



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR - LABOMAR, UFC
CURSO DE OCEANOGRAFIA

JOSÉ CAVALCANTE DE OLIVEIRA FILHO

ASPECTOS HIDRODINÂMICOS DE UM ESTUÁRIO RASO – ESTUDO DE CASO
DO ESTUÁRIO BARRA DAS JANGADAS, RECIFE, PE, BRASIL.

FORTALEZA

2012

JOSÉ CAVALCANTE DE OLIVEIRA FILHO

ASPECTOS HIDRODINÂMICOS DE UM ESTUÁRIO RASO – ESTUDO DE CASO
DO ESTUÁRIO BARRA DAS JANGADAS, RECIFE, PE, BRASIL.

Monografia apresentada ao Curso de graduação em Oceanografia do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Augusto França Schettini.

FORTALEZA

2012

JOSE CAVALE

JOSÉ CAVALCANTE DE OLIVEIRA FILHO

ASPECTOS HIDRODINÂMICOS D.

ASPECTOS HIDRODINÂMICOS DE UM ESTUÁRIO RASO – ESTUDO DE CASO
DO ESTUÁRIO BARRA DAS JANGADAS, RECIFE, PE, BRASIL.

Monografia apresentada ao
Curso de graduação em
Oceanografia do Instituto de
Ciências do Mar da
Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial
para obtenção do título de
Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Carlos
Augusto França Schettini.

FORTALEZA

2012

JOSÉ CAVALCANTE DE OLIVEIRA FILHO

ASPECTOS HIDRODINÂMICOS DE UM ESTUÁRIO RASO – ESTUDO DE CASO
DO ESTUÁRIO BARRA DAS JANGADAS, RECIFE, PE, BRASIL.

Monografia apresentada ao
Curso de graduação em
Oceanografia do Instituto de
Ciências do Mar da
Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial
para obtenção do título de
Bacharel em Oceanografia.
Orientador: Prof. Dr. Carlos
Augusto França Schettini.

Aprovada em __/__/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Carlos Augusto França Schettini (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Prof. Dr. Carlos Eduardo Peres
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profª. Drª. Maria Ozilea Bezerra Menezes
Universidade Federal do Ceará (UFC)

DÉCIMEN

Dr.

Schettlin

se dar

ente

ente

ente

ente

Aos meus pais, José e Elizabete.
Às minhas irmãs, Érica, Elaine e Emeline.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Carlos Augusto França Schettini (Guto) por toda sabedoria e conhecimento passados e, claro, pela paciência.

Aos meus colegas de curso Andréa "Presidente", Andréa da Consolação, Bruno Catunda "Cacão", Bruno Moreira "Sem Vergoinho", Cecília Perdigão "Pitilha", Clarissa Dantas, Italo Gois, Jailton Nogueira "Jota", Lucas Antunes, Liana Pacheco, Pedro Paulo "PP", Pedry Frederico e Rodolfo Teixeira, por toda a maravilhosa convivência durante esses anos, sem dúvida, vocês foram os que me ensinaram mais.

À Rayza, pelo apoio e companheirismo.

Aos professores participantes da banca Maria Ozilea Bezerra Menezes e Carlos Eduardo Peres Teixeira pelos ensinamentos e oportunidades.

À professora Sandra Tédde Santaella pela sabedoria e serenidade transmitida.

RESUMO

Resumo

Resumo

Resumo

Resumo

"The most beautiful thing we can experience is the mysterious. It is the source of all true art and science." (Albert Einstein)

RESUMO

Este trabalho avalia o regime hidrodinâmico de um estuário raso, mais especificamente, o estuário Barra das Jangadas, Recife-Pe, Brasil. Os dados foram adquiridos através de um CTD (*Conductivity/Temperature/depth*) e dois ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*). As variações de salinidade, temperatura e densidade foram encontradas, juntamente com o perfil teórico de velocidade proposto por Hansen e Rattray (1965). De maneira geral, os dados mostraram que o ambiente se comporta como um estuário formado por barra, sendo dominado por processos de mistura provenientes da intrusão da corrente de maré. Foi observada uma maior magnitude na corrente de vazante superficial do estuário, mostrando uma leve assimetria nos períodos de enchente e vazante. O fluxo residual em toda a coluna d'água foi totalmente à jusante, sendo dominado pela descarga fluvial. Segundo a classificação de Hansen e Rattray (1966), o ambiente foi caracterizado como sendo do tipo 1b e 2b durante a maré vazante e enchente, respectivamente, ou seja, parcialmente estratificado ou verticalmente estratificado com o fluxo de sal ocorrendo principalmente por processos difusivos. Além disso, foram identificadas zonas de instabilidade, através do parâmetro de *Richardson*, da coluna de água durante a preamar e baixamar, mostrando que as influências de arrasto de fundo, cisalhamento vertical e cisalhamento do vento na superfície livre são importantes para a dinâmica e para o transporte de sal neste estuário.

Palavras-chave: Regime Hidrodinâmico. Barra das Jangadas. Estuário raso. Classificação Estuarina.

ABSTRACT

This work is a characterization of the hydrodynamic regime of a shallow estuary, more specifically, the estuary *Barra das Jangadas, Recife, PE, Brasil*. Data were acquired using a CTD (Conductivity / Temperature / depth) and two ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler). The range in salinity, temperature and density were found, together with the theoretical profile of speed proposed by Hansen and Rattray (1965). Overall, the data showed that the environment is like an estuary formed by the bar, being dominated by mixing processes from the intrusion of tidal current. There was a greater magnitude in the current low water surface of the estuary, showing an asymmetry in the periods of ebb and flow. The residual flow throughout the water column was entirely downstream, being dominated by river discharge. According to the classification and Rattray Hansen (1966), the environment is characterized as being of type 1b and 2b during ebb tide and flooding, respectively, i.e. partially or vertically stratified with salt flux occurring mainly diffusive processes. Furthermore, zones of instability were identified, by the Richardson Estuarine Number (Ri), on the water column during high tide and low tide showing the influences of trawl, shear and wind shear at the free surface is important for the dynamic and transport of salt in estuary.

Keywords: Hydrodynamics Regime. Shallow Estuary. *Barra das Jangadas*. Estuarine classification.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa da área de estudo com identificação da zona de coleta de dados.....	7
Figura 2 - Variação vertical da Velocidade.....	12
Figura 3 - Variação da salinidade ao longo do ciclo de maré.....	13
Figura 4 - Variação da densidade durante um ciclo de maré.....	14
Figura 5 - Variação da temperatura durante um ciclo de maré.....	15
Figura 6 - Variação da Vazão ao longo de um ciclo de maré.....	16
Figura 7 - Perfis verticais de velocidade - teórico e observado.....	19
Figura 8 - Estabilidade da coluna de água durante o ciclo de maré.....	21
Figura 9 - Diagrama de classificação baseado nos parâmetros de circulação e estratificação.....	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo dos Resultados obtidos pelo CTD e pelo ADCP fixo.....	11
Tabela 2 - Resumo dos Resultados de vazão obtidos pelo ADCP móvel.	11
Tabela 3 - Prisma de Maré	17

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Classificação dos Estuários	2
2 OBJETIVO GERAL	5
2.1 Objetivos Específicos	5
3 ÁREA DE ESTUDO	6
4 MATERIAL E MÉTODOS	8
4.1 Tratamento dos Dados.....	9
4.1.1 <i>Redução dos Dados</i>	9
4.1.2 <i>Preparação dos Dados para Análise</i>	10
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
5.1 Perfil Teórico de Velocidade	17
5.2 Estabilidade da Coluna D'água	19
5.3 Classificação do Estuário Barra Das Jangadas	22
6 CONCLUSÕES	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

1 INTRODUÇÃO

Estuários são corpos de águas restritos onde ocorre a diluição mensurável da água marinha pela água doce proveniente da drenagem continental, tendo uma livre conexão com o mar aberto (CAMERON & PRITCHARD, 1963). Como a definição anterior abrange somente a região de influência da água do mar ou zona de mistura, Dionne (1963) sugeriu outra definição de estuário, setorizando o mesmo em três partes: estuário é uma reentrância do mar, que atinge o vale de um rio até o limite da maré, sendo geralmente subdividido em três setores: I) estuário inferior ou marinho, com ligação livre com o oceano aberto; II) estuário médio, sujeito à intensa mistura da água do mar com a água fluvial; III) um estuário superior ou fluvial, caracterizado por água doce, mas sujeito à influência diária da maré.

Além das duas definições citadas acima, Dalrymple *et al.* (1992), consideraram aspectos relacionados à sedimentação para redefinir um estuário:

Estuário é a parte voltada para o mar de um sistema de vales inundados os quais recebem sedimentos de fontes fluviais e marinhas, contendo fácies influenciadas pela maré, onda e processos fluviais. Considera-se que o estuário se estende desde o limite interno das fácies de maré, até o limite oceânico das fácies costeiras na entrada.

As formas e extensões de um estuário são constantemente alteradas pela erosão e deposição de sedimento, e mudanças significativas são causadas pelos movimentos ascendente e descendente das marés nos estuários. Embora os estuários possam parecer uma simples conexão entre o continente e o oceano, esses corpos têm grande importância para o desenvolvimento mundial. Essas feições costeiras são de alta importância socioeconômica com 22 das 32 maiores cidades do mundo se desenvolvendo a partir das suas adjacências. Nos estuários, existem fluxos de água fluvial e água salina, logo, é esperado que haja a presença de sedimentos de tanto origem continental como de origem marinha. Além disso, estes corpos funcionam como fonte de alimentos e nutrientes para o desenvolvimento de fauna e flora, respectivamente. (VALLE-LEVINSON, 2010).

O estudo dos ambientes estuarinos foi iniciado há cerca de 120 anos por pesquisadores escandinavos. Entretanto, somente nos últimos 50 anos esses ecossistemas, muito vulneráveis à influência do homem, passaram a ser pesquisados mais intensamente. O conhecimento científico, com o objetivo de compreender como esses complexos sistemas funcionam, é de fundamental importância para o manejo de ecossistemas costeiros. No domínio da Oceanografia Física, o estudo de estuários fundamenta-se em trabalhos experimentais, utilizando os mesmos como um laboratório natural, e na interpretação dos dados com base tanto em conhecimento teórico (semi-empíricos) quanto em modelagens e simulações. (MIRANDA *et al.*, 2002)

Os estuários da região nordeste do Brasil são do tipo de planície costeira e, portanto, o estuário de Barra das Jangadas, Recife, PE, Brasil, se enquadra nesse contexto. Basicamente, é um estuário raso que está bastante sujeito às influências da componente de maré, descarga fluvial, atrito superficial pelo vento e de fundo, bem como ações meteorológicas. Por ter uma relação comprimento/profundidade alta, a escala temporal de mudança de um estuário deste tipo é relativamente curta, podendo estar associada diretamente ao ciclo de maré, bem como as variações sazonais de uma região (ARAUJO, 1999).

1.1 Classificação dos Estuários

A variedade de condições hidrográficas, topográficas e climáticas dos estuários é tão diversificada, apresentando situações muitas vezes conflitantes, que impossibilitavam generalizações oceanográficas. Logo, vários foram os critérios utilizados para classificar esses ambientes, pois, de uma maneira geral, não se pode aplicar um método de classificação para todos os estuários.

Podem ser citados, como principais tipos de classificação de estuários:

Classificação com base na intensidade da entrada e saída de água salina e fluvial no estuário, bem como a morfologia e o clima, que podem alterar os padrões de um estuário comum. Os estuários são divididos em dois tipos, basicamente: (VALLE-LEVINSON, 2010):

Estuários Positivos – ocorre quando as fontes de água para o estuário superam os sumidouros da mesma água. Por exemplo, adições da descarga do rio, chuva e derretimento do gelo superam as perdas por evaporação ou congelamento.

Estuários Negativos ou Inversos – são tipicamente encontrados em regiões áridas onde as perdas de água fluvial, por evaporação, excedem as adições de água por precipitação e descarga do rio. Eles são chamados de inversos ou negativos, pois apresentam densidade superior à das regiões marinhas adjacentes ao estuário.

Os estuários também podem ser classificados de acordo com a geomorfologia em: planície costeira, *Fjord*, construído por barra e tectônico (PRITCHARD, 1952).

Planície Costeira – também chamados de vales de rios afogados, são aqueles que foram formados em função da última transgressão marinha durante o pleistoceno;

Fjords – são associados com altas latitudes onde a atividade glacial é intensa. Eles são caracterizados por um canal alongado e profundo e uma soleira rasa, mais próxima ao mar;

Estuários Construídos por Barra – originalmente baías, se tornaram semi-fechados por causa do carreamento sedimentar no litoral criando uma barra de areia ou *spit* entre a costa e o oceano;

Estuários Tectônicos – são estuários formados por terremotos, fraturas da crosta terrestre ou atividades tectônicas que causam falhas adjacentes ao oceano.

De acordo com a estratificação da coluna d'água ou estrutura de salinidade vertical, estuários podem ser classificados em: cunha salina, estratificado, fracamente estratificado e verticalmente homogêneo ou bem misturado (PRITCHARD, 1955; CAMERON AND PRITCHARD, 1963). Essa classificação compete a capacidade de estratificação da descarga fluvial com a capacidade de mistura da corrente de maré.

Cunha Salina – este estuário resulta de uma descarga fluvial forte e uma penetração da maré fraca no estuário;

Fortemente Estratificado – intensidade da descarga fluvial moderada e fortalecimento da corrente de maré à montante do estuário;

Fracamente Estratificado ou Parcialmente Misturado – resulta de uma variação de moderada a forte da forçante de maré e de uma descarga fluvial fraca a moderada;

Verticalmente Homogêneo – aumento na intensidade da corrente de maré e descarga fluvial enfraquecida resulta esse tipo de estuário.

A classificação proposta por Hansen e Rattray (1966) é embasada de acordo com a hidrodinâmica estuarina. Essa classificação relaciona parâmetros de circulação e estratificação, além do parâmetro que diz a natureza do transporte de sal.

Apesar da intensificação dos trabalhos científicos nas últimas décadas, nas áreas de Oceanografia Física, Ecologia e Engenharia Hidráulica e Ambiental, sobre o comportamento dos estuários visando à solução de uma série de problemas (construção portuária, navegação, recreação, suprimento de água doce, lançamento de efluentes domésticos e industriais) que tendem a causar o desequilíbrio ecológico, a demanda por conhecimento na área ainda é grande e busca, principalmente, a generalização de ideias aplicadas ao estuário para o oceano como um todo. Sendo assim, é de extrema importância que o conhecimento acerca dos processos presentes nesses ambientes sejam corretamente compreendidos para que, com isso, o uso e manutenção sustentável destes locais possam ser efetuados (MIRANDA *et al.* 2002).

2 OBJETIVO GERAL

Identificar os aspectos que controlam a hidrodinâmica de um estuário raso, no caso, o estuário de Barra das Jangadas, Recife, PE, Brasil. Além disso, caracterizar a circulação interna do sistema e enquadrá-lo em uma classificação estuarina com base nos seus parâmetros de circulação e de estratificação.

2.1 Objetivos Específicos

- Analisar a estrutura vertical de velocidade de uma seção transversal do estuário a partir dos parâmetros de salinidade, temperatura, profundidade e densidade.
- Descrever o perfil vertical médio de velocidade de uma seção transversal do estuário e o comparar com um perfil teórico.
- Estabelecer relações entre o fluxo de entrada de água salina com a descarga fluvial média para o estuário de Barra das Jangadas.
- Analisar a estabilidade vertical da coluna de água sob influência das variações de velocidade e salinidade

3 ÁREA DE ESTUDO

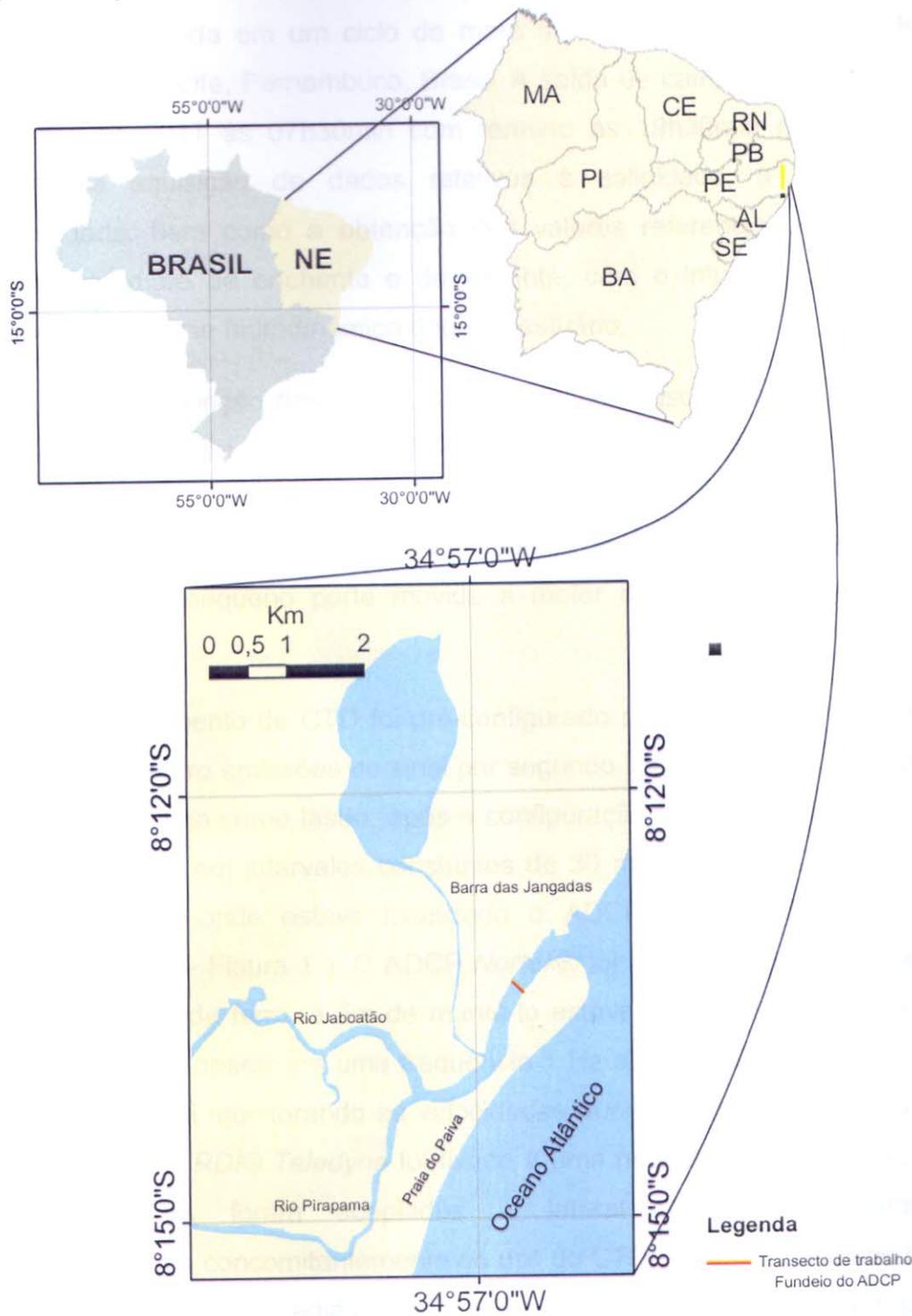
O estuário Barra das Jangadas ($8^{\circ}15'00''$, $8^{\circ}12'00''$ S e $34^{\circ}56'00$, $34^{\circ}57'00''$ W, figura 1), formado pelos rios Jaboatão e Pirapama está situado a 20 Km ao sul da cidade de Recife, Pernambuco, Brasil, com uma área aproximada de 15Km^2 , profundidade de 3,5 metros e largura de 150 metros. Estes rios fazem parte do subgrupo de pequenos rios litorâneos da bacia hidrográfica de Pernambuco, segundo a CPRH, 2001 e, juntos, drenam um área de, aproximadamente, 1025Km^2 até convergirem para o estuário Barra das Jangadas que, por sua vez, faz conexão permanente com o Oceano Atlântico Oeste. As vazões desses rios são, em média, de $2,1$ e $9,4\text{ m}^3\text{s}^{-1}$ para o Jaboatão e Pirapama, respectivamente (CPRH,2001).

As marés são do tipo semidiurnas e apresentam variações médias de 1,3 metros durante a quadratura e 1,8 metros durante a sizígia (ARAÚJO *et al.* 1999). O clima é do tipo subtropical caracterizado por temperatura anual elevada de aproximadamente 25°C e precipitação anual superior a 2000 mm com dois períodos bem definidos: um período de estiagem que se estende de setembro a fevereiro (em condições normais) com taxas de evaporação superiores as taxas de precipitação e um período chuvoso que se estende de março a agosto quando as taxas de precipitação superam as taxas de evaporação (ARAÚJO *et al.* 1999).

A área possui intensa atividade de pesca de crustáceos, moluscos e peixes. Além disso, possui alta atividade turística, com uso das águas do estuário para lazer dos banhistas. Nas margens dos rios se encontram bares, hotéis, residências, clubes de iates e várias fazendas de cultivos de camarão e peixes marinhos. Podemos destacar também a atividade industrial que é caracterizada, principalmente, pela agroindústria de cana-de-açúcar. Devido a sua localização e importância que este sistema representa para o litoral brasileiro, diversos pesquisadores desenvolveram trabalhos na década de 60 com destaque para o trabalho de Okuda e Nóbrega (1960), que definiram a qualidade de água do local. A partir dessa época e por mais de três décadas não houve estudos de qualquer cunho científico neste local. A partir da segunda metade dos anos 90, as pesquisas

foram retomadas com destaque para os trabalhos de Coutinho (1997), Araújo *et al.* (1999), Branco *et al.* (2002) e Lacerda (2004).

Figura 1 - Mapa da área de estudo com identificação da zona de coleta de dados.



Fonte: o autor.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados obtidos para a realização do estudo foram coletados durante uma campanha realizada em um ciclo de maré semidiurna no estuário de Barra das Jangadas em Recife, Pernambuco, Brasil. A saída de campo ocorreu no dia 10 de setembro de 2011 às 07h30min com término às 19h30min e teve como meta principal a aquisição de dados relativos à salinidade, à temperatura e à profundidade, bem como a obtenção dos valores referentes às velocidades da corrente de maré de enchente e de vazante, com o intuito de se realizar uma avaliação do regime hidrodinâmico daquele estuário.

Para a obtenção dos dados, foi necessário o uso de um CTD (*Conductivity/ Temperature/ Depth*) *SBE19plus*® *Sea-Bird Electronics, Inc*; um ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) *Nortek*® fundeado junto ao “*talweg*” do estuário; um ADCP *RDI*® *Teledyne, inc.* móvel, em relação ao fluxo de água e fixado a uma embarcação de pequeno porte movida a motor de popa, e um GPS *Garmin*® *12XL*™.

O equipamento de CTD foi pré-configurado para operar em uma frequência de 0.25 Hz (quatro emissões de sinal por segundo) e acoplado a uma estrutura de metal que funciona como lastro; após a configuração inicial, foram feitas imersões do equipamento, em intervalos constantes de 30 minutos, durante todo o ciclo de maré na região onde estava localizado o ADCP fixo (*Talweg* – próximo a desembocadura – Figura 1). O ADCP *Nortek*® foi fixado à uma estrutura metálica contendo barras de ferro, a fim de mantê-lo estável no fundo do estuário, foi pré-configurado para operar em uma frequência 1 Hz e então foi fundeado a 4 metros, permanecendo ali monitorando as velocidades durante todo o ciclo da maré. Além desses, o ADCP *RDI*® *Teledyne* foi fixado a uma pequena bóia sinalizadora e, em seguida, ambos foram acoplados à lateral (boreste) da embarcação. Posteriormente, e concomitantemente ao uso do CTD, foram feitos vários *transectos* transversais, na mesma região do ADCP fixo, dentro do estuário até a encosta mais rasa a fim de se obter valores da vazão.

O procedimento acima foi repetido durante todo o ciclo de maré (aproximadamente 13 horas), com intervalos regulares, a fim de se manter uma

homogeneidade na informação adquirida. Ao final do ciclo de maré, os equipamentos foram recolhidos e os dados foram armazenados em um computador para serem processados.

4.1 Tratamento dos dados

4.1.1 Redução dos dados

As informações coletadas pelo CTD e pelos ADCPs necessitaram de um processo de redução inicial antes da realização do processamento efetivo dos valores. Os dados obtidos no equipamento de CTD são escritos e armazenados em um arquivo padrão do programa da empresa fornecedora do equipamento. Esse tipo de arquivo não é interpretado de forma correta por programas de processamento de dados, no entanto, existe a opção de se transferir os dados nos arquivos gerados pelo equipamento para um arquivo do tipo *ASCII* (*American Standard Code for Information Interchange*). O equipamento de CTD fornece um arquivo diferente de dados para cada vez que o mesmo for ligado, logo, ao longo do ciclo de coleta, foram gerados vinte e oito arquivos nativos do equipamento.

Para a interpretação e análise correta da variação dos parâmetros de salinidade, temperatura, profundidade e densidade, houve a necessidade de unir todos os arquivos gerados pelo equipamento, de forma que todos os elementos fossem acumulados em ordem cronológica em uma matriz regular. Posto isso, os dados gerados pelo equipamento estavam prontos para serem examinados em ambiente *MATLAB*®.

Inicialmente, foi feita uma análise qualitativa a fim de se identificar dados espúrios que, por ventura, pudessem ter sido adquiridos pelo equipamento como, por exemplo, dados obtidos fora da água. Para isso, foi aplicado um filtro básico baseado na pressão obtida pelo equipamento em cada nível de medição. Após a exclusão dos dados absurdos, foi feita uma reamostragem dos parâmetros obtidos pelo CTD de forma que os valores fossem redistribuídos igualmente com a variação da profundidade e do tempo em pontos espaciais de 30 cm.

No equipamento ADCP *Nortek*®, que permaneceu fixo ao talvegue do estuário, os dados gerados foram as componentes vetoriais da velocidade de corrente, variando em função da profundidade e do tempo. De forma semelhante ao arquivo gerado pelo CTD, o ADCP fornece a informação de saída em um formato binário que pode ser convertido em um arquivo de texto padrão utilizando-se *softwares* próprios como o WinRiver® e o WinADCP®. Portanto, o arquivo de saída do dispositivo foi convertido em um arquivo compatível com software MATLAB® e, em seguida, iniciou-se o processamento de dados.

Foram criados valores referentes os níveis de medição do equipamento baseados na variação da pressão coletada. Os valores das componentes longitudinal (*v*) e latitudinal (*u*) da velocidade foram necessários para se calcular a velocidade resultante a partir de um ângulo formado entre as duas. Após isso, as direções das velocidades de enchente e vazante foram encontradas a partir da análise de uma distribuição bimodal dos ângulos calculados. Tomou-se como referência que o sentido negativo do eixo seria relacionado ao fluxo à montante do estuário e o sentido positivo seria relacionado ao fluxo à jusante.

4.1.2 Preparação dos dados para análise

Concluída a redução dos dados de obtidos pelos equipamentos para o estuário; esses, por serem provenientes de equipamentos distintos, estavam distribuídos no espaço e no tempo de forma diferente, pois os equipamentos coletaram a informação e a armazenaram em níveis de medições diferentes. Portanto, para se realizar uma análise conjunta dos dados provenientes do CTD e ADCP *Nortek*®, houve a necessidade de se fazer uma sincronização dos dados para os mesmos valores de profundidade e tempo. Feito isso, estavam prontos para serem analisados e trabalhados.

Para o cálculo da vazão, os dados provenientes do ADCP *RDI*® foram sincronizados com os dados de velocidade provenientes do ADCP *Nortek*® e, em seguida, foram exibidos em um gráfico mostrando a variação da magnitude da vazão ao longo do ciclo de maré.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos pelos sensores ADCP *Nortek*®, CTD e ADCP *RDI*®, após o tratamento, são expostos nas tabelas 1 e 2, e seus respectivos comportamentos ao longo do ciclo de maré são exibidos nas figuras 2, 3, 4,5 e 6.

Tabela 1 - Resumo dos Resultados obtidos pelo CTD e pelo ADCP fixo.

Parâmetro	Mínimo	Máximo	Média Aritmética	Desvio Padrão
Corrente ($m\ s^{-1}$)	-0,57	0,94	0,10	0,48
Salinidade (PSU)	2,49	32,43	19,67	12,38
σ_t - Densidade ($Kg\ m^{-3}$)	-1,41	20,71	11,25	9,14
Temperatura ($^{\circ}C$)	26,02	27,40	26,91	0,49

Fonte: o autor.

Tabela 2 - Resumo dos Resultados de vazão obtidos pelo ADCP móvel.

Parâmetro	Mínimo	Máximo	Média Aritmética	Desvio Padrão
Vazão ($m^3\ s^{-1}$)	9,31	257,87	150,48	79,89
Vazão - Maré Enchente (negativo)	-9,31	-196,02	-130,95	67,50
Vazão - Maré Vazante (positivo)	84,38	257,87	173,26	78,27

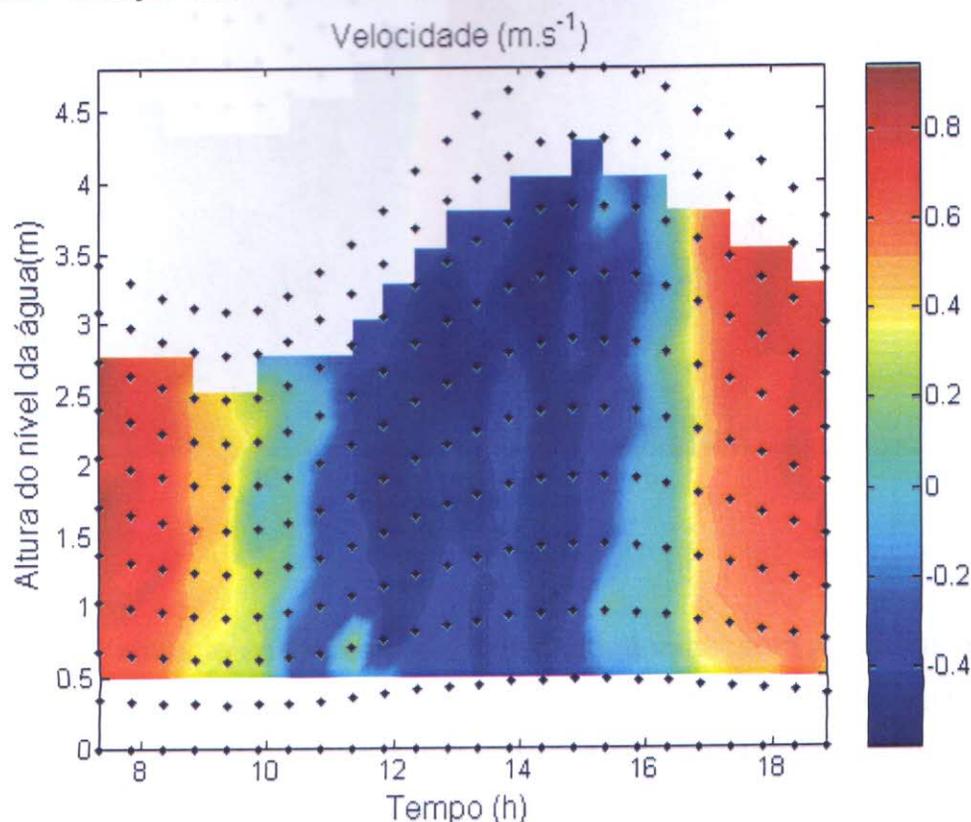
Fonte: o autor.

Os períodos intervalares da maré enchente e vazante foram de, aproximadamente, 7 e 5 horas, respectivamente, indicando assim uma assimetria entre o ciclo de maré. Os valores da intensidade de corrente corroboram a indicação anterior, pois, variam de aproximadamente $-0.57\ m\ s^{-1}$ durante a maré enchente e $0.94\ m\ s^{-1}$ durante a maré vazante, ou seja, pela lei da conservação de massa, o mesmo volume que entra no estuário durante a enchente deve retornar, logicamente, de forma mais rápida durante a vazante.

A figura 2 mostra a variação da intensidade de velocidade predominante durante o ciclo de maré, ou seja, ocorre uma variação entre, aproximadamente, $-0,4$ (enchente) e $0,8$ (vazante) $m\ s^{-1}$. Observando-se a figura 2, é notável uma homogeneidade na informação ao longo da coluna de água, e, por isso, apenas os valores na interface da mudança na direção das correntes apresentam colorações distintas variando de $0,0$ a $0,4\ m\ s^{-1}$. Tal fato pode evidenciar os períodos de estufa

de vazante e enchente, respectivamente. Além disso, na figura 2, nota-se que existem pontos de coleta que não apresentam valores, tal fato é explicado pela falta de confiabilidade da aquisição, pois o ADCP fixo possui um *Blank* que corresponde, aproximadamente, a 0,3 m do fundo do estuário e 0,5 m abaixo da superfície livre.

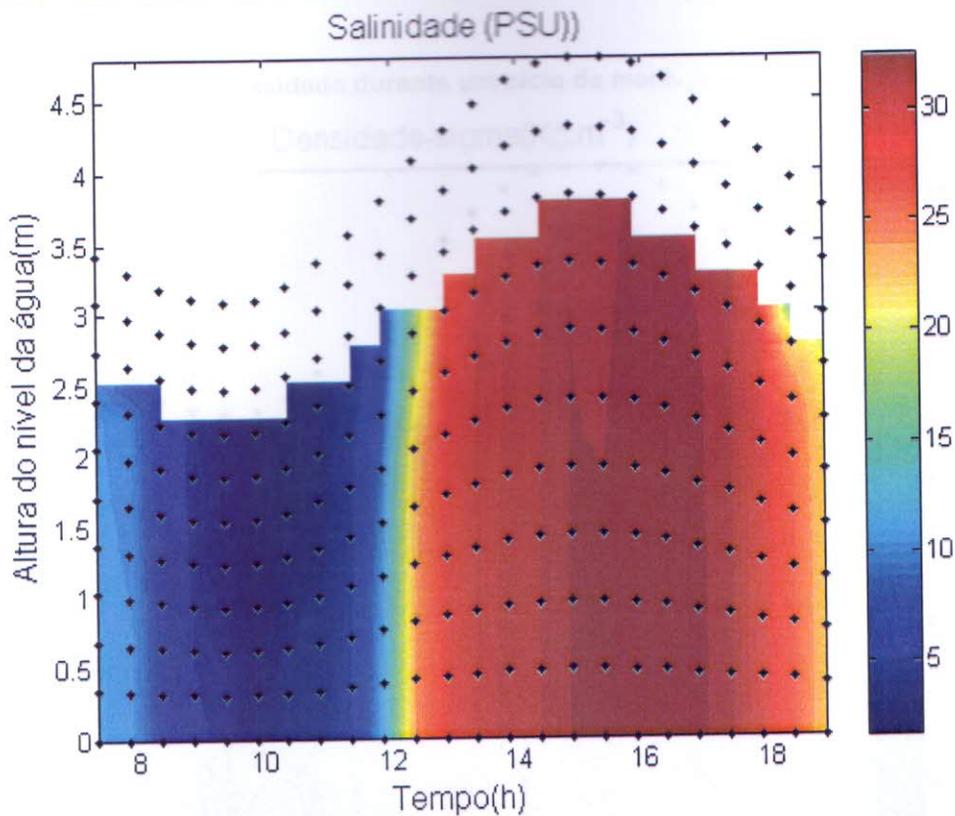
Figura 2 - Variação vertical da Velocidade



Fonte: o autor.

Na tabela 1 e figura 3, observa-se a salinidade variando de 2,5 a 32,4 PSU durante o ciclo de maré. Nota-se que os máximos valores de salinidade são encontrados desde o início se estendendo até o final da preamar. Tais fatos mostram a relação direta desse parâmetro com o movimento da corrente de maré estuário adentro. No intervalo de baixamar podemos encontrar os menores valores de salinidade variando de, aproximadamente, 5 a 15 PSU. Isso mostra claramente a saída da água proveniente dos movimentos de maré e, juntamente a este processo, a descarga fluvial sendo intensificada ao longo do período de corrente vazante. De maneira geral, também existe homogeneidade salina na coluna d'água durante a preamar e baixamar, o que pode estar relacionado à relativa baixa profundidade do estuário em questão. Nas interfaces entre preamar e baixamar, existem valores intermediários de salinidade, indicando mistura entre a vazante e a enchente.

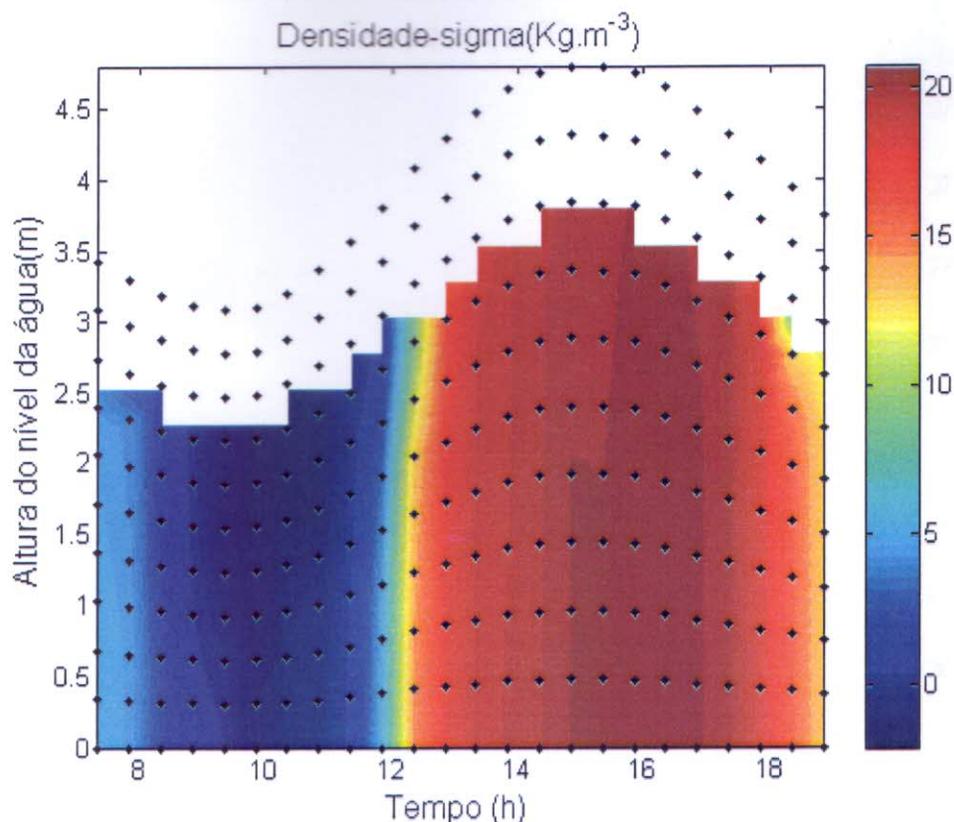
Figura 3. Variação da Salinidade ao longo de um ciclo de maré.



Fonte: o autor.

Similarmente aos valores de salinidade, a variação dos valores de densidade ocorre de acordo com a oscilação do nível da coluna d'água, ou seja, o parâmetro está diretamente relacionado à salinidade. Na figura 4, observa-se a semelhança com a figura 3, que apresentou a variação de salinidade, o que corrobora a ideia de inter-relação entre esses parâmetros.

Figura 4 - Variação da densidade durante um ciclo de maré.

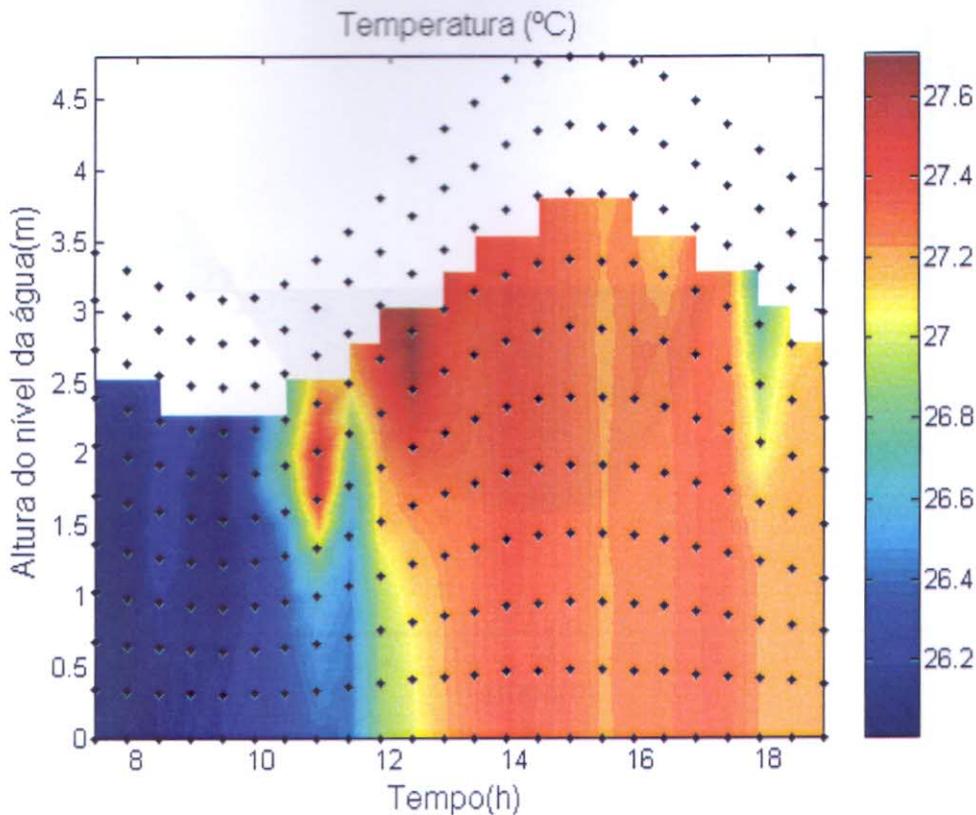


Fonte: o autor.

Os valores de densidade-sigma variaram de $-1,41$ a 20 Kg m^{-3} durante o ciclo de maré (vale Lembrar que a densidade sigma representa o valor de densidade na unidade mencionada subtraída de mil unidades). Nota-se também que existe uma amplitude entre os valores máximo e mínimo de densidade, porém, há evidência visual de que a coluna permanece totalmente dominada pela descarga fluvial durante a vazante e pela corrente de maré durante a enchente, evidenciando, mais uma vez, que não há sobreposição das massas de água devido, principalmente, à profundidade do ambiente.

A variação nos valores de temperatura durante o ciclo de maré (Figura 5) possui pequena diferença entre o máximo, que foi de $27,40^\circ\text{C}$, e o mínimo, $26,02^\circ\text{C}$. Nota-se que, apesar da pequena variação, existe um pico de temperatura entre 11 e 12 horas, devido ao balanço diário de energia solar, pois o estuário em questão está localizado em zona subtropical. Às 18 horas, nota-se uma diminuição superficial de temperatura.

Figura 5 - Variação da temperatura durante um ciclo de maré.

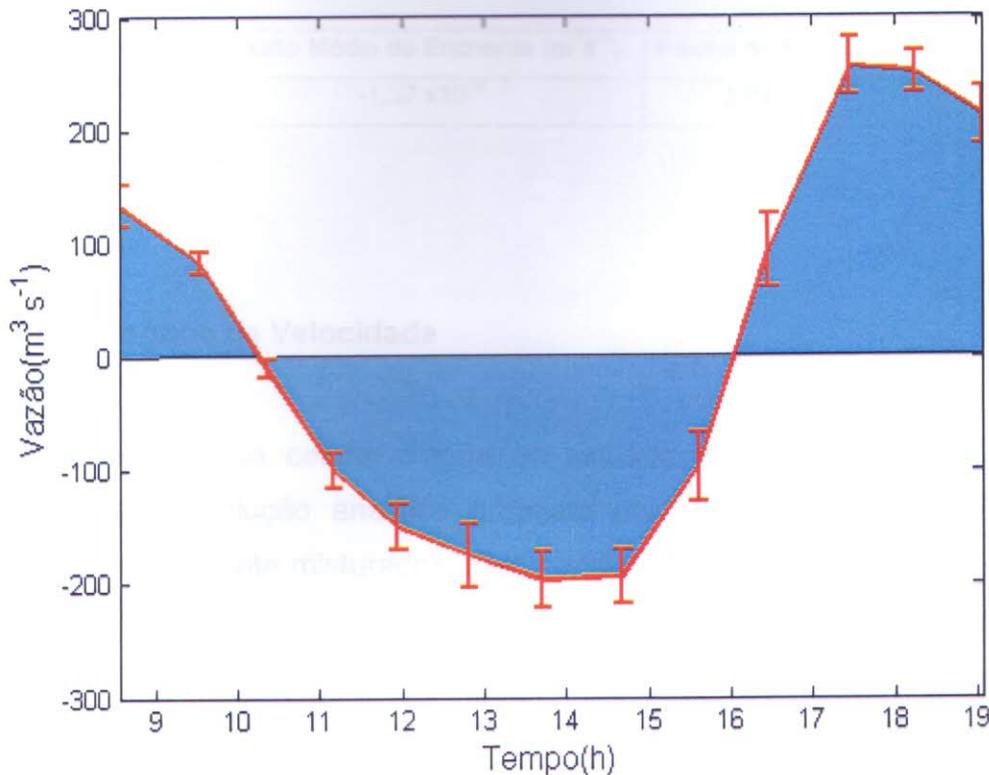


Fonte: o autor.

Além dos valores apresentados, existe uma homogeneização vertical da coluna d'água durante baixamar e preamar. Os valores mais baixos encontrados representam o fluxo de água fluvial à jusante do estuário e os valores mais altos representam a entrada de água salina, mais quente, em direção à cabeceira do estuário. Embora haja uma pequena variação de temperatura durante um ciclo de maré no estuário Barra das Jangadas, é possível que essa diferença possa limitar várias atividades intraestuarinas como, por exemplo, a atividade primária.

A figura 6 mostra o comportamento da vazão ao longo do ciclo de maré estudado. Nota-se que a massa de água transportada durante as primeiras horas de vazante são da ordem de $100 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e, no máximo da enchente, os valores atingem $200 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Figura 6 - Variação da Vazão ao longo de um ciclo de maré.



Fonte: o autor

Os valores referentes à vazão, proveniente do ADCP móvel, são exibidos na tabela 2, que sumariza a variação desse parâmetro durante a enchente e a vazante, no ciclo de maré estudado. Observa-se valores mínimos, em torno de $9,3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, e máximos de $257,1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Durante a maré enchente (representada pelo sentido negativo do estuário), o valor mínimo encontrado é o menor valor de vazão durante todo o ciclo, e o valor máximo corresponde a $196,02 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Durante a corrente vazante (representada pelo sentido positivo do estuário), houve, em média, uma vazão mais intensa do que a enchente, pois o mínimo encontrado foi de $84,3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e o máximo de $257,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

A partir da curva estrutural da vazão ao longo do ciclo de maré foi possível encontrar, no intervalo de enchente, o prisma de maré, que é caracterizado como o volume de água marinha inserido no estuário. Este pode ser calculado através do produto direto entre o tempo de enchente e a vazão registrada ali. Na tabela 3, é exibido o valor correspondente ao tempo de enchente, a vazão computada e o prisma de maré calculado a partir daqueles.

Tabela 3 - Prisma de Maré

Tempo (segundos)	Vazão Média de Enchente ($m^3 s^{-1}$)	Prisma de Maré (m^3)
$2,07 \times 10^{04}$	$-1,37 \times 10^{02}$	$2,84 \times 10^{06}$

Fonte: o autor, 2012.

5.1 Perfil Teórico de Velocidade

A resposta da coluna d'água do estuário Barra das Jangadas pode ser aproximada da solução analítica proposta por Hansen e Rattray (1965) para estuários parcialmente misturados. Eles consideraram um balanço de momento em estado estacionário incluindo a tensão de divergência, gradientes barotrópico e baroclínico de pressão sem escorregamento de fundo e com condição de tensão na superfície, e o gradiente horizontal de densidade como sendo uniforme em relação à profundidade. Apesar da desconsideração de condições importantes como variações de maré, advecção e variações verticais do gradiente de salinidade e mistura, o modelo proposto por Hansen e Rattray (1965) é uma representação importante do regime de fluxo estuarino, pois eles mostraram a influência combinada do gradiente horizontal de densidade, descarga fluvial e cisalhamento pelo vento. A solução para a variação vertical da velocidade é a expressão mostrada na equação 1:

$$u(z) = \underbrace{\frac{gGH^3}{48\rho A_z} \left[9 \left(1 - \frac{z^2}{H^2} \right) - 8 \left(1 + \frac{z^3}{H^3} \right) \right]}_{\text{Componente Densidade}} + \underbrace{\frac{3R}{2H} \left[1 - \frac{z^2}{H^2} \right]}_{\text{Componente Fluvial}} + \frac{1}{4} \frac{\tau H}{\rho A_z} \left[4 \left(1 + \frac{z}{H} \right) - 3 \left(1 - \frac{z^2}{H^2} \right) \right] \quad (1)$$

Onde: g é a gravidade; G é o gradiente longitudinal de densidade; H é a altura da coluna d'água; ρ é a densidade da água adjacente ao estuário; A_z é o coeficiente de viscosidade turbulenta; R é a descarga fluvial por unidade de seção, z é profundidade e τ é tensão de cisalhamento do vento.

Tomando como base o modelo proposto por Hansen e Rattray (1965) foi adaptado um perfil teórico para o estuário estudado. A componente influenciada pelo vento (terceira parcela da equação) foi desprezada e foram levadas em

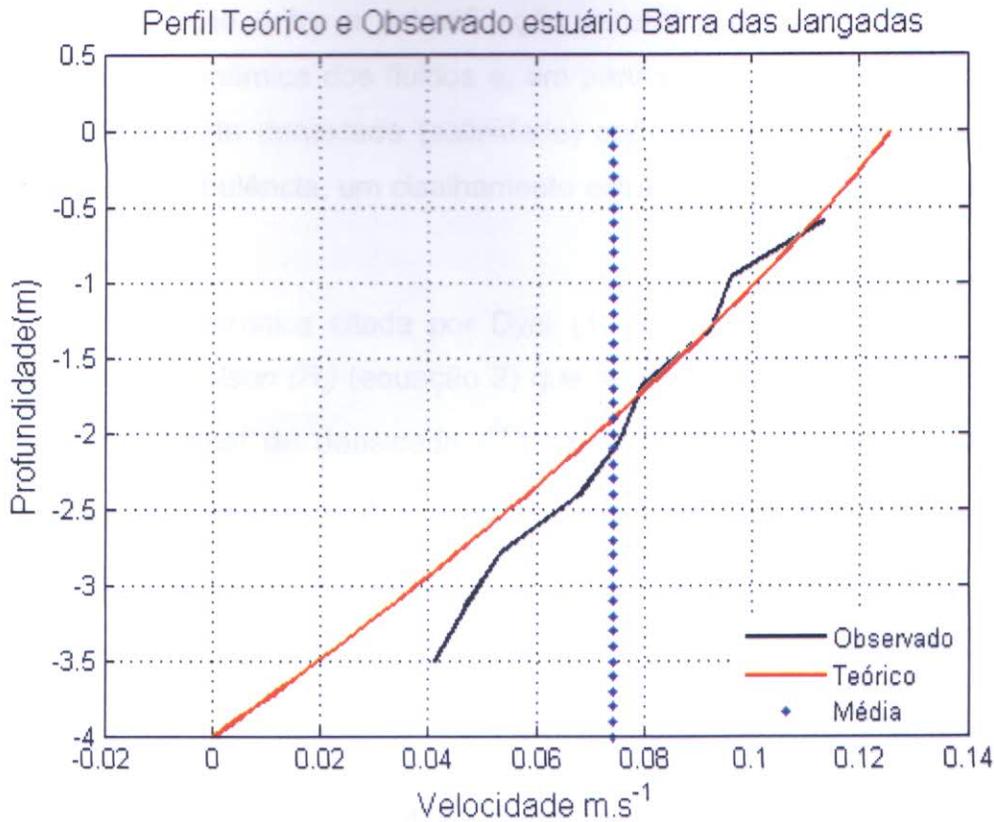
consideração apenas as componentes influenciadas pelo gradiente longitudinal de densidade e pela descarga fluvial. Portanto, para efeitos teóricos, o gradiente de salinidade longitudinal foi da ordem de 10000 m^{-1} , a altura média da coluna d'água foi estimada em 4 metros, o parâmetro ρ é da ordem de 1024 Kg m^{-3} e A_z é da ordem de $10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$.

O parâmetro R relaciona a descarga fluvial e a área da seção transversal estudada, portanto, para a realização do cálculo foi obtido do trabalho de Silva *et al.* (2009) o valor da descarga média para o estuário, que é de $13,84 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, e a área da seção transversal foi encontrada partindo do princípio que o estuário tem forma triangular, base de 80 metros e altura média de 4 metros. Efetuando-se a solução do problema citado acima, obtivemos o perfil teórico de velocidade na coluna d'água para o estuário Barra das Jangadas. A partir disso, foi feita a computação do valor médio de velocidade adquirido pelo equipamento ADCP e os resultados foram plotados na figura 7.

Observa-se (figura 7) que a curva encontrada na análise possui uma estreita semelhança com o perfil teórico encontrado. Fica evidenciada também, a velocidade média da coluna d'água que é representada pela linha pontilhada. Ainda na figura 7, nota-se que existe um fluxo superficial forte à jusante do estuário e um fluxo inferior mais fraco à montante. Tal processo tende a gerar mistura superficial por difusão turbulenta gerada pela tensão de cisalhamento entre as camadas de velocidade.

A variação do perfil vertical de salinidade está diretamente ligada às variações de velocidade que ocorrem na coluna d'água, portanto, a intensificação salina ocorre de acordo com a entrada de água marinha à montante do estuário. Logo, a advecção longitudinal de sal ocorre pela parte inferior do estuário. Este sal é transportado por uma corrente média de enchente de -0,1, e a água mais salgada é diluída pelo fluxo de água doce durante a vazante na parte superior do estuário. Por apresentar um corrente de vazante bem mais intensa, pode-se inferir que o estuário é do tipo que exporta material, ou seja, pode ser classificