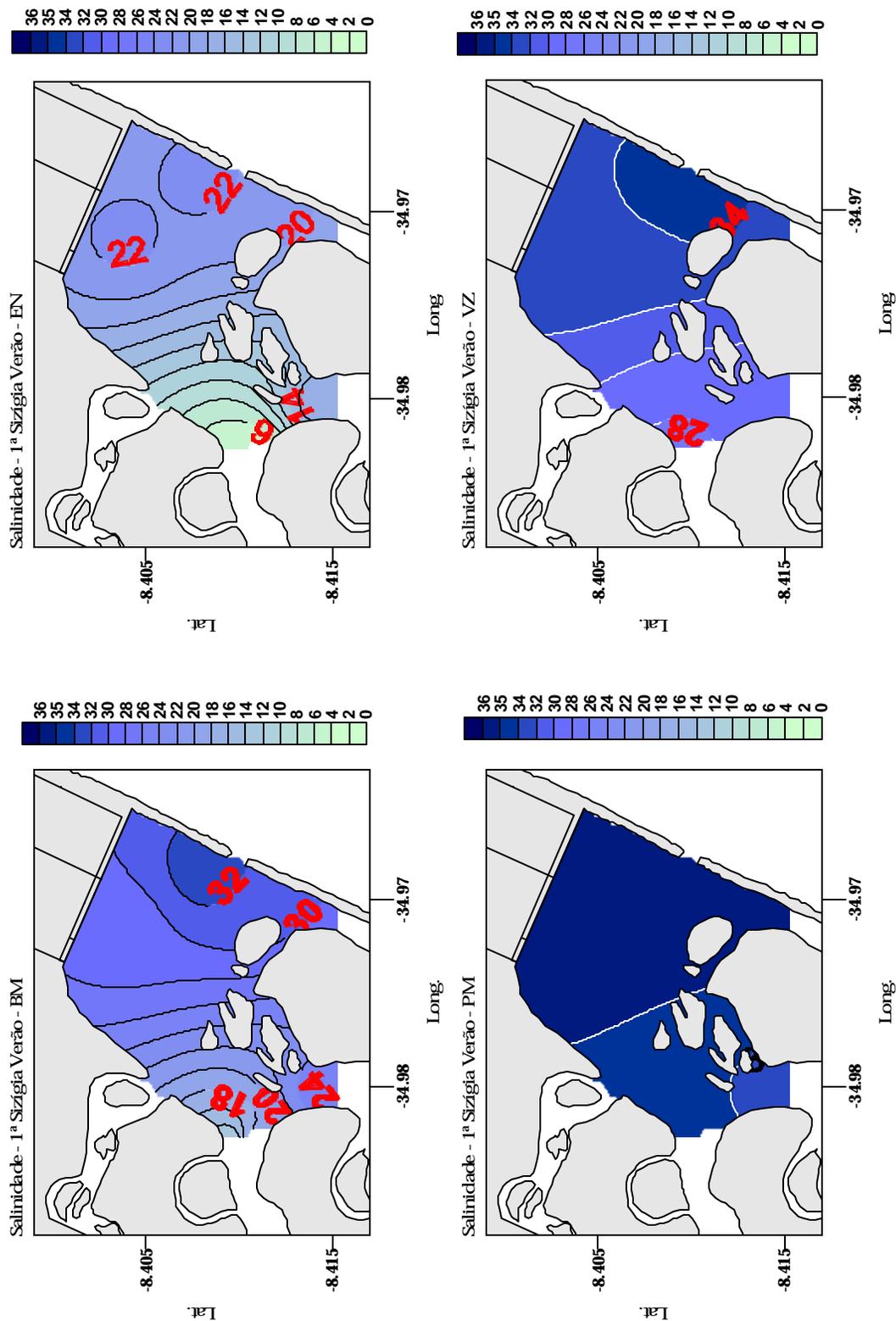


Figura 11. Distribuição horizontal da salinidade para os estágios de baixamar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante maré de sizígia no verão (09/01/2001).

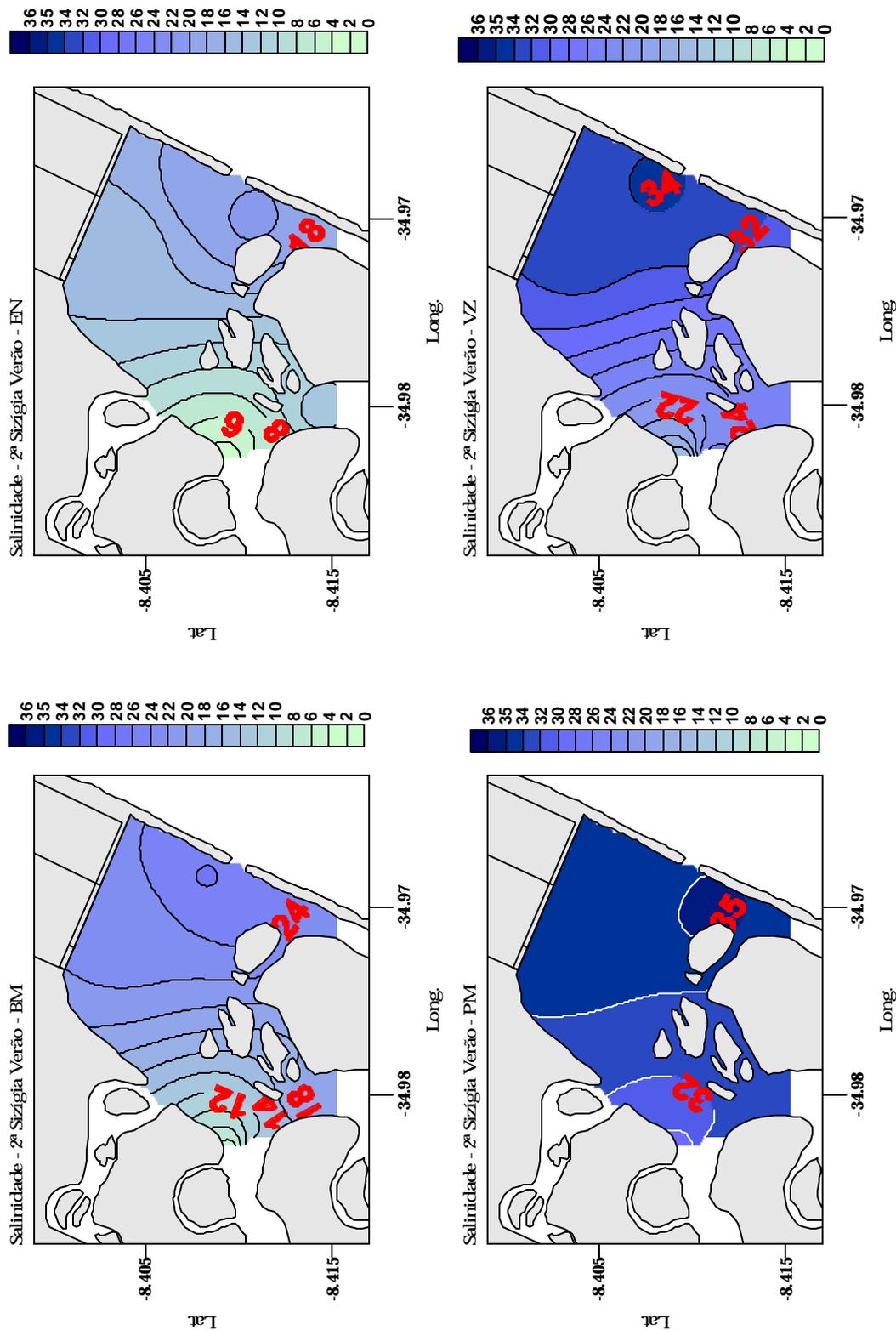


Figura 12. Distribuição horizontal da salinidade para os estágios de baixamar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante segunda maré de sizígia no verão (24/01/2001).

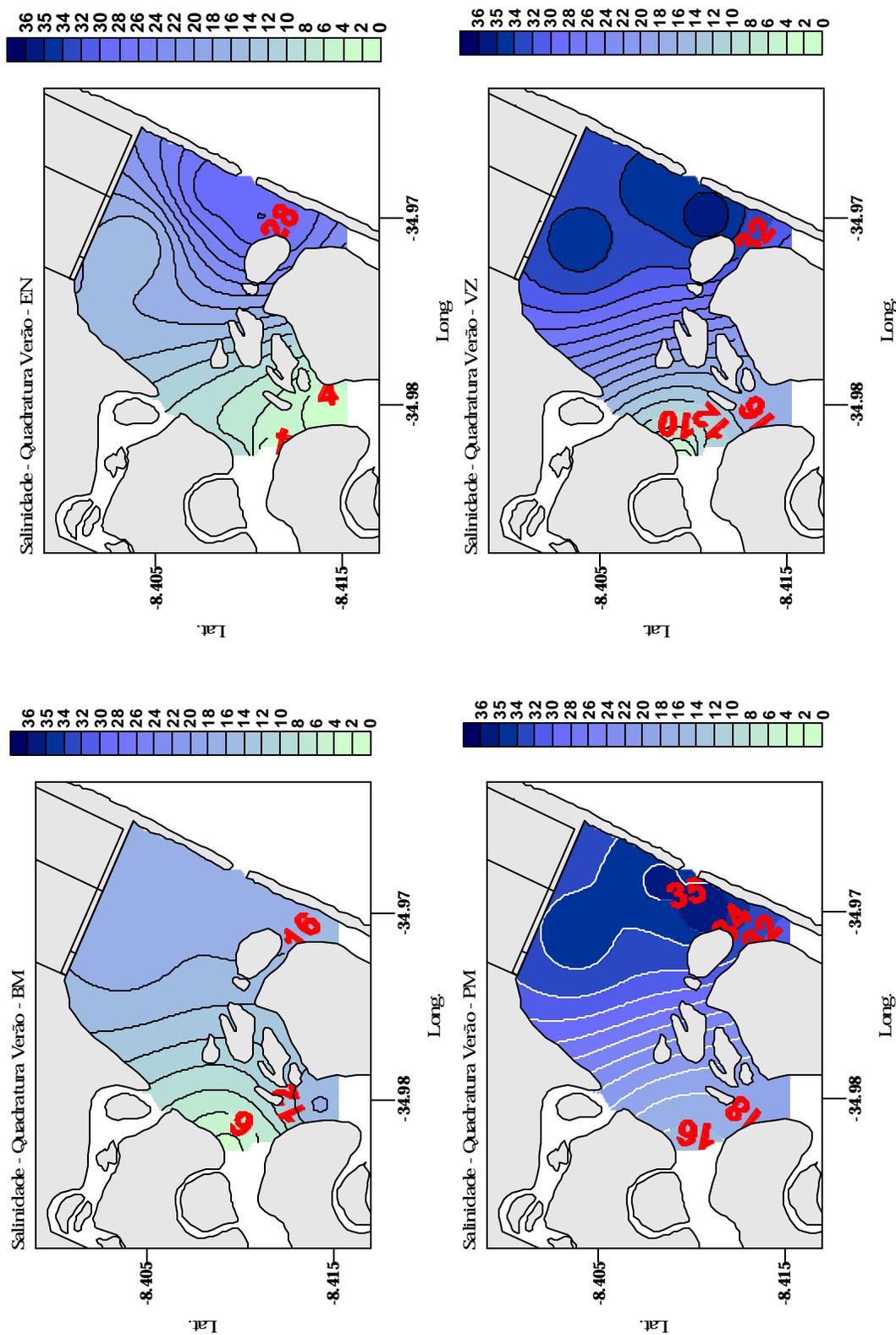


Figura 13. Distribuição horizontal da salinidade para os estágios de baixamar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante maré de quadratura no verão (16/01/2001).

Temperaturas menores ocorrem no inverno em resposta as condições climáticas. Nesse período a temperatura média da água foi de 28°C (Neumann *et al*, 1998), com valores oscilando entre 23,9°C e 30°C. Durante as duas marés de sizígia analisadas, a temperatura variou entre 26,6°C e 30°C, com média de 28°C (Figs. 14 e 15). Valores mínimos foram encontrados durante os estágios de baixa-mar e enchente com médias de 28,0°C e 27,6°C respectivamente, quando as águas dos rios Ipojuca e Merepe têm maior influência na baía. No estuário, as menores temperaturas, assim como com a salinidade, foram sistematicamente encontrados à estação 5, e estão diretamente relacionados com a descarga do rio Ipojuca e com a maior profundidade local, visto que essa estação situa-se no canal principal, próximo à sua margem Norte. Para as duas marés de quadratura de inverno analisadas, foram observados valores de temperatura menores do que aqueles encontrados nas sizíguas. Esses valores oscilaram entre 23,9°C e 27°C, com média de 26°C (Figs. 16 e 17). A pequena amplitude da maré de quadratura proporciona maior influência das águas dos rios Ipojuca e Merepe em todo o baixo estuário, determinando temperaturas menores durante essas marés. Os menores valores encontrados estiveram associados às grandes precipitações pluviométricas ocorridas antes e durante as coletas realizadas em 09/06/2000, e que determinaram um grande volume de descarga dos Rios Ipojuca e Merepe. Nesse dia a temperatura média foi de 24,5°C, com valor extremo mínimo de 23,9°C observado na estação 5 durante o estágio de maré enchente.

Durante o verão, as temperaturas são maiores em todo o baixo estuário do Rio Ipojuca e respondem principalmente à combinação entre a diminuição da lâmina d'água e o aumento da incidência da radiação solar. A temperatura média para esse período foi de 30°C. Temperaturas mais altas são observadas durante o estágio de enchente em marés de sizígia com média de 31°C (Figs. 18 e 19). Por sua vez, valores menores foram observados durante o estágio de vazante, com média de 28°C. Entre as estações, a distribuição da temperatura manteve o mesmo padrão daqueles citados anteriormente, com a estação 5 apresentando valores mínimos de 27,6°C.

Em maré de quadratura durante o período de estiagem, a temperatura variou de 27,4°C a 30,8°C, com média de 29,2°C. Temperaturas menores ocorreram durante o estágio de enchente com média de 28°C. Temperaturas maiores ocorrem durante a baixa-mar com média de 30,2°C (Fig. 20).

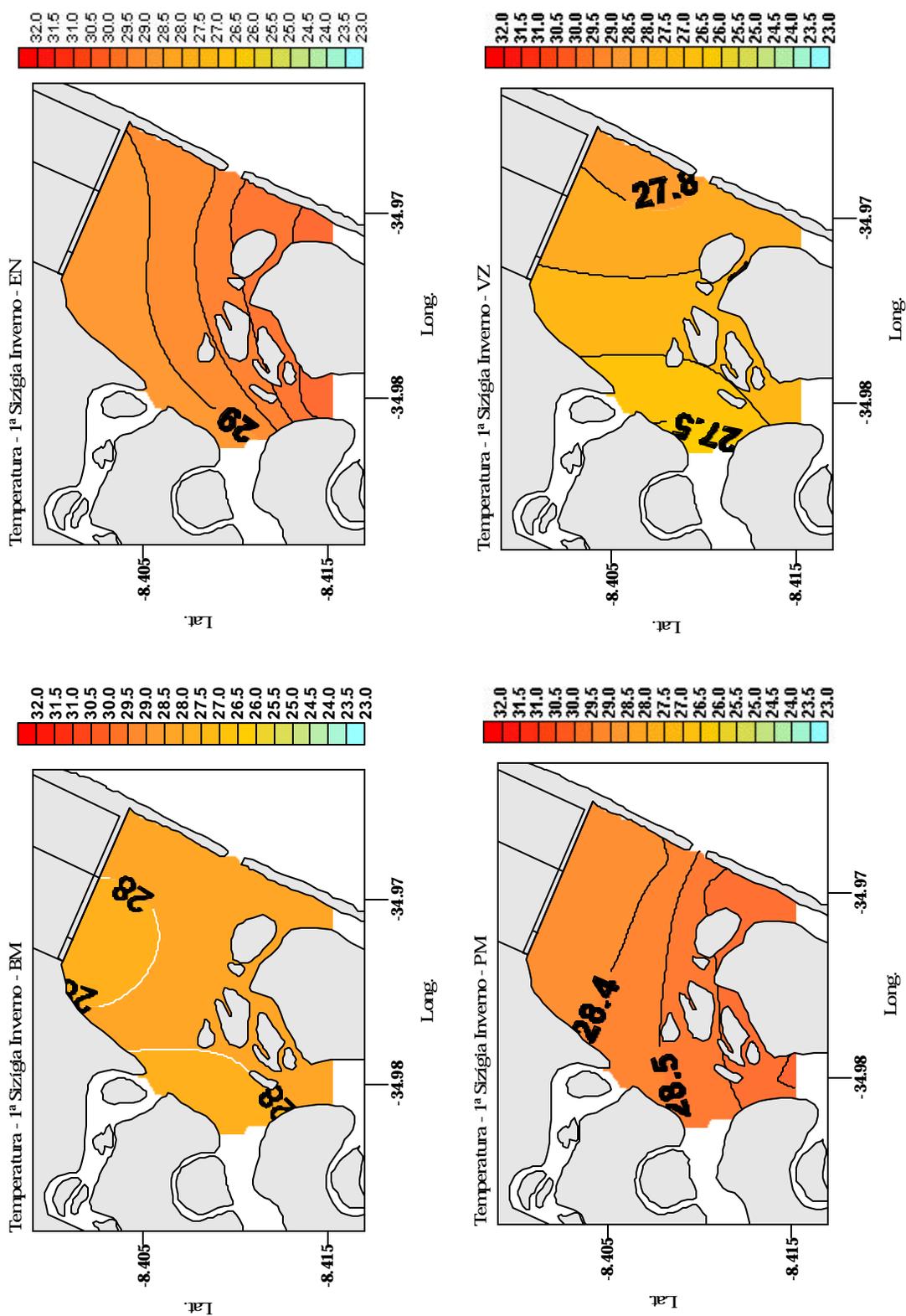


Figura 14. Distribuição horizontal da temperatura para os estágios de baixamar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante maré de sizigia no inverno.

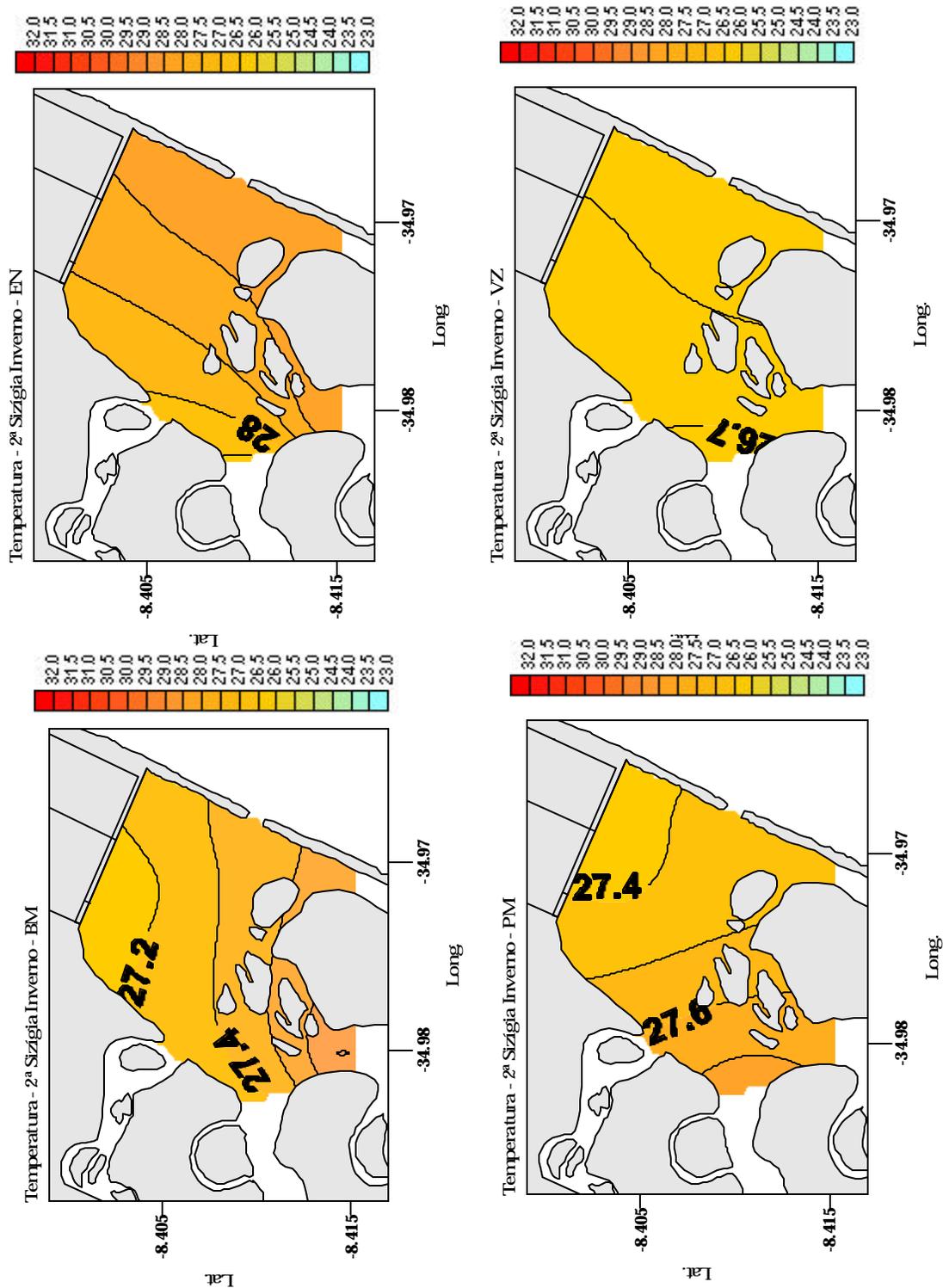


Figura 15. Distribuição horizontal da temperatura para os estágios de baixamar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante segunda maré de sizigia no inverno.

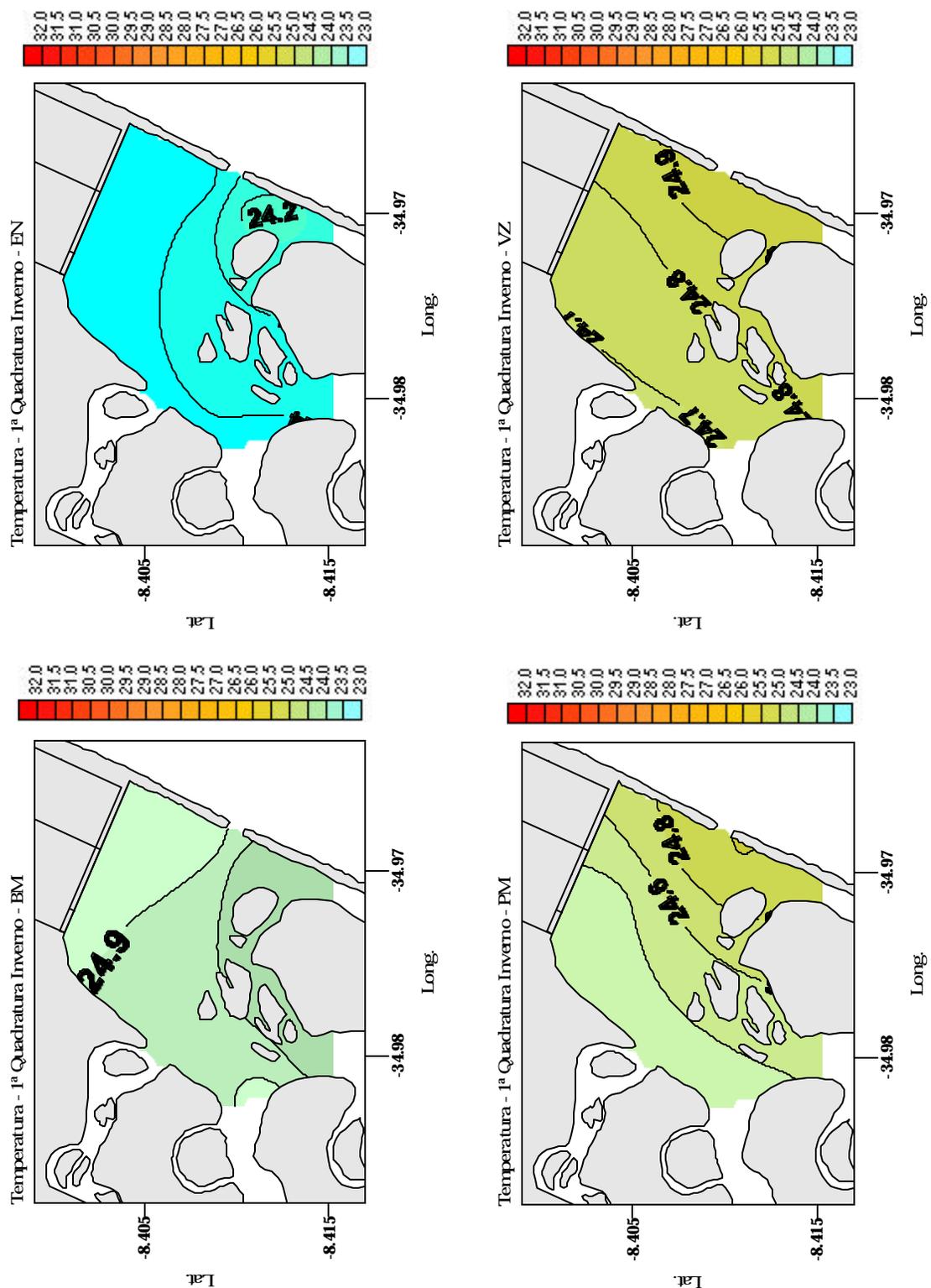


Figura 16. Distribuição horizontal da temperatura para os estágios de baixa-mar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante maré de quadratura no inverno.

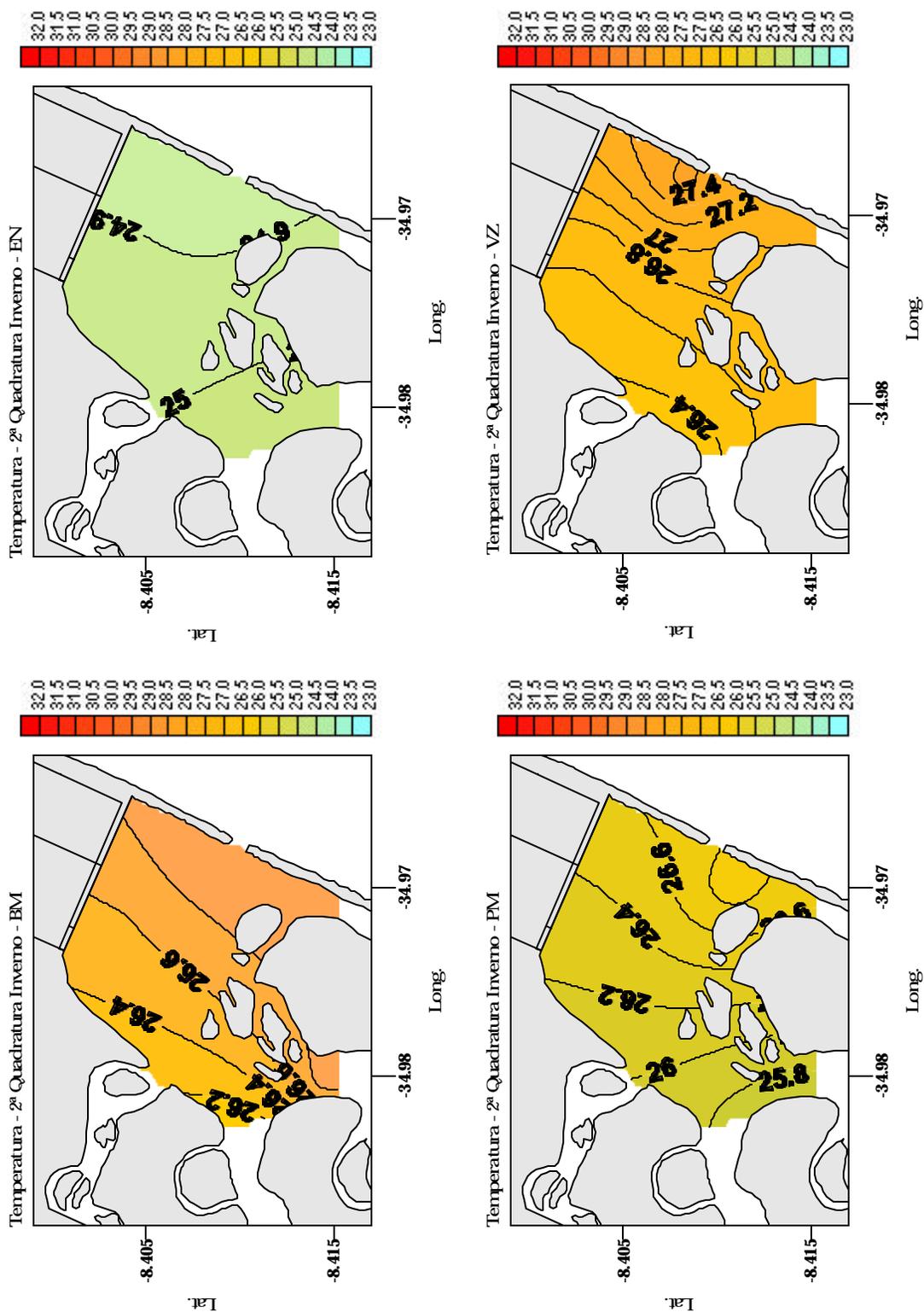


Figura 17. Distribuição horizontal da temperatura para os estágios de baixa-mar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante segunda maré de quadratura no inverno.

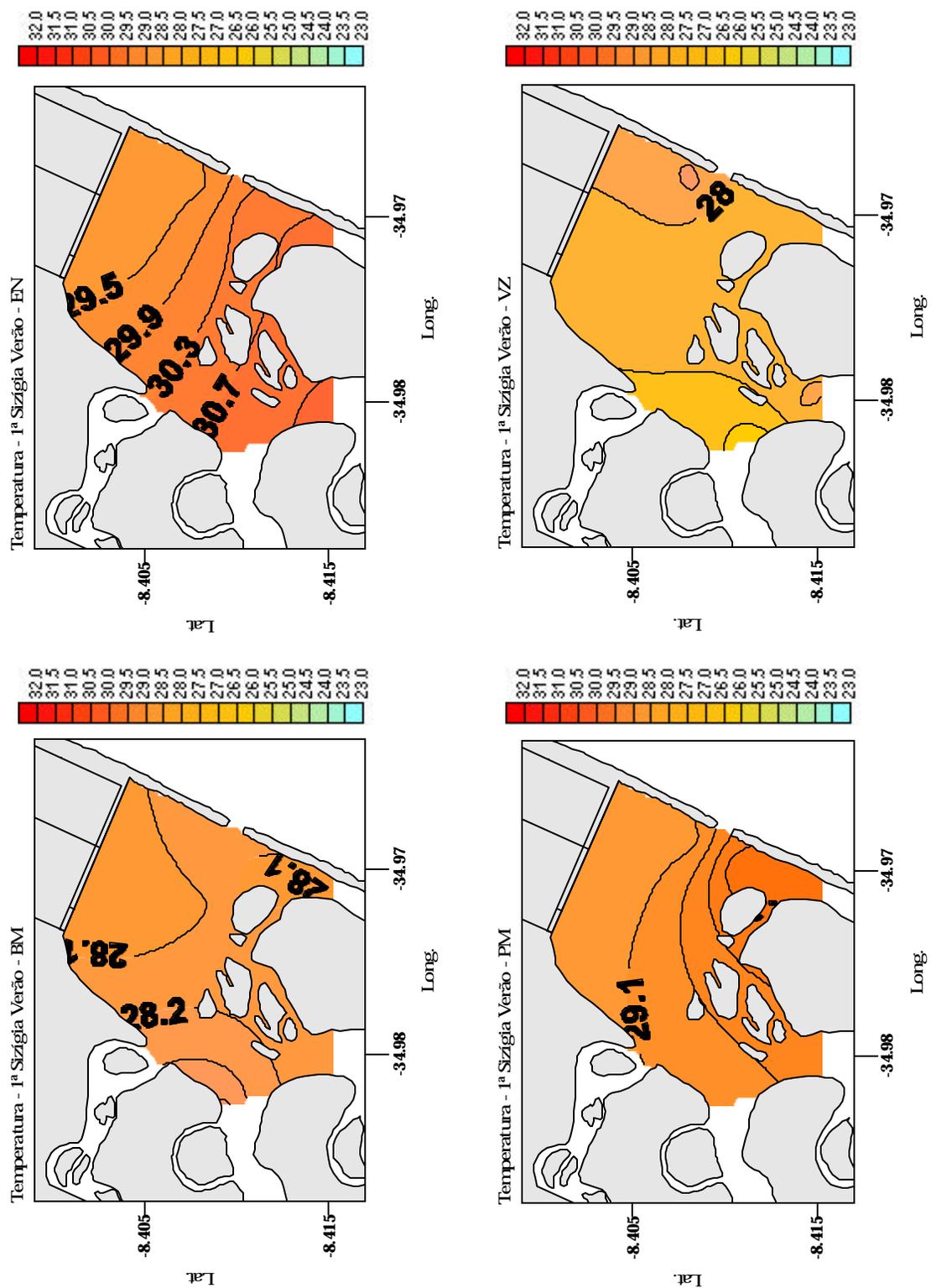


Figura 18. Distribuição horizontal da temperatura para os estágios de baixa-mar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante maré de sizigia no verão.

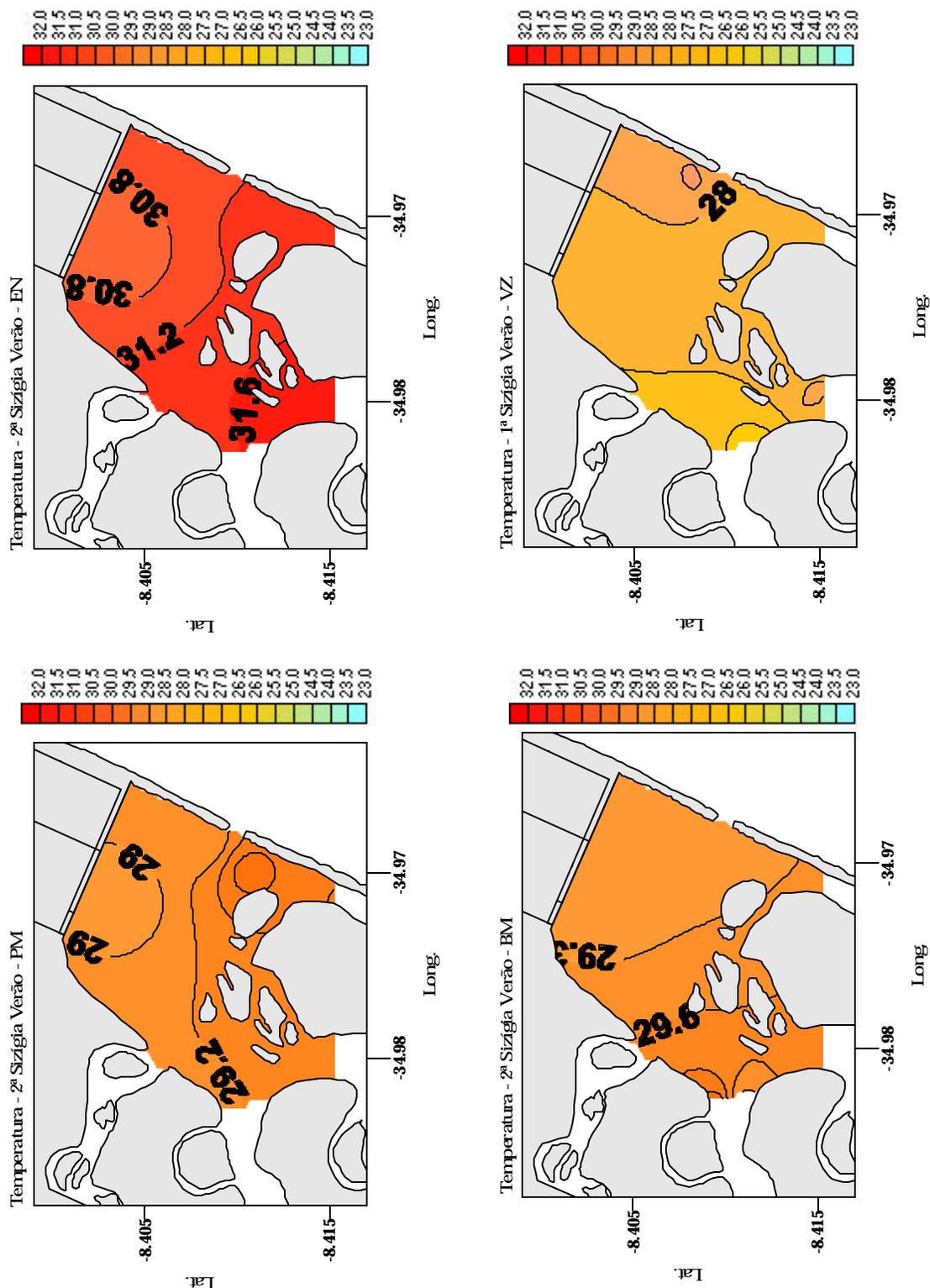


Figura 19. Distribuição horizontal da temperatura para os estágios de baixa-mar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante segunda maré de sizigia no verão.

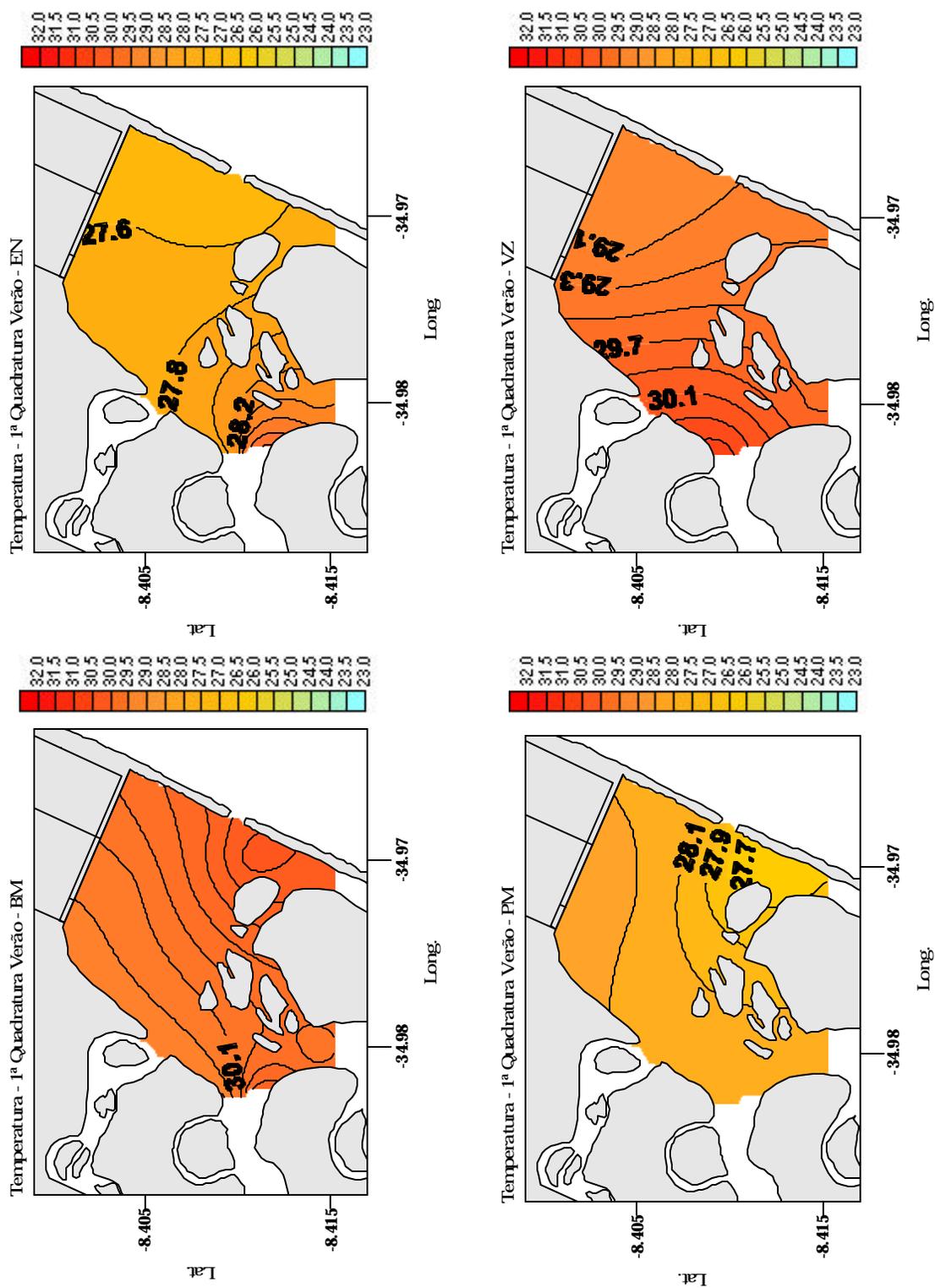


Figura 20. Distribuição horizontal da temperatura para os estágios de baixa-mar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante maré de quadratura no verão.

A capacidade de retroespalhamento ótico apresentou-se relativamente baixa, com valores menores que 60, estando de acordo os dados obtidos por Medeiros (1998) que encontrou valores de OBS baixos em todo o ciclo de maré (<100). Os sinais médios de OBS são mais altos durante o período chuvoso e estão diretamente relacionados com o maior volume de descarga dos rios Ipojuca e Merepe, decorrente dos maiores níveis de precipitação pluviométrica na bacia desses rios durante o inverno.

Para as duas marés de sizígia analisadas no inverno (Figs. 21 e 22), a capacidade de retroespalhamento ótico variou de 2 a 49. Valores maiores foram observados durante o estágio de maré enchente em ambas as coletas com médias de 26 na primeira coleta e de 21 na segunda. Por sua vez, os menores valores foram observados durante os estágios de preamar, com média de 6, quando ocorre a penetração de águas marinhas no estuário.

Durante inverno, para as duas coletas realizadas em marés de quadratura, foram observados os maiores de todos os valores de OBS encontrados. Para a primeira coleta (Fig. 23), realizada em 09/06/2000, a capacidade de retroespalhamento ótico variou de 150 a 421. Esses altos valores estão associados ao grande volume descarregado pelos rios Ipojuca e Merepe, devido às fortes chuvas ocorridas antes e durante a coleta. Excetuando essa situação, que pode ser considerada atípica, não foi observado variações temporais significativas na capacidade de retroespalhamento ótico, permanecendo este, alto, em todo o ciclo estudado, com média de 329. O valor mínimo de 150 foi encontrado durante a maré enchente na estação 1, situada a jusante da confluência dos Rios Ipojuca e Merepe, com menor influência destes.

Para a segunda coleta em quadratura de inverno (Fig. 24), realizada em 24/07/2000, a capacidade de retroespalhamento ótico variou de 21 a 89. Durante o estágio de preamar foram observados os menores valores de OBS, com média de 42. Os maiores valores foram observados durante a enchente com média de 67. Entre as estações, de modo geral, os maiores valores estão associados às estações 5, 7 e 8, localizadas na confluência dos rios Ipojuca e Merepe, uma vez que recebem influência direta dos mesmos. Os menores valores, por sua vez, são encontrados nas estações 1 e 3, mais próximas ao mar.

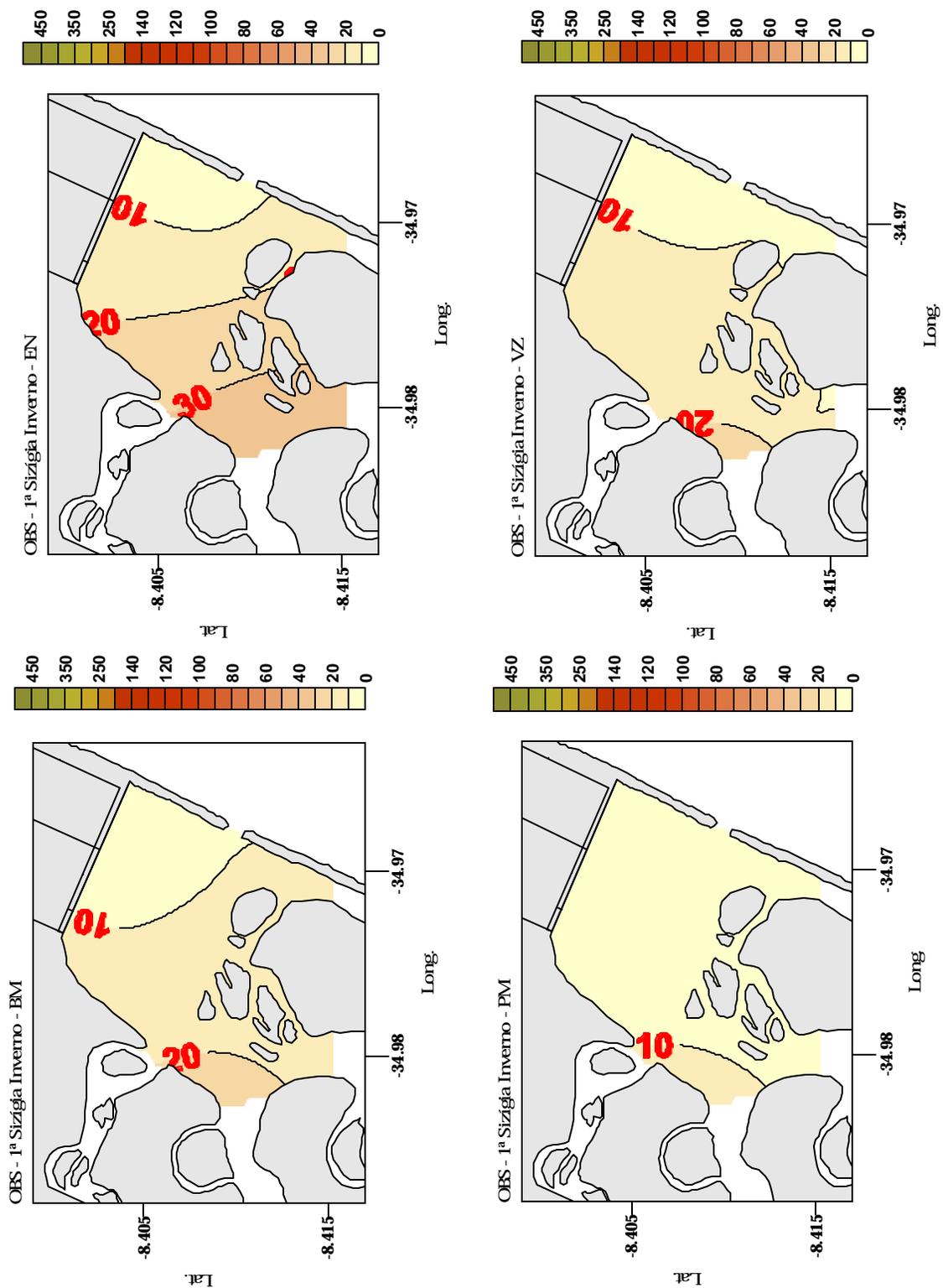


Figura 21. Distribuição horizontal da capacidade de retroespalhamento óptico para os estágios de baixa-mar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante maré de sizigia no inverno.

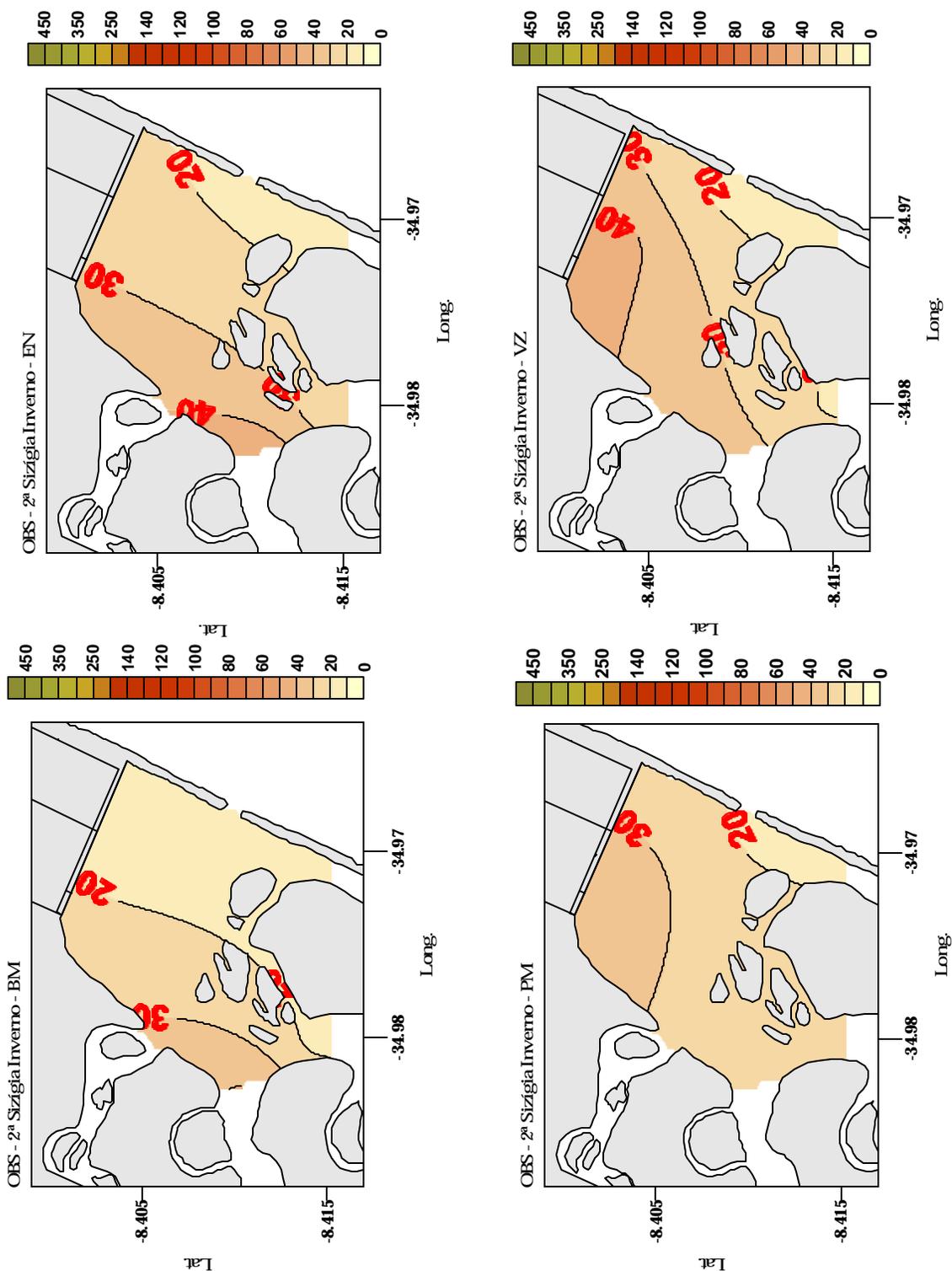


Figura 22. Distribuição horizontal da capacidade de retroespalhamento óptico para os estágios de baixa-mar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante segunda maré de sizigia no inverno.

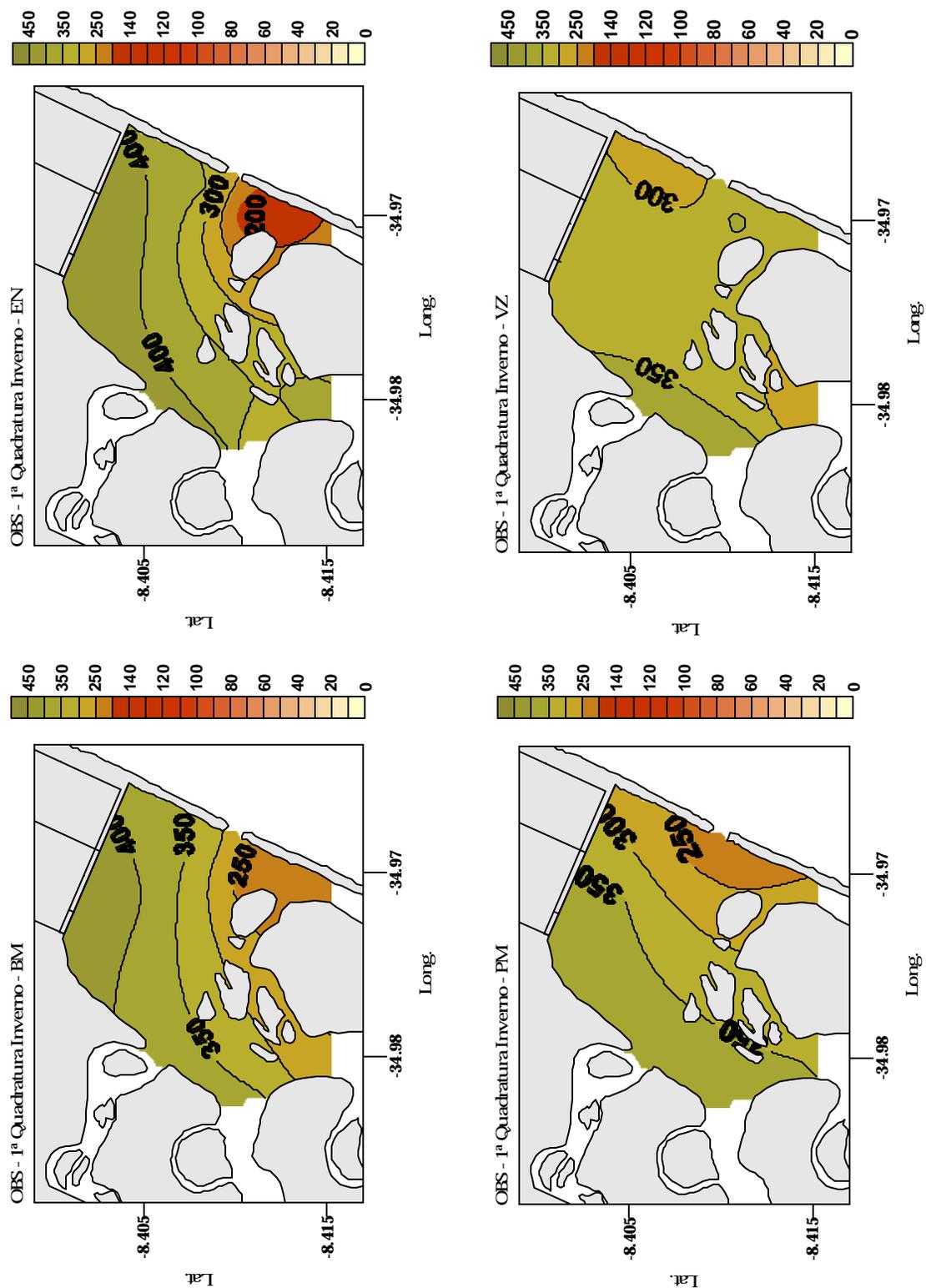


Figura 23. Distribuição horizontal da capacidade de retroespalhamento óptico para os estágios de baixa-mar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante maré de quadratura no inverno.

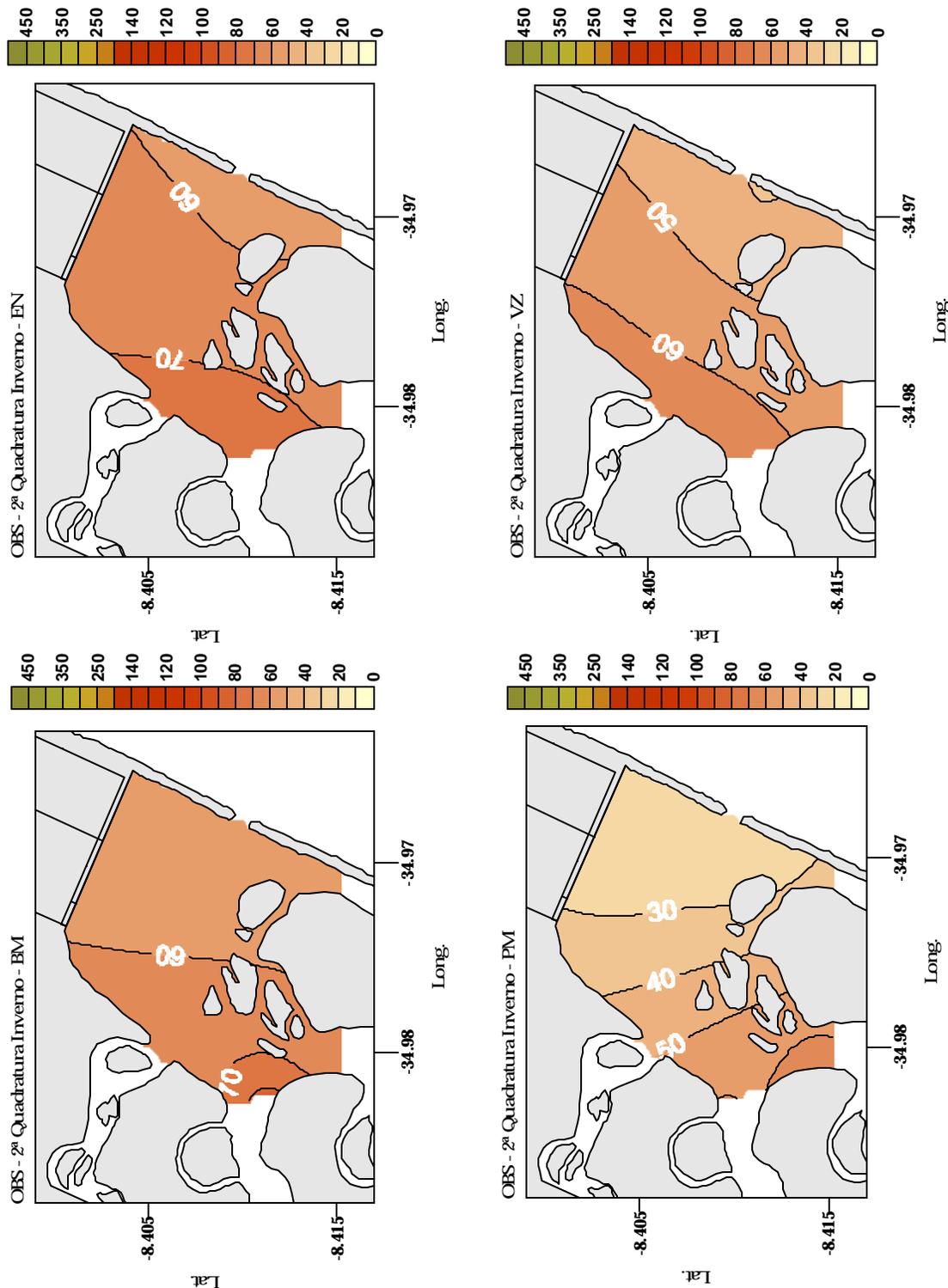


Figura 24. Distribuição horizontal da capacidade de retroespalhamento óptico para os estágios de baixa-mar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante segunda maré de quadratura no inverno.

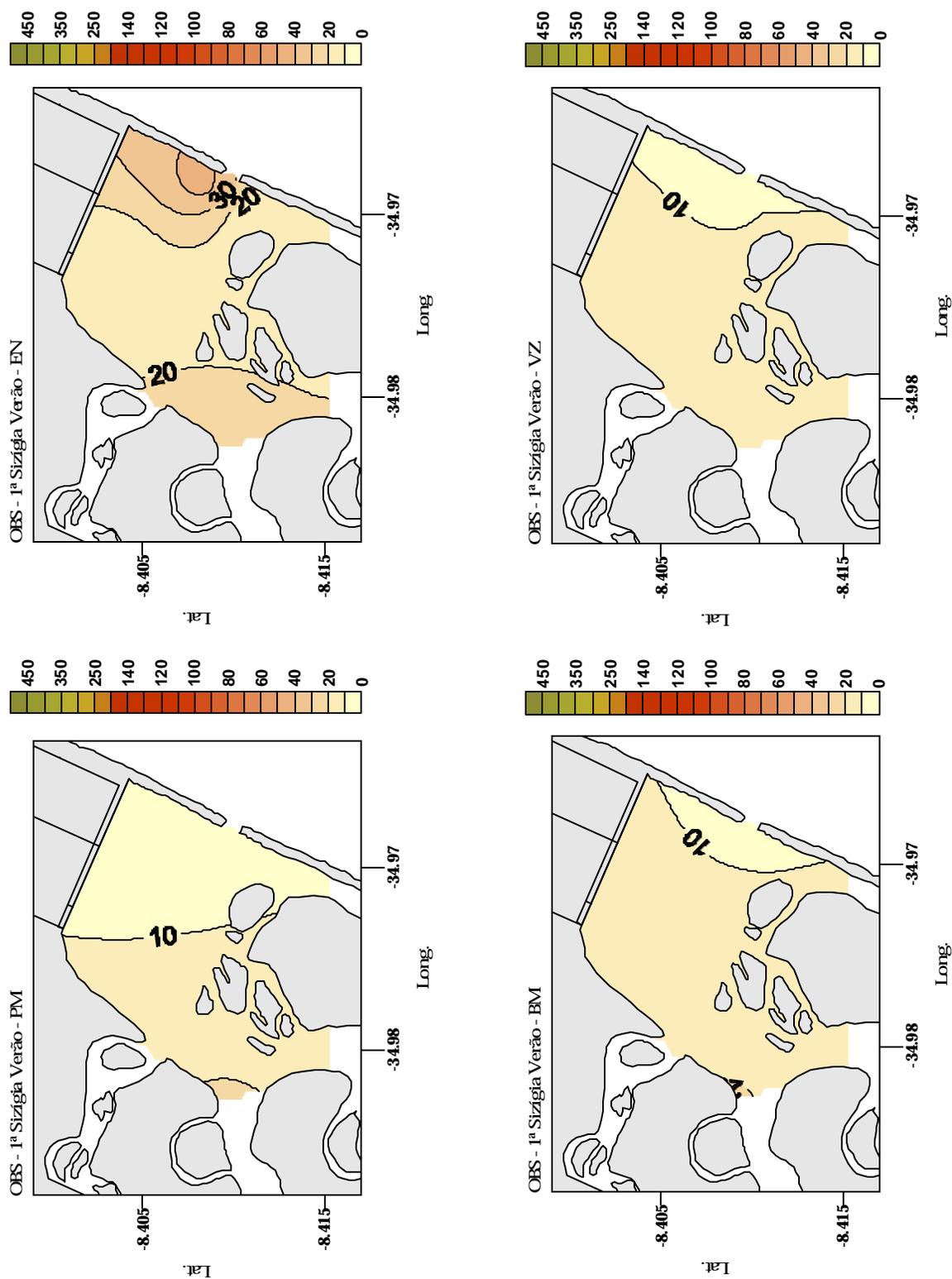


Figura 25. Distribuição horizontal da capacidade de retroespalhamento óptico para os estágios de baixa-mar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante maré de sizígia no verão.

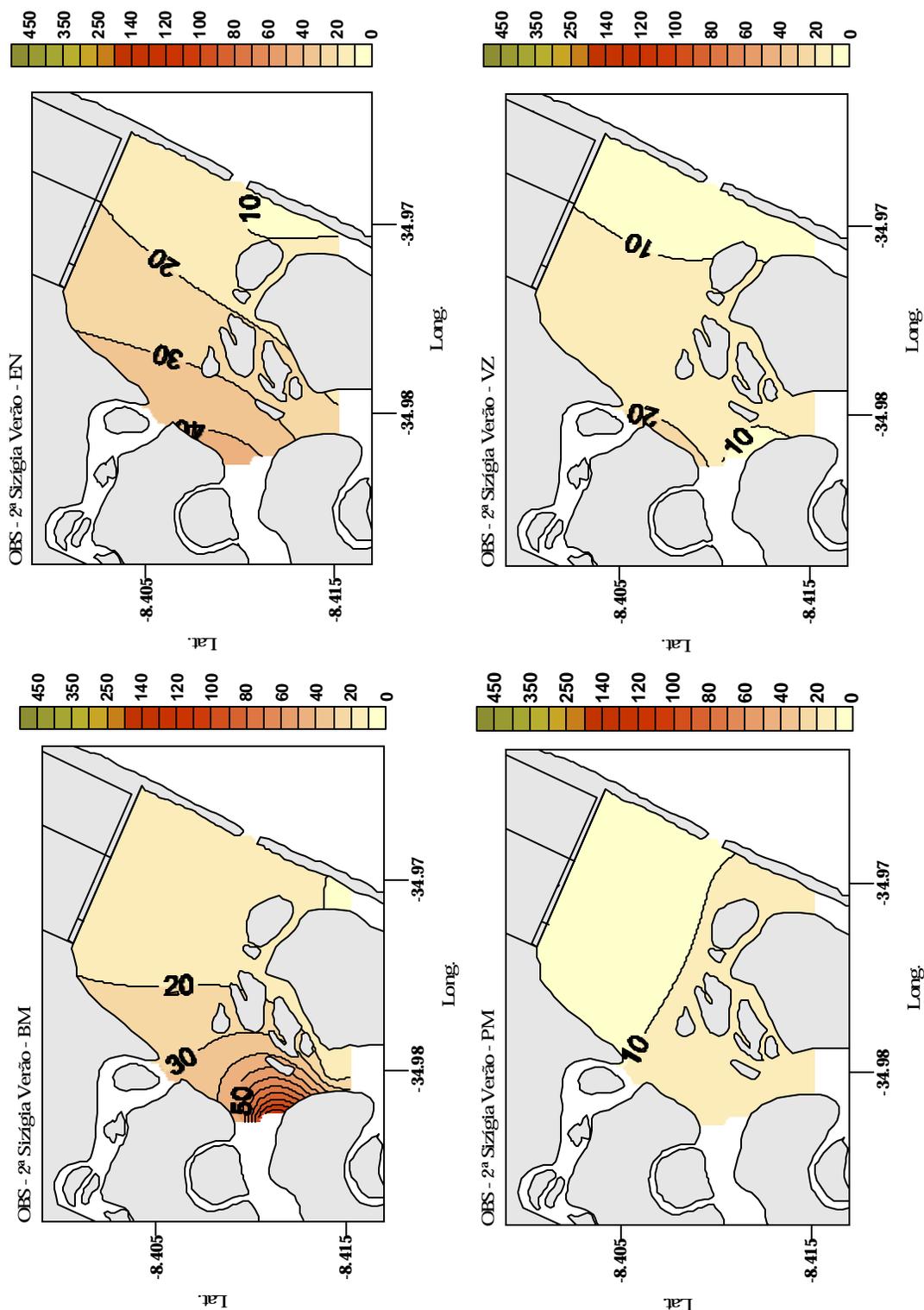


Figura 26. Distribuição horizontal da capacidade de retroespalhamento óptico para os estágios de baixa-mar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante segunda maré de sizígia no verão.

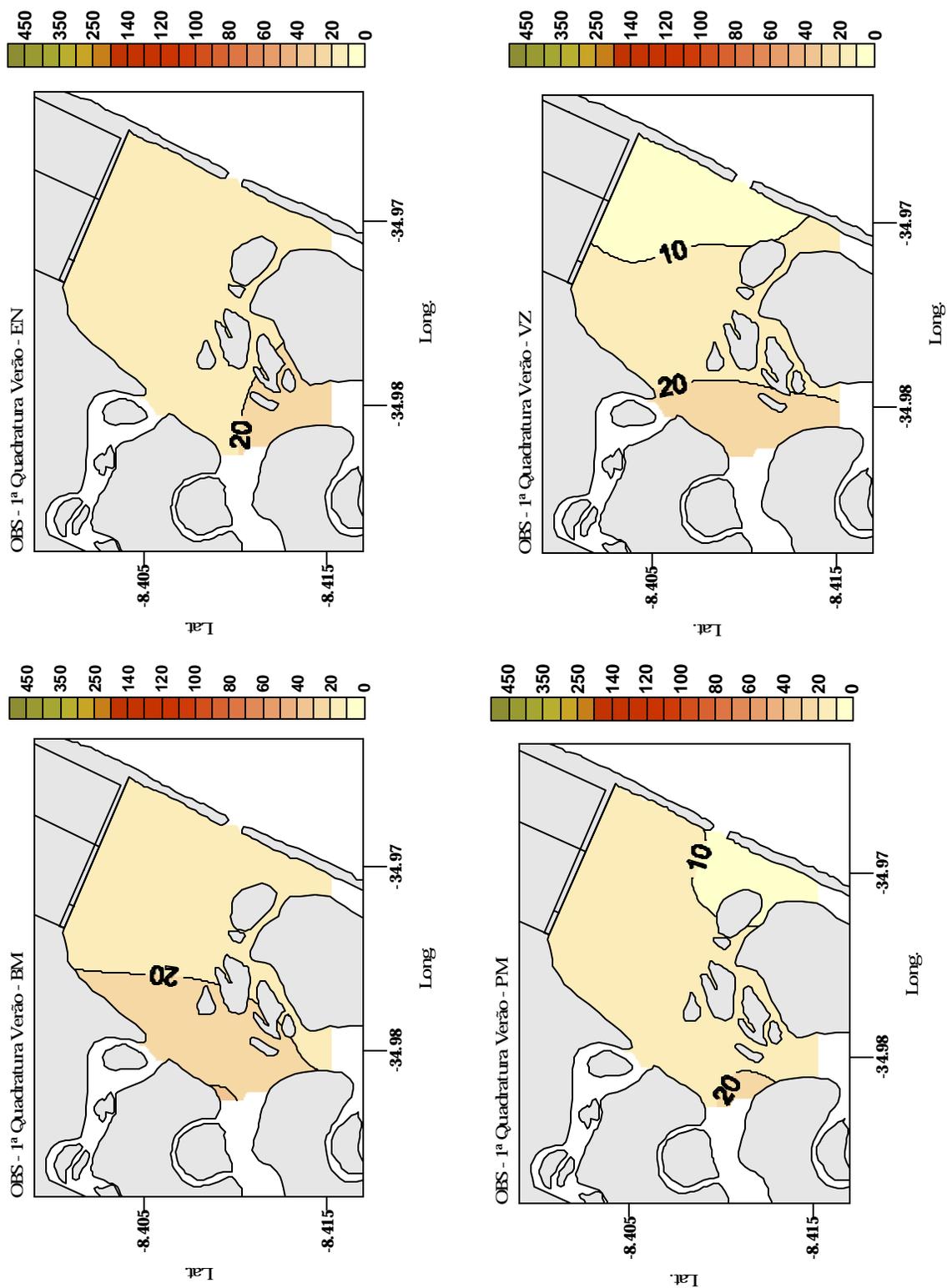


Figura 27. Distribuição horizontal da capacidade de retroespalhamento óptico para os estágios de baixa-mar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante maré de quadratura no verão.

No período de estiagem o sinal médio de OBS foi de 25 durante a sizígia e de 13 durante a quadratura. Para as duas marés de sizígia analisadas (Figs. 25 e 26), os menores valores ocorreram durante o estágio de maré vazante com médias de 13 e 10 respectivamente. Os valores mais elevados foram registrados durante o estágio de maré enchente em ambas as coletas, com médias de 24 e 26 respectivamente. A distribuição espacial, de modo geral, seguiu o mesmo padrão das observações anteriores, com os maiores valores de OBS sendo encontrados às estações 5, 7 e 8, e os menores valores nas estações 1 e 3 sujeitas a uma maior diluição pelas águas marinha.

Durante maré quadratura no verão, os valores de OBS oscilaram entre 8 e 33, com média de 17 (Fig. 27). O menor valor (8) ocorreu na estação 1 durante a preamar, cuja média nesse estágio foi de 15,2. Os maiores valores ocorreram durante a baixamar com média de 20.

5.3 – Circulação e Mistura

As correntes no baixo estuário do rio Ipojuca apresentam grande variabilidade em intensidade, com valores extremo mínimo de 0.2 e máximo de 66 cm.s^{-1} .

Para o período chuvoso, durante uma maré de sizígia (Fig. 28), as correntes mais intensas foram observadas no estágio de maré vazante, variando de 19.2 a 38.6 cm.s^{-1} , com valor médio de 27.7 cm.s^{-1} , consistente com os dados obtidos por Medeiros (1998) e Pires (2001). A direção preferencial das mesmas foi Oeste-Leste, seguindo o eixo principal do estuário. Entre as estações, a de número 5, localizada no trecho final da calha do rio Ipojuca, apresentou os maiores valores, com picos de 31.7 cm.s^{-1} . As correntes mais intensas nessa área se devem à maior descarga pelo rio durante o inverno em resposta a uma maior precipitação. Na estação 3, próxima à Barra Nova, também foram registradas correntes mais fortes, com picos de 38,6 cm.s^{-1} . A Barra Nova é a única passagem no arrecife principal, para o escoamento das águas dos rios Ipojuca e Merepe, a qual não é largo o suficiente para dar vazão ao volume de água aportado por esses rios explicando as correntes mais intensidades observadas nesta estação.

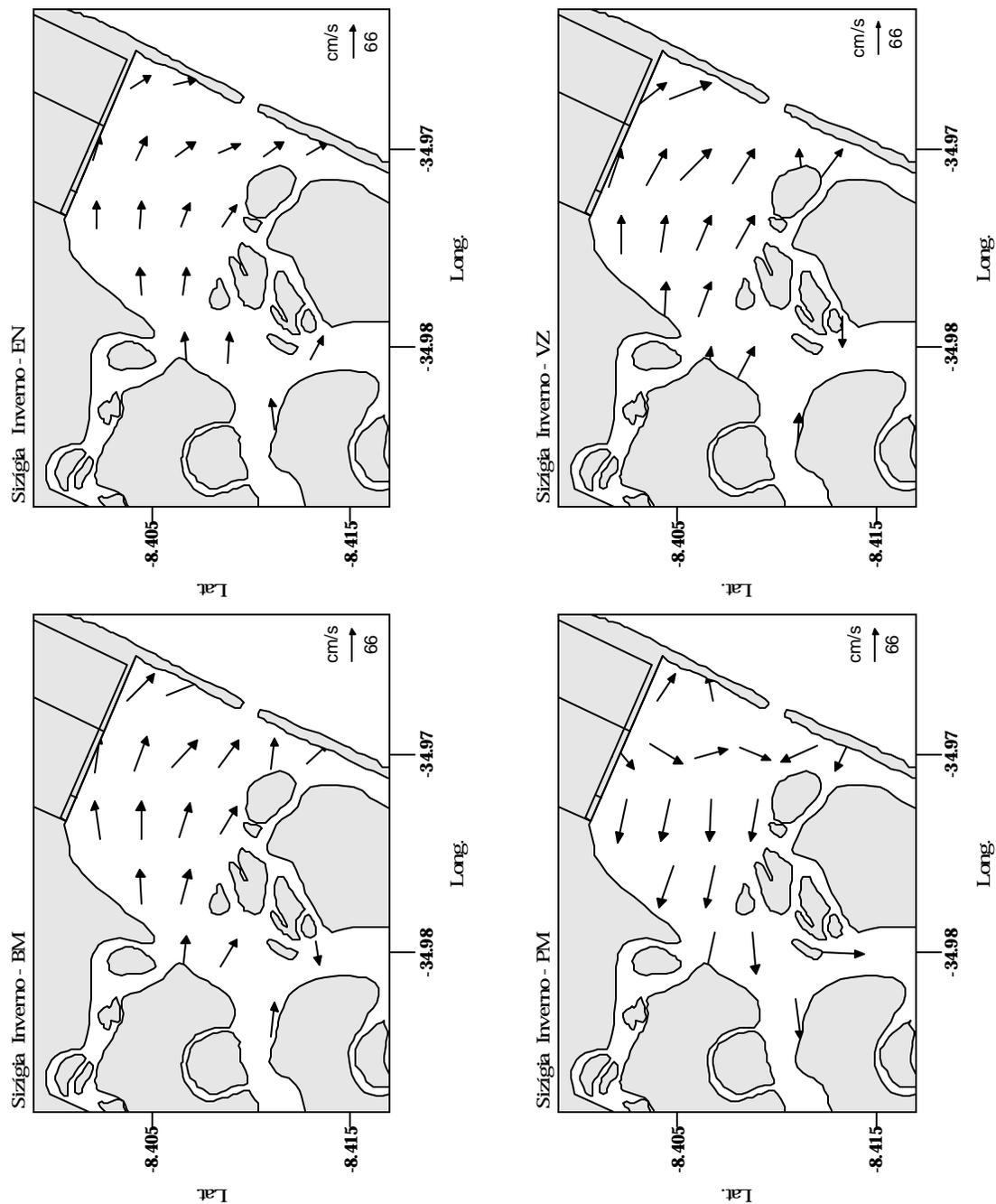


Figura 28. Direção e intensidade de correntes para os estágios de baixamar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante uma sizígia no inverno.

A estação 8, situada no trecho final da calha do rio Merepe, apresentou correntes fracas em situação de descarga, uma vez que sua vazão é bem inferior àquela do Ipojuca. Porém, durante a penetração de águas marinhas no estuário, por ocasião da preamar, observam-se valores de intensidade altos nessa estação, com picos de $30,1 \text{ cm.s}^{-1}$.

Esse mesmo padrão de direção foi observado para o estágio de baixa-mar, porém com intensidades menores, com média de $20,2 \text{ cm.s}^{-1}$ e valores variando entre $3,3 \text{ cm.s}^{-1}$ na estação 8 e $27,4 \text{ cm.s}^{-1}$ na estação 3. Durante a enchente, observa-se o mesmo padrão de direção, todavia com média de $12,9 \text{ cm.s}^{-1}$ e valores variando entre $9,3 \text{ cm.s}^{-1}$ na estação 3 e $20,7 \text{ cm.s}^{-1}$ na estação 5.

Durante o estágio de preamar, contudo, observa-se uma inversão de aproximadamente 180° na direção das correntes, assumindo estas um sentido Leste-Oeste, quando a força da maré alta determina a penetração de águas marinhas no estuário. Para esse estágio, também foram observados valores de intensidade altas, com média de $27,5 \text{ cm.s}^{-1}$.

No período chuvoso, durante maré de quadratura (Fig. 29), foram observados valores de intensidade de corrente maiores que aqueles obtidos durante a sizígia. Durante marés de quadratura, a amplitude da maré é pequena, se comparada com a sizígia, determinando, assim, uma menor força de penetração da maré no estuário, e conseqüentemente intensidade de correntes menores. Todavia, as maiores precipitações pluviométricas dos últimos 35 anos foram observadas durante o ano de 2000, ano em que foram realizados os trabalhos de campo, sendo que nos dois dias que antecederam a coleta, ocorreram chuvas intensas, que determinaram um grande volume de descarga dos rios Ipojuca e Merepe, o que pode explicar os altos valores de intensidade de correntes observados.

As maiores intensidades de correntes, durante a quadratura de inverno, ocorreram durante os estágios de vazante e baixa-mar com uma média de $29,5 \text{ cm.s}^{-1}$ para ambos os estágios. A estação 5 apresentou os maiores valores, atingindo 58 cm.s^{-1} durante a vazante e $52,9 \text{ cm.s}^{-1}$ na baixa-mar, os quais estão associados ao aumento da precipitação pluviométrica sobre a bacia dos rios Ipojuca e Merepe

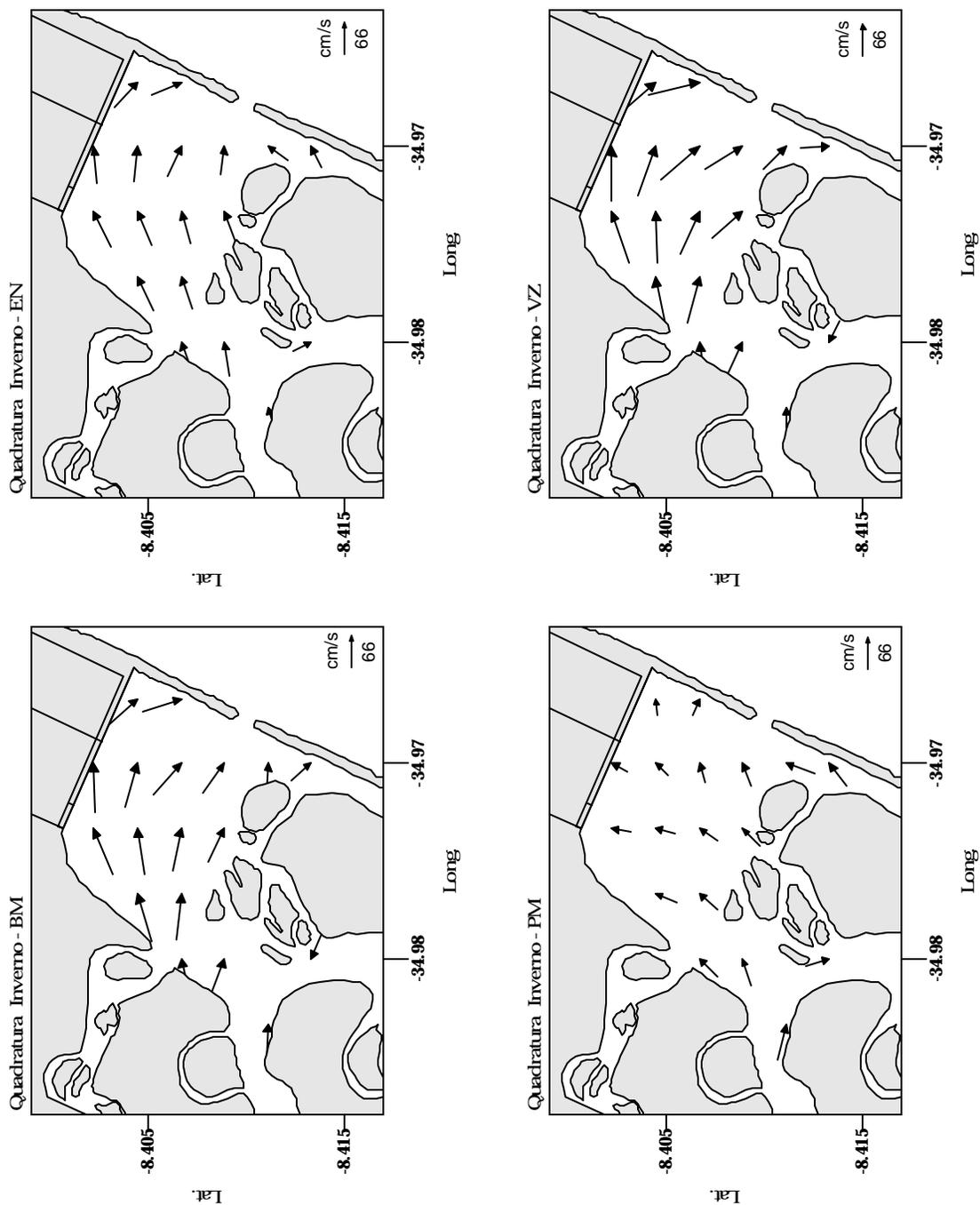


Figura 29. Direção e intensidade de correntes para os estágios de baixamar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante uma quadratura no inverno.

no inverno, e conseqüentemente maior descarga. A estação 3, situada próxima a Barra Nova, também apresentou correntes mais intensas, sobretudo durante as vazantes, atingindo valores de $48,3 \text{ cm.s}^{-1}$. As correntes mais fracas foram observadas à estação 8, situada no trecho inferior do rio Merepe, com intensidades de $2,3 \text{ cm.s}^{-1}$ na enchente e de $4,5 \text{ cm.s}^{-1}$ na vazante.

Durante os estágios de baixa-mar (BM), enchente (EN) e vazante (VZ), as correntes, nas quadraturas de inverno, mantiveram o mesmo padrão de direção observado para a sizígia, assumindo direção preferencial Oeste-Leste, seguindo o eixo principal do estuário. Durante o estágio de preamar, porém, observa-se um represamento das águas dentro do estuário, onde foram observados os menores valores de intensidade de correntes, com média de $12,9 \text{ cm.s}^{-1}$. O grande volume de água descarregado pelo rio Ipojuca se contrapõe à entrada das águas marinhas no estuário, como foi observado durante a preamar de sizígia. A maré alta, por sua vez, atuou como uma barreira para o escoamento das águas do baixo estuário para o mar, escoamento este, que se dá através da Barra Nova. Esse represamento determinou ainda, a entrada de águas do rio Ipojuca no rio Merepe, sendo registrado intensidade de $9,2 \text{ cm.s}^{-1}$ na estação 8, a maior encontrada nessa estação, para esse estágio.

No período de estiagem, representado pelos meses de janeiro e fevereiro/2001, as correntes foram menos intensas que aquelas registradas no período chuvoso, tanto em marés de sizígia, quanto de quadratura. Essa menor dinâmica está associada a menor descarga fluvial pelo Ipojuca e Merepe, em respostas a um menor volume de precipitação.

O padrão das correntes no baixo estuário do rio Ipojuca, durante uma maré de sizígia no verão (Fig. 30), foi semelhante ao observado durante uma maré de sizígia no inverno, onde apenas no estágio de preamar ocorre a entrada de águas marinhas no estuário, com as correntes fluindo no sentido Leste-Oeste. Nos períodos de baixa-mar (BM), enchente (EN) e vazante (VZ), o sentido das correntes assume uma direção preferencial Oeste-Leste, seguindo o eixo principal do estuário, ou seja, seguem o mesmo padrão observado no inverno.

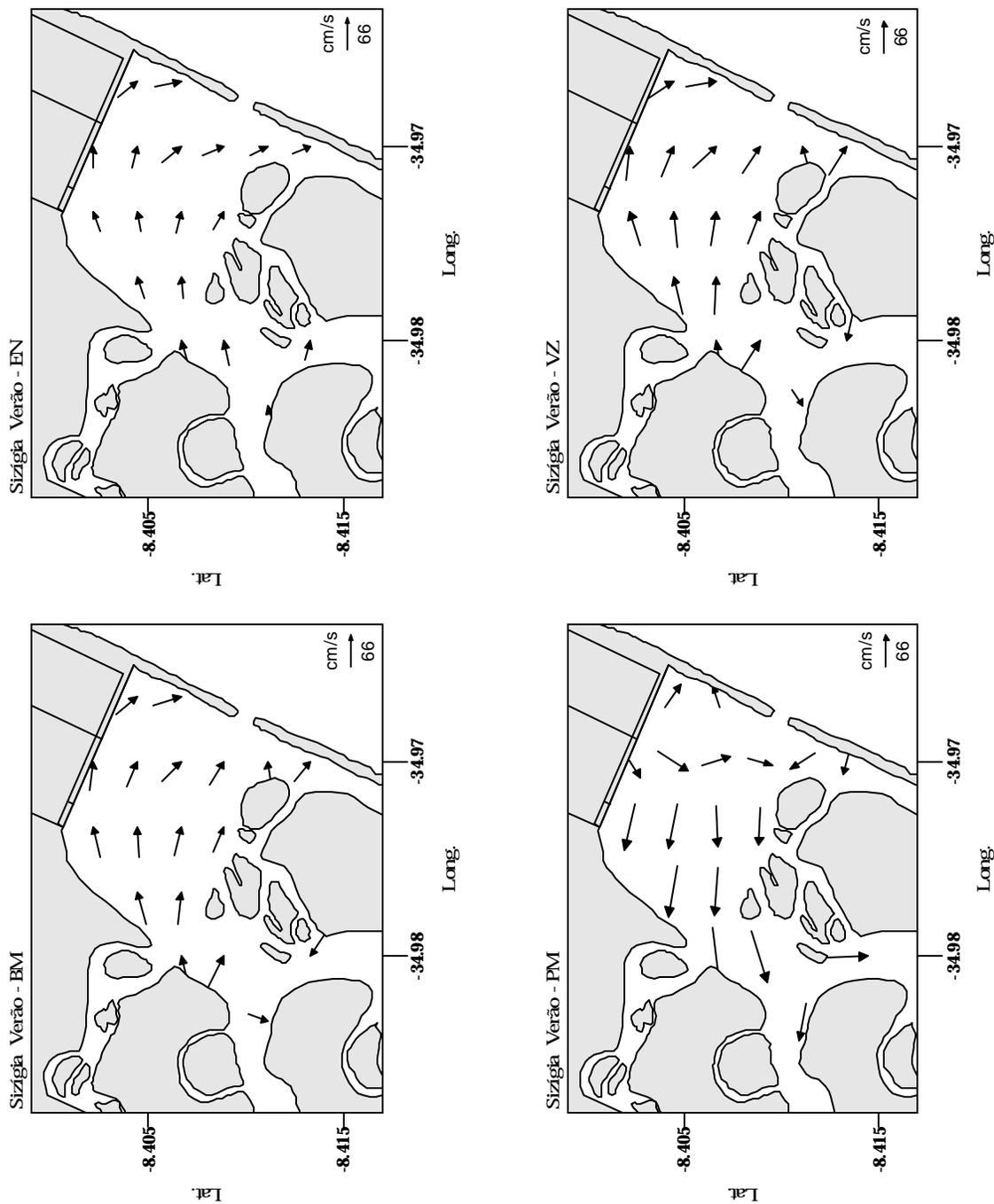


Figura 30. Direção e intensidade de correntes para os estágios de baixamar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante uma sizígia no verão.

Todavia as maiores intensidades de correntes foram observadas no estágio de preamar, com uma velocidade média de $30,1 \text{ cm.s}^{-1}$, e não no estágio de vazante, como observado durante o inverno. A diminuição da vazão dos rios Ipojuca e Merepe, no período de estiagem, facilita a penetração de águas marinhas no estuário, e podem explicar os maiores valores de intensidade obtidos durante a preamar de sizígia. Na estação 5 (rio Ipojuca) foram observadas as maiores correntes, com intensidade de $65,4 \text{ cm.s}^{-1}$. Na estação 8 (rio Merepe), também foram observadas intensidades altas com picos de $35,0 \text{ cm.s}^{-1}$. Esses valores demonstram forte aporte de água salgada entrando nesses rios (Ipojuca e Merepe) durante a preamar.

Para uma maré de quadratura no verão (Fig. 31), os valores de intensidade de correntes foram menores do que aqueles observados durante a sizígia, e não só durante a preamar, mas também durante a enchente, ocorre penetração de águas marinhas no estuário.

Durante o estágio de maré enchente, as maiores intensidades de corrente foram observadas na estação 3 (Barra Nova), com intensidade de $16,9 \text{ cm.s}^{-1}$, e direção leste-Oeste. A estação 8 (rio Merepe), por sua vez, apresentou intensidade de corrente de $11,9 \text{ cm.s}^{-1}$, com águas marinhas entrando rio acima. Na preamar, observa-se que os valores de intensidade mais altos ocorreram nas estações 8 (rio Merepe) com velocidade de $13,8 \text{ cm.s}^{-1}$, e direção Norte-Sul, seguindo o eixo principal do estuário, e na estação 3 (Barra Nova) com intensidade de $9,9 \text{ cm.s}^{-1}$, e sentido Leste-Oeste, ou seja, adentrando o estuário.

Durante o estágio de maré vazante, as correntes foram mais intensas, com média de $16,5 \text{ cm.s}^{-1}$ e direção preferencial Oeste-Leste. A estação 5 (rio Ipojuca), apresentou os valores mais altos ($25,0 \text{ cm.s}^{-1}$) e direção preferencial Oeste-Leste. Para o estágio de baixa-mar, observa-se o mesmo padrão de correntes da vazante, todavia com menores intensidades, com média de 11 cm.s^{-1} . As maiores intensidades foram observadas na estação 5 com valor de $26,2 \text{ cm.s}^{-1}$ e na estação 3 com valor de $22,3 \text{ cm.s}^{-1}$.

O transporte líquido (Fig. 32), pode ser considerado positivo, ou seja predominam correntes no sentido Oeste-Leste em todos os estágios de maré, tanto no inverno quanto no verão, atuando o estuário como exportador.

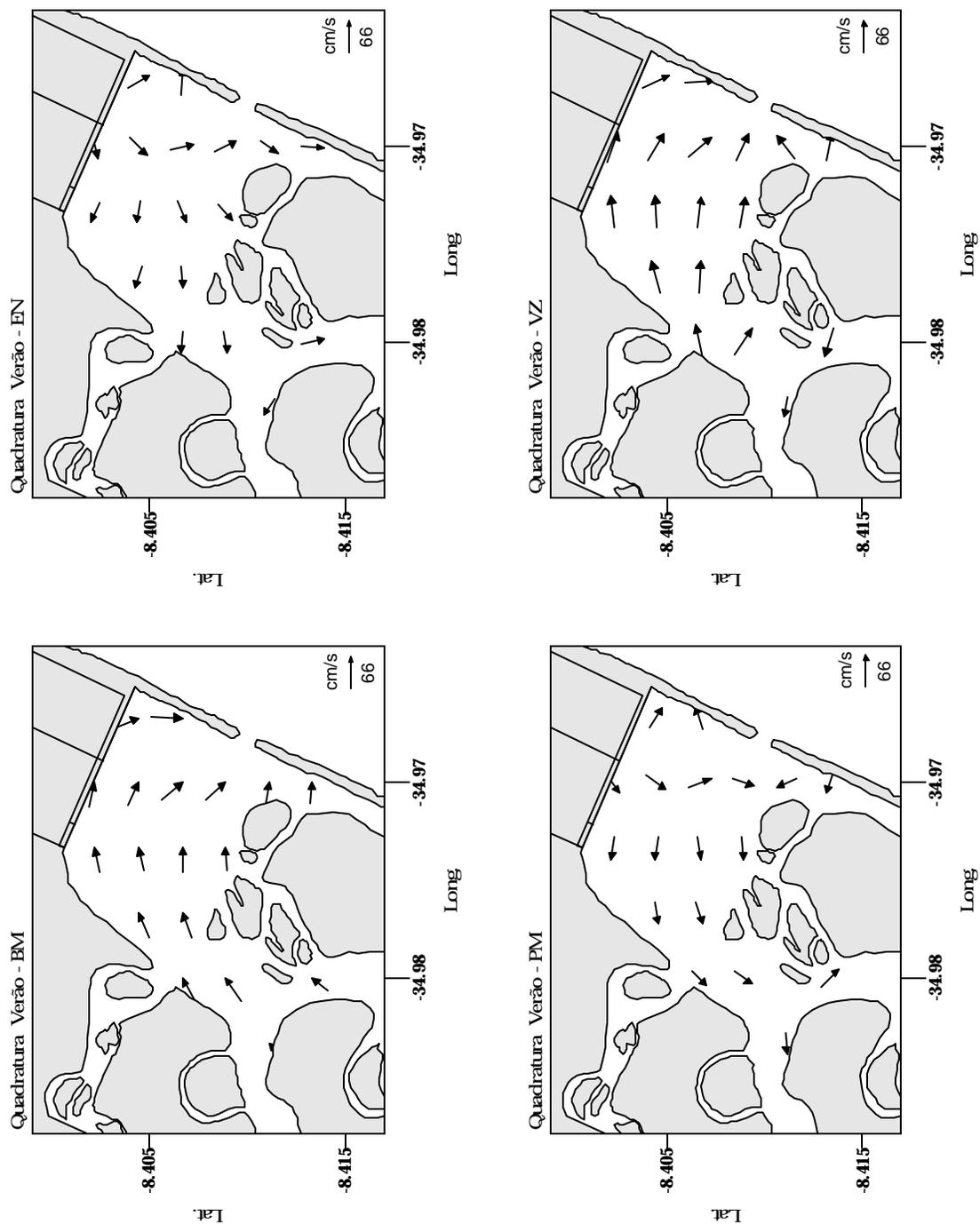


Figura 31. Direção e intensidade de correntes para os estágios de baixamar (BM), enchente (EN), preamar (PM) e vazante (VZ), durante uma quadratura no verão.

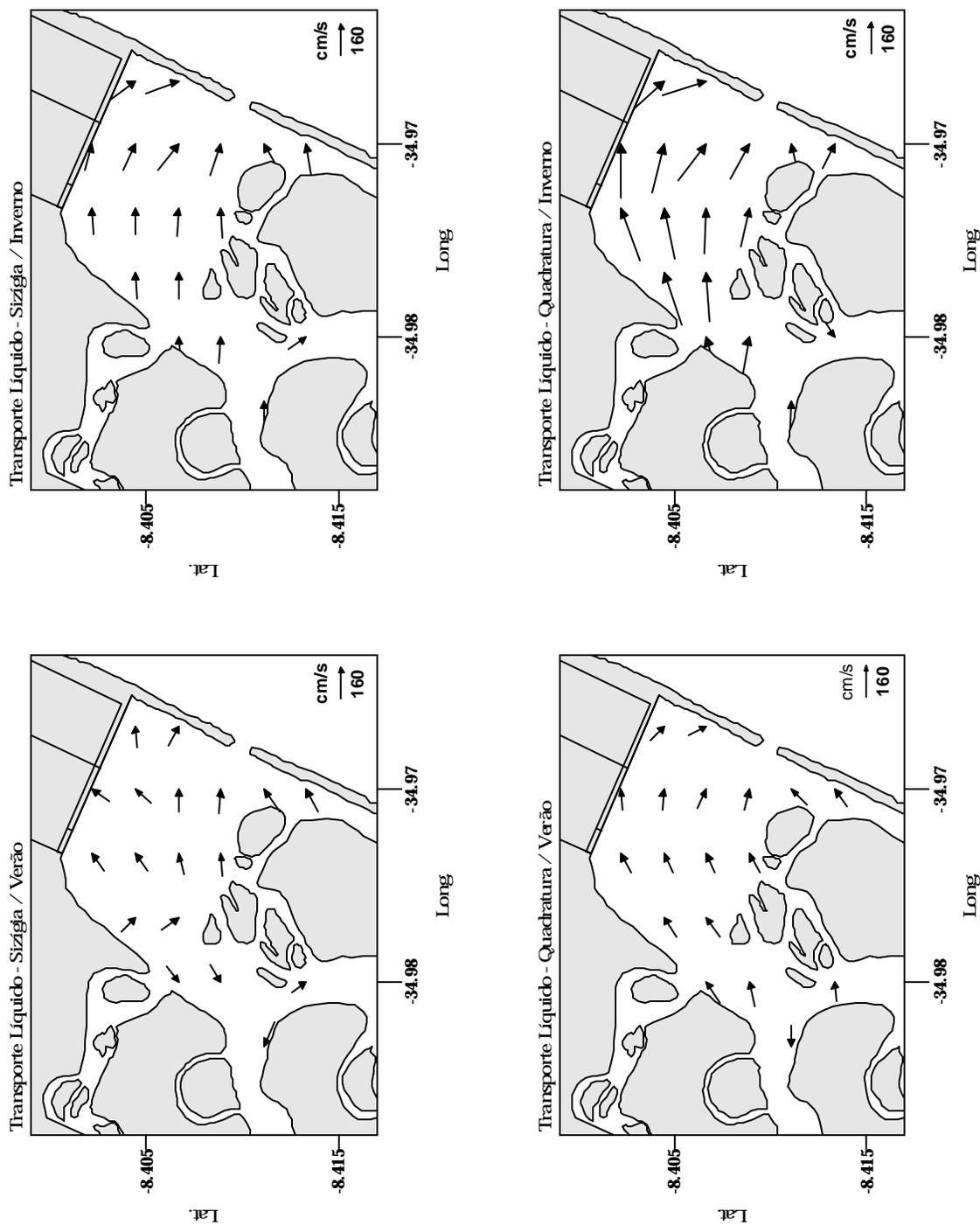


Figura 32. Transporte líquido para marés de sizígia e quadratura no inverno e no verão.

O baixo estuário do rio Ipojuca é um sistema lagunar bem misturado, sendo classificado como estuário tipo 1, segundo a classificação de Hansen e Rattray (1966) (Fig. 33). A ausência de estratificação vertical também foi evidenciada por Medeiros (1998).

O diagrama de classificação de Hansen & Rattray é baseado no cálculo de dois parâmetros, um que representa o nível de estratificação e outro de circulação. Como indicador de estratificação vertical, foi calculado o parâmetro não dimensional de estratificação $\Delta S/S_0$, onde ΔS é a diferença entre a salinidade líquida no fundo e a salinidade líquida na superfície, dividida pela salinidade média da coluna d'água $\langle S \rangle$. Como indicador da circulação, calculou-se o parâmetro de circulação U_s/U_f , com U_s correspondendo à velocidade líquida na superfície, e U_f correspondendo à velocidade de descarga de água doce.

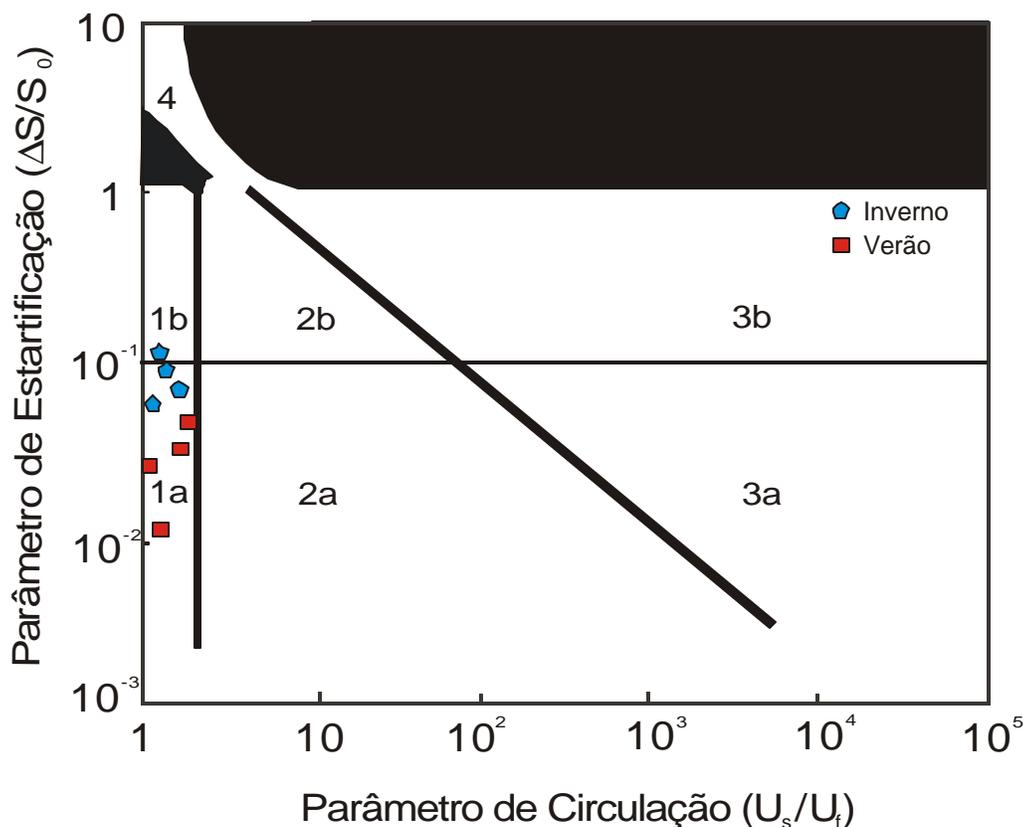


Figura 33. Classificação do estuário do Ipojuca de acordo com o diagrama de Hansen e Rattray (1966).

Durante o inverno, período de maior descarga dos rios Ipojuca e Merepe, o parâmetro de circulação apresentou um valor médio de 1.2, indicando a ausência de circulação gravitacional. Para as duas marés de sizígia analisadas, os valores do parâmetro de estratificação (DS/S_0) foram, em geral, menores que 0.1, classificando o sistema como sub-tipo 1a.

Sistemas lagunares costeiros, que segundo Barnes (1980) representam 13% dos ambientes costeiros mundiais, tropicais e rasos como a maioria dos estuários brasileiros, particularmente no Nordeste, favorecem os processos de mistura, realizada em grande parte pela advecção de maré como evidenciado, por exemplo, por Oliveira e Kjerfve (1993), que estudando o sistema lagunar costeiro de Mundaú-Manguaba, determinaram a ausência de circulação gravitacional, indicando ser aquele sistema bem misturado e dominado pelo movimento advectivo da maré.

Nas marés de quadratura no inverno, o parâmetro estratificação foi um pouco maior, chegando a atingir 0.4, mostrando uma tendência para o sub-tipo 1b. Durante as coletas realizadas nas duas marés de quadratura, ocorreram chuvas intensas, quando foi observada uma pequena diferença entre os valores de salinidade entre a superfície e o fundo, com águas menos salinas à superfície. Todavia, é uma situação momentânea, sendo restabelecida a mistura durante o ciclo de maré.

Medeiros e Kjerfve (1993) descrevendo o sistema estuarino de Itamaracá, indicam uma condição parcialmente misturada com presença de circulação gravitacional durante o período chuvoso e parâmetro de estratificação maior que 0.1, estando, contudo, a maioria dos valores abaixo desse patamar, notadamente no período seco, sendo todo o sistema bem misturado .

Por outro lado, em sistemas ou canais mais profundos podem apresentar estratificação, como mostra o trabalho de Miranda e Kjerfve (1993) no Canal de Bertiooga – SP, classificando aquele sistema estuarino como o parcialmente misturado ou tipo 2 (a e b), ou Pereira filho *et al* (2001) definindo o estuário do rio Camboriú como

parcialmente misturado, tipo 2b segundo o sistema de classificação de Hansen e Rattray (1966).

Para o verão, período de estiagem, o parâmetro de circulação apresentou um valor médio de 1.4, indicando também a ausência de circulação gravitacional. Nas duas marés de sizígia e nas duas de quadratura analisadas, os valores do parâmetro de estratificação (DS/S_0) foram semelhantes aos encontrados durante o inverno, com valores menores que 0.1, e o sistema sendo também classificado como estuário sub-tipo 1a.

Estudo realizado no rio Ipojuca-PE, no trecho a montante de sua confluência com o rio Merepe (Araújo *et al*, 1999), focalizando os processos que controlam a dinâmica daquele sistema, quando foram quantificadas e comparadas as forças que induzem mistura (forçante de maré no fundo, vento na superfície e evaporação) com aquelas que produzem estratificação (aquecimento superficial, precipitação e advecção diferencial, resultante de uma estrutura vertical de velocidade) indicaram igualmente ser aquele, um sistema bem misturado, onde a energia disponível para misturar a coluna d'água era 2,2 vezes maior que aquela agindo para estratificá-la e que a principal fonte de energia para misturar o sistema era o atrito turbulento de fundo pelas marés.

5.4 - Batimetria

Um mapa das isóbatas para a área do baixo estuário do rio Ipojuca foi construído com base nas sondagens das 11 transsesões batimétricas realizadas (Figura 34). A área mostra-se bastante rasa, com uma profundidade média de 1m.

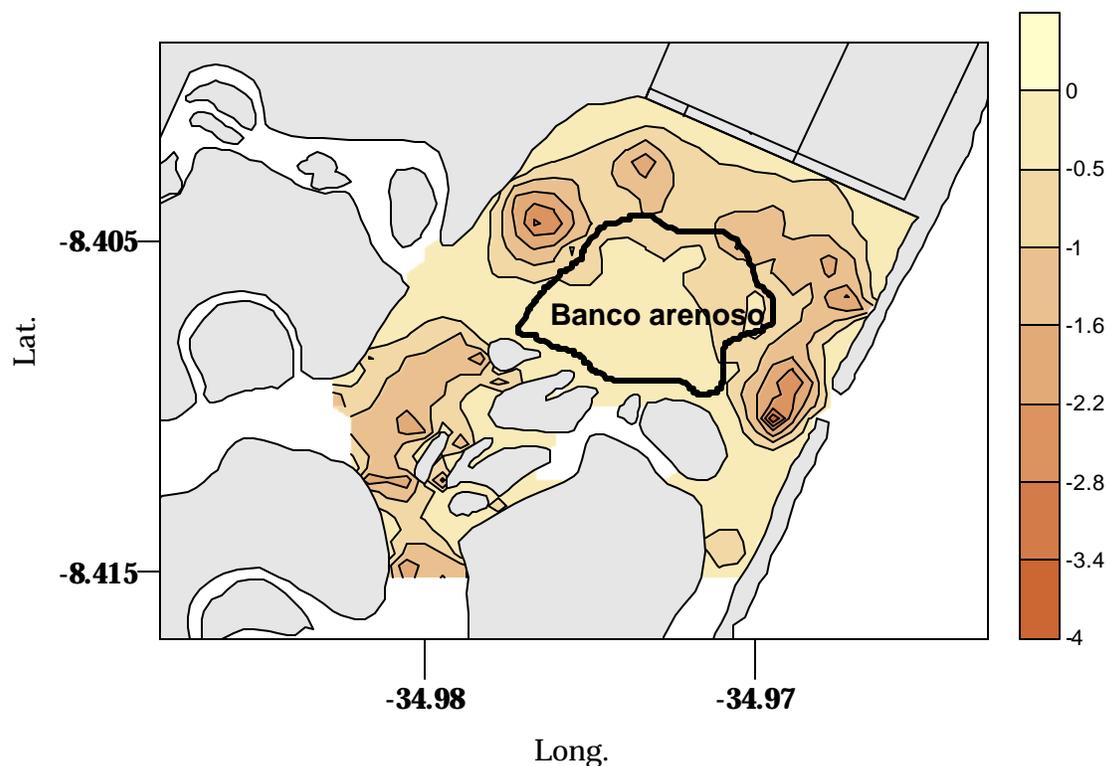


Figura 34. Curvas batimétricas no baixo estuário do rio Ipojuca.

A pouca profundidade se deve principalmente ao acúmulo de sedimentos na área, devido à comunicação reduzida com o mar aberto. A maior profundidade medida foi de 4m associada à Barra Nova, por onde se dá a comunicação do estuário com o mar e onde as correntes são mais intensas.

A área central do estuário apresenta um extenso banco arenoso, que fica exposto durante a baixa-mar. O fluxo principal do estuário se dá via um canal pouco profundo que margeia o banco arenoso pelo lado norte, se estendendo da confluência dos rios Ipojuca e Merepe até a Barra Nova (Fig. 35).



Fonte: CIPS

Figura 35. Vista aérea do estuário do Ipojuca com identificação do canal principal e banco arenoso..

Profundas alterações nas características dos sedimentos do baixo estuário foram evidenciadas por Neumann *et al* (1996). Segundo esses autores um dos maiores impactos da abertura do vão na linha de arrecifes foi às alterações produzidas na distribuição dos sedimentos estuarinos: antes da obra a distribuição dos sedimentos era predominantemente de origem fluvial, com o domínio do fluxo e refluxo das marés, sendo pequena a contribuição de sedimentos marinhos no sistema.

Após o isolamento do mesmo, e a abertura da passagem nos arrecifes, que não atinge o fundo, a sedimentação passou a ser dominada por fácies flúvio-marinhos. A circulação estuarina ficou mais reduzida com o sistema tendendo para uma laguna.

5.5 – Marés

Visando investigar o comportamento das marés dentro do estuário do Ipojuca, registros do nível das águas no sistema foram comparados aos registros das previsões das marés (DHN, 2000; 2001) para o Porto de Suape. Valores de altura e diferenças

de fase relativa ao Porto de Suape são apresentados na Tabela 2 e os gráficos comparativos das variações de níveis na Figura 36.

Tabela 2. Altura (m) e fase (min) relativa ao instante de preamar (PM) e baixa-mar (BM) no Porto de Suape nas estações 2 e 6 do Ipojuca.

Estação	Sizígia Inverno		Quadratura Inverno		Sizígia Inverno		Sizígia Verão		Quadratura Verão	
	Ipojuca	P. Suape	Ipojuca	P. Suape	Ipojuca	P. Suape	Ipojuca	P. Suape	Ipojuca	P. Suape
	2		2		6		2		6	
Altura	1.00	2.40	0.46	1.30	0.61	1.94	1.16	2.30	0.55	1.10
BM	+175	-	0	-	+160	-	+158	-	0	-
PM	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-

As marés no estuário do rio Ipojuca são semidiurnas e apresentam uma variação de nível entre baixa-mar e preamar bem mais reduzida que as marés no Porto de Suape. Durante as sizígias amostradas, a altura das marés no Porto de Suape foi de 2,3 m e 2,4 m, enquanto que no Ipojuca foi de 1,00 m a 1,16 m à estação 2 e de 0,61 m à estação 6, quando a altura no Porto de Suape foi de 1,94 m (Tab. 2).

As preamares, tanto de sizígia quanto de quadratura, para o período chuvoso e de estiagem, estão em fase com as marés do Porto de Suape (Tab. 2, Fig. 36). As baixa-mares no Ipojuca ocorrem de 158 a 175 minutos após a ocorrência da baixa-mar no Porto de Suape durante as sizígias, não apresentando diferença de fase durante as quadraturas.

As marés na costa resultam da propagação das marés oceânicas. A forma da linha de costa, presença de baías, estuários, ilhas, etc., modificam bastante o sinal das marés, influenciando sua altura e características, podendo resultar tanto na ampliação do sinal das marés por ressonância e reflexão, como na sua redução, pela dissipação da energia pelo atrito de borda e de fundo. As baixas profundidades no Ipojuca e a reduzida comunicação do estuário com o mar são os principais fatores que reduzem a energia das marés e modificam a simetria de sua curva no Ipojuca.

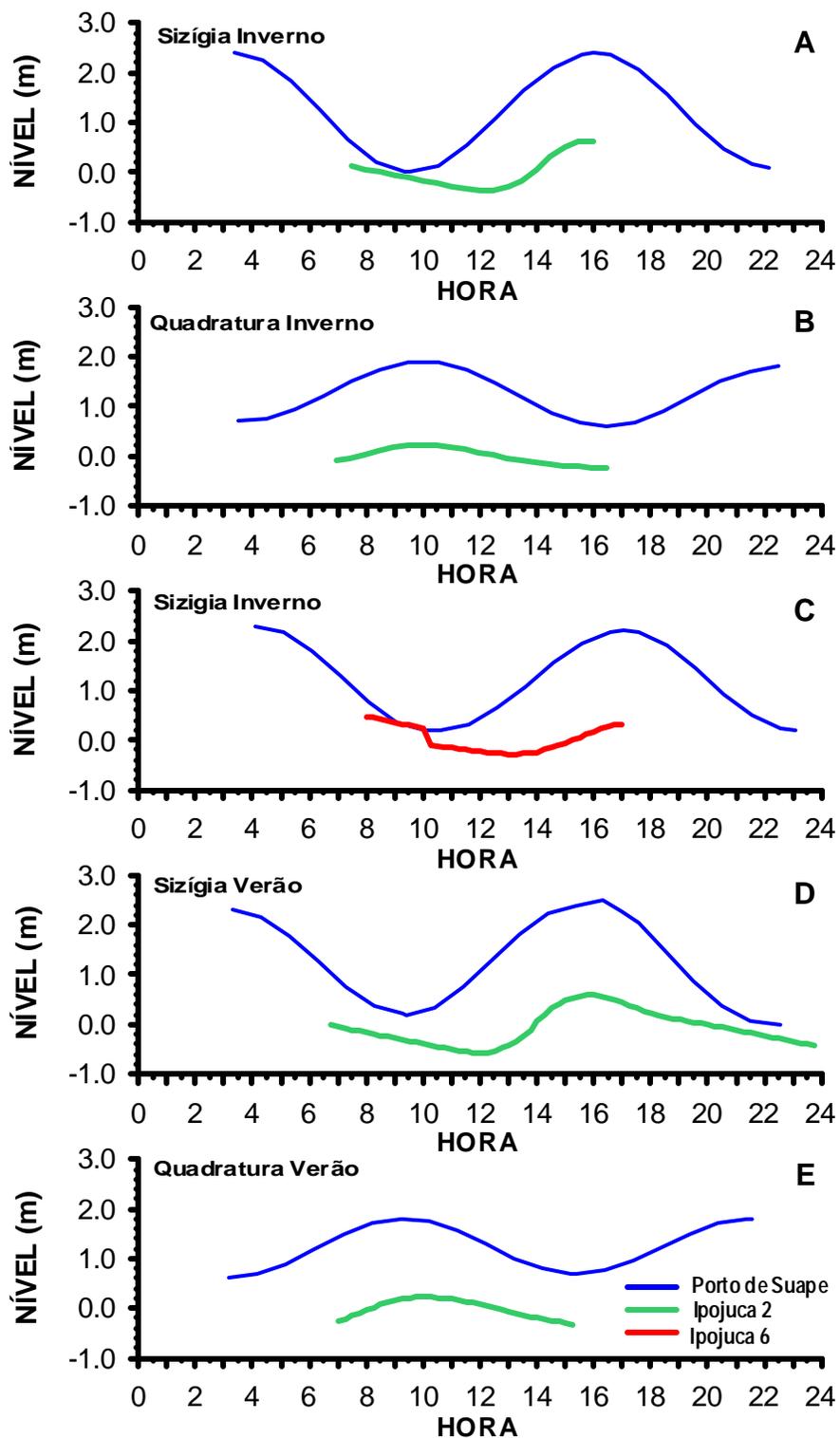


Figura 36. Mares no Porto de Suape e no estuário do Ipojuca.

7 – CONCLUSÕES

- A área apresenta características climáticas típicas de regiões tropicais costeiras;
- O baixo estuário do rio Ipojuca é um sistema bem misturado, do tipo 1 segundo o sistema de classificação de Hansen e Rattray (1966);
- O estuário do Ipojuca é um sistema bastante raso, cujo modo de circulação dominante é o do bombeamento pelas marés, resultando em um transporte líquido de descarga tanto no período chuvoso quanto de estiagem;
- Os campos de temperatura, salinidade e da capacidade de retroespalhamento ótico no estuário do rio Ipojuca flutuam sazonalmente em resposta à flutuações nos aportes de água doce para o sistema e à amplitude da maré;
- O campo de temperatura no estuário do Ipojuca é relativamente homogêneo ao longo do sistema e estável ao longo do ciclo de marés, com temperaturas elevadas devido a lâmina d'água reduzida;
- O campo de salinidade no estuário do rio Ipojuca apresenta flutuações predominantemente semi-diurnas, sendo a advecção da maré o principal mecanismo de transporte longitudinal de sal;
- A capacidade de retroespalhamento ótico é relativamente baixa (inferior a 100 unidades) indicando que a concentração de partículas na coluna d'água é reduzida com maiores concentrações relacionadas aos períodos de maior descarga fluvial;
- As marés no Ipojuca são semi-diurnas, mas apresentam-se bastante modificadas relativas ao sinal do Porto de Suape, devido ao efeito do represamento das águas no estuário, com um atraso em fase de 158-175 minutos na baixa-mar e uma redução de amplitude média de 60-80 cm.

8 - REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALHEIROS, M. M. (1987). **Caracterização sedimentológica da Formação Cabo – Pernambuco**. Recife, 100 p. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, Centro de tecnologia, Universidade Federal de Pernambuco. 1 mapa anexo.
- AMARAL, A. J. R. & MENOR, E. A. A. (1979). Seqüência vulcano-sedimentar Cretácea da região de Suape (PE): interpretação fasciológica e considerações metalogenéticas. SIMPÓSIO GEOLOGIA DO NORDESTE, 9, Natal, 1979. **Anais do**, 7:251-269.
- ARAÚJO, M. (1998). Hidrodinâmica de sistemas estuarinos: caracterização experimental, modelagem matemática e simulação numérica. Aplicação ao sistema Jaboatão, Pernambuco. **Relatório Técnico** APQ 400155/97-4. Recife, CNPq. 89p.
- ARAÚJO, M. *Et al.* (1999). **Energy balance and time-scales of mixing and stratification in the Jaboatão estuary, NE – Brazil**. Revista Brasileira de Oceanografia, nº 47(2). p.145-154.
- ARAÚJO, M. C. (1999). Serviços de oceanografia física para o sistema estuarino do Ipojuca – PE. **Relatório Técnico**. Recife, 1999. 23 p.
- ARX, W. S. **An introduction to physical oceanography**. Addison-Wesley Publishing Company. London, 1967. 3ª Ed. 422 p.
- BARBALHO, E. R. (1974). **Suape**, idéia de um porto industrial para o Nordeste e para a Amazônia. Recife: Secretaria de Coordenação Geral, 1974. 29 p.
- BARNES, H. (1980). **Coastal Lagoons**. Cambridge University Press, Cambridge. 106 p.
- BARROS-FRANCA, L. (1991). Distribuição e abundância relativa do fitoplâncton no complexo estuarino-lagunar de Suape. In: **ENCONTRO BRASILEIRO DE PLÂNCTON, 4**, Recife, 1990. Anais, p. 97-116.
- BOWDEN, K. F. 1962. Estuaries and coastal waters. In: **Proceedings of the Royal Society**, Series A 265. p. 320-325.
- BOWDEN, K. F. 1967. Circulation and Diffusion. In: **Estuaries**. Lauf, G. H. (Ed). American Association for the Advancement, Publication nº 83, Washington, D.C., p. 15-36.
- BRAGA, R. A. P.; MOURA, H. F.; DUARTE, M. T. Impactos ambientais sobre as condições físico-químicas do Complexo estuarino de Suape (PE). In: UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO. Departamento de Biologia. Laboratório de Ecologia. **Projeto Avaliação de Impactos Ambientais em Zonas Estuarinas de Pernambuco**. Recife, 1989. f. 32-42. Relatório n. 1: Avaliação de impactos ambientais na zona estuarina de Suape.

- CAVALCANTI, L.B.; COELHO, P. A.; ESKINAZI-FLEÇA, E.; LUNA, J. A. C.; MACÊDO, S. J.; PARANAGUÁ, M. N. (1980). Condiciones ecológicas em el área de Suape (Pernambuco-Brasil). In: **SEMINÁRIO SOBRE EL ESTUDIO CIENTIFICO E IMPACTO HUMANO EM EL ECOSISTEMA DE MANGLARES**, Cali, 1978. Memórias Del....., Montevideo, UNESCO, Oficina Regional de Ciência y Tecnología para a América Latina y el Caribe. P. 243-256.
- CIRM. (1981). Comissão Internacional para os Recursos do Mar. III Plano Básico de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. I Plano Setorial para os Recursos do Mar (1982-1985). Brasília. 105 p.
- COBRA, R. Q. (1967). **Geologia da região do Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco**. DNPM/Div. Fomento Produção Mineral, Rio de Janeiro. 48 p. (DNPM/DFPM, Boletim, 142).
- COELHO, P. A. (1967/1969). Novas ocorrências de crustáceos decápodos em Pernambuco e Estados vizinhos. **Trab. Oceanogr. Univ. Fed. PE., 9/11**: 239-247.
- COELHO, P. A.; KOENING, M. L.; RAMOS, M. A. (1970). A macrofauna bêntica dos estuários de Pernambuco e da Paraíba. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE ZOOLOGIA, 4, Caracas, 1968. **Actas do....**, V. 2, p. 497-528.
- COMPANHIA PERNAMBUCANA DE CONTROLE DA POLUIÇÃO E DE ADMINISTRAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS (CPRH). **Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca**: monitoramento da qualidade das águas. Recife, 1993. não paginado. Relatório.
- COMPANHIA PERNAMBUCANA DE CONTROLE DA POLUIÇÃO E DE ADMINISTRAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS (CPRH). **Relatório das indústrias e carga potencial, remanescentes e equivalente da bacia do Rio Ipojuca**. Recife, 1995. não paginado. Relatório.
- CONDEPE. (1983). **Caracterização do complexo estuarino-lagunar da área de Suape (Pernambuco-Brasil) – Síntese Ecológica**. Recife, V. 1.
- COSTA, W. D.; COUTINHO, P. N.; REBOUÇAS, A. C. (1968). **Estudo geológico e hidrogeológico de toda área metropolitana do Recife, incluindo os municípios de Cabo e Jaboatão (ao Sul)**. Recife, S. ed.
- COSTA, W. D. & COSTA W. D. (1977). **Estudos geológicos – geotecnológicos da área portuária**. Relatório final. SEPLAN, Recife.
- DEFANT, A. **Physical Oceanography**. Pergamom Press, London, 1961. Vol.3. 598 p.
- DIEGUES, A. C. (1991). Populações humanas e ecossistemas da costa brasileira. Programa de Pesquisa e Conservação de Áreas Úmidas, Série: **Trabalhos e Estudos**. São Paulo, 126 p.

- DYER, K. R. 1973. **Estuaries**: a Physical Introduction. John Wiley and Sons, Inc., New York, NY. 140 p.
- DYER, K. R. 1977. Lateral circulation effects in estuaries. In: **Estuaries, Geophysics, and the environment**. Studies in Geophysics. National Academy of Science, Washington, D.C.
- DRONKERS, J. S. **Tidal computations**. North-Holland Publishing Company. Amsterdam, 1964. 518 p.
- DUXBURY, A. C. & DUXBURY, A. B. **Fundamentals of oceanography**. WCB publishers. London, 1996. 2ª Ed. 150 p.
- ESKINAZI-LEÇA, E & KOENING, M. L. (1979). Estudo ecológico das Diatomáceas (Bacillaryophyta) na área de Suape – Pernambuco – Brasil. **Ciênc. Cult**, **31(7)**:417-418.
- ESKINAZI-LEÇA, E & KOENING, M. L. (1985/1986). Distribuição das Diatomáceas (Bacillaryophyta) na área de Suape – Pernambuco – Brasil. **Trab. Oceanog. Univ. Fed. PE.**, **19**: 73-95.
- FERNANDES, M. L. B. (1990). Moluscos gastropoda do complexo estuarino-lagunar de Suape, PE (Sistemática e Ecologia). Recife, 182 p. **Dissertação de Mestrado**, Departamento de Oceanografia, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Pernambuco.
- FERNANDES, M. L. B. (1992). Condições ecológicas da família Columbellidae (Molusca: Gastropoda) no complexo estuarino de Suape – PE. In: **ENCONTRO DE ZOOLOGIA DO NORDESTE 9**, Recife. Resumos. P. 63.
- FISCHER, H. B.; LIST, E. J.; KOH, R. C. I.; IMBERG, J & BROOKS, N. H. **Mixing in inland and coastal waters**. Academic Press Inc, New York, NY. 1979. 482 p.
- GIBBS, R. J. 1970. Circulation in the Amazon River estuary and adjacent Atlantic Ocean. **Journal of Marine Research**, nº 28. p.113-123.
- HANSEN, D. V. & Rattray Jr, M. 1966. New Dimensions in Estuary Classification. **Limnology and Oceanography**, 11(3). p. 319-326.
- HOUAGANE, A. M.; HILL, A. E.; SIMPSON, J. H. & BOWERS, D. G. Diurnal and tidal variation of temperature and salinity in the Ponta Rasa mangrove swamp, Mozambique. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 49. p. 251-264. 1999.
- JC - Jornal do Comércio. 2000. “ 600 Famílias Desabrigadas”. Edição de 09 de junho de 2000. Caderno Cidades.
- KENNET, J. P. 1982. **Marine Geology**. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ. 813 p.
- KETCHUM, B. H. 1983. Estuarine Characteristics. In: **Ecosystems of the World – Estuaries and Enclosed Seas**. Elsevier Scientific Publishing Co., New York, NY. Vol. 26. p. 1-14.

- KJERFVE, B. 1989. Estuarine characteristics, circulation and physical processes. In: **Estuarine Ecology**. J. W. Day Jr. *Et al.* John Wiley and Sons Inc., New York, NY. p. 47-78
- KOENING, M. L. & ESKINAZI-LEÇA, E. (1991). Aspectos quantitativos do fitoplâncton na área estuarina de Suape (Pernambuco). In: **ENCONTRO BRASILEIRO DE PLÂNCTON**, 4, Recife, 1990. Anais, p. 55-60.
- KOENING, M. L. (1997). Ecologia e dinâmica do fitoplâncton no estuário do Rio Ipojuca, após a implantação do porto de Suape (PE-Brasil). Recife, 1997. **Tese (Doutorado em Botânica)** – Departamento de Biologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1997.
- LAURINDO, A. M. O. (1983). Estudo fasciológico dos carbonatos da Formação Cabo – Pernambuco. Recife, 91 p. **Dissertação de Mestrado**, Departamento de Geologia, Centro de tecnologia, Universidade Federal de Pernambuco.
- LEWIS, R. E. 1981. Estuary Mixing. In: **The Chemical Engineer**, Aug – Sep. p.381-383.
- LEWIS, R. E. & LEWIS, J. O. 1983. The principal factors contributing to the flux of salt in a narrow, partially stratified estuary. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 16. p. 599-626.
- LIMA, D. A. **O projeto Suape e a Vegetação**. Recife, Inst. Desenv. Pernambuco. 18 p. (Comunicação Técnica, 2).
- LIMA, D. A. & COSTA, J. T. M. (1978) **Flora e vegetação terrestres da área do Programa de Suape**. Recife, Inst. Desenv. Pernambuco. 24 p. (Comunicação Técnica, 5).
- LUNA, M. C. M. Dissipação interna e viscosidade turbulenta na região costeira do Porto de Suape, Pernambuco – Brasil. Recife, 93 p. **Dissertação de Mestrado**, Departamento de Oceanografia – UFPE. 2001.
- MABESOONE, J. M. & SILVA, J. C. (1989). Geomorfologia da faixa sedimentar costeira Pernambuco-Paraíba. SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8, Fortaleza, 1989. **Atlas 11:5-8**.
- MACEDO, S. J. (1998). Levantamento de dados ambientais na área de abrangência do Complexo Industrial Portuário de Suape. UFPE. **Relatório Técnico**. Recife, Vol.1. 1998. 215p.
- MACIEL, E. A. (1968). **Contribuição à geologia geral de Ipojuca (PE)**. Recife, 73f. 1 mapa anexo. (Relatório de Graduação) UFPE. C. T. Relatório Final de Geologia de Campo.
- MEDEIROS, C. 1991. Circulation and mixing processes in the Itamaraca estuarine system, Brazil. South Carolina, 1991. **Phd tesis** (University of South Carolina. 1991. 131 p.

- MEDEIROS, C. (1998). Levantamento de dados ambientais na área de abrangência do Complexo Industrial Portuário de Suape. UFPE. **Relatório Técnico**. Recife, Vol.1. 1998. 215p.
- MEDEIROS, C. ; KJERFVE, B. (1993). Hydrology of a tropical estuarine system: Itamaracá, Brasil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 36. p. 495-515.
- MELLO, A. A & SIQUEIRA, L. P. (1972). **Levantamento geológico da faixa costeira Sul de Pernambuco**. Convênio CNEN/UFPE. Relatório final. Recife, 28 p. 1 mapa anexo.
- MELO FILHO, J. A. S. (1977). **Caracterização da situação atual da área do Programa Suape sob o ponto de vista da poluição ambiental**. Recife, CONDEPE, 17 f. (Comunicação Técnica, 1).
- MIRANDA, L. B. 1984. **Cinemática e Dinâmica de Estuários e Regiões Costeiras Adjacentes**. CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Brasília, DF. 361 p.
- MIRANDA, L. B.; DE CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. (1998). Circulation and mixing due to tidal forcing in the Bertioga channel, São Paulo, Brazil. **Estuaries**, 21. p.204-214.
- NEUMANN-LEITÃO, S. (1994). Impactos antrópicos na comunidade zooplanctônica estuarina. Porto de Suape – PE – Brasil. São Carlos, 1994. 273 f. **Tese** (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Departamento de Hidráulica, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 1994.
- NEUMANN-LEITÃO, S. (1986). Sistemática e ecologia dos rotíferos (Rotatoria) planctônicos da área estuarina-lagunar de Suape – Pernambuco (Brasil). Recife, 261 p. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Tecnologia. Departamento de Oceanografia.
- NEUMANN, V. H. M. L. (1991). Geomorfologia e sedimentologia quaternária da área de Suape, Pernambuco (Brasil). Recife, 1991. 95 f. **Dissertação (Mestrado em Geociências)** – Departamento de Geologia, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Pernambuco, 1991.
- NEUMANN, V. H. M. L.; NEUMANN-LEITÃO, S.; QUEIROZ, C. M.; MAIA, L. P. (1996). Estudos sedimentológicos, geomorfológicos e impactos ambientais causados pela implantação do porto na lagoa de Suape. In: XXXIX CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, Salvador, 1996. **Anais do.....**, p. 496-499.
- NEUMANN, V. H. M. L.; QUEIROZ, C. M.; IVO, P. S. (1994). Bottom sediments of the Suape lagoon, Pernambuco – Brazil. In: INTERNATIONAL SEDIMENTOLOGICAL CONGRESS, 14, Recife, 1994. **Anais**.

- NEUMANN, V. H. M. L.; QUEIROZ, C. M.; NEUMANN-LEITÃO, S.; PARENTE, L. ; KOENING, M. L. Hydrodynamism, Sedimentology, Geomorphology and Plankton Changes at Suape Area (Pernambuco – Brazil) after a Port Complex Implantation. In: An Acad. Bras. Ciências, 70 (2), São Paulo, 1998. **Anais**.
- OFFICER, C. B. 1997. Longitudinal circulation e mixing relations in estuaries. In: **Estuaries, Geophysics and the environment**. Studies in Geophysics, National Academy of Science. Washington, D. C.
- OFFICER, C. B. & LYNCH, D. R. 1981. Dynamics of mixing in estuaries. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 12. p. 525-533.
- OLIVEIRA, A. M.; KJERFVE, B. (1993). Environmental responses of a tropical coastal lagoon system to hydrological variability: Mundaú-Manguaba, Brazil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 37. p. 575-591.
- PARANAGUÁ, M. N. & GUSMÃO, L. M. O. (1979). Zooplâncton da área de Suape (Pernambuco-Brasil). **Ciênc. Cult.**, **31(7)**:426.
- PARANAGUÁ, M. N. (1985/1986). Zooplankton of the Suape area (Pernambuco-Brazil). **Trab. Oceanogr. Univ. Fed. PE.**, **19**:113-124.
- PEREIRA-FILHO, J.; SCHETTINI, C. A. F.; RÖRIG, L. & SIEGLE, E. (2001). Intratidal variation and net transport of dissolved inorganic nutrients, POC and chlorophyll a in the Camboriú river estuary, Brazil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 53. p. 249-257.
- PIRES ADVOGADOS & CONSULTORES. 2001 – **EIA / RIMA: Termopernambuco**. Recife – PE. 2001. 247 p.
- POND, S. & PICKARD, G. L. **Introductory dynamical oceanography**. Addison-Wesley Publishing Company. Pergamon Press, New York, 1983. 2ª Ed. 329 p.
- PRITCHARD, D. W. 1952. **Estuarine Hydrography**. Advances in Geophysics, 1: 243-280.
- PRITCHARD, D. W. 1954. A study of the salt balance in a coastal plain estuary. **Journal of Marine Research**, Nº 13. p. 133-144.
- PRITCHARD, D. W. 1955. **Estuarine circulation patterns**. Proceedings American Society of Civil Engineering. Nº 81, p. 717/1- 717/11.
- PRITCHARD, D. W. 1967. What is an estuary: Physical viewpoint. In: **Estuaries**. Lauf, G. H. (Ed). American Association for the Advancement, Publication nº 83, Washington, D.C., p. 3-6.
- RAMOS-PORTO, M. & LIMA, J. T. (1983). Estudos dos crustáceos decápodos da Baía de Suape, Pernambuco. **An Soc. Nord. Zool.**, **1(1)**:54
- RAND, H. M. (1976). **Estudos geofísicos na faixa litorânea ao Sul do Recife**. Tese livre Docência, Universidade Federal de Pernambuco, C. T., Recife. 101 p.

- RESTREPO, J. D. & KJERFVE, B. (2002). The San Juan Delta, Colômbia: tides, circulations and salt dispersion. *Continental Shelf Research*, 22. p. 1249-1267.
- ROY, P. S.; WILLIAMS, R. J.; JONES, A. R.; YASSINI, I.; GIBBS, P. J.; COATES, B.; WEST, R. J.; SCANES, P. R.; HUDSON, J. P. & NICHOL, S. Structure and function of South-east australian estuaries. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 53. p. 599-626.
- SANTOS, M. A. & COSTA, W. D. (1974). Complexo industrial de Suape: estudo hidrogeológico preliminar. SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 6, Maceió, 1974. **Anais do4:49-69.**
- SCHAEFFER-NOVELLI. (1989). Perfil dos ecossistemas litorâneos brasileiros, com ênfase sobre o ecossistema manguezal. **Instituto Oceanográfico**, São Paulo, V.7, n.15. p.1-16. Setembro, 1989.
- SIMPSON, J. H. *Et al.* 1990. Tidal straining, density currents, and stirring in the control of estuarine stratification. **Estuaries**, Vol. 13, nº 2. p.125-132. June,1990.
- UNCLES, R. J. *Et al.* 1985. Observed fluxes of water, salt and suspended sediment in a partly mixed estuary. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 20. p.147-167.
- VASCONCELOS FILHO, A. L.; GUEDES, D. S.; SOBRINHO, D. G. (1990). Taxonomia e ecologia da fauna ictiológica da área de Suape (Pernambuco-Brasil). **Trab. Oceanogr. Univ. Fed. PE**, 21: 305-343.
- VASCONCELOS FILHO, A. L. & SOBRINHO, D. G. (1991). Fauna ictiológica da baía de Suape (Pernambuco-Brasil). In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOLOGIA**, 18, Salvador – BA. Resumos. P. 266.

Na Internet

www.suape.com.br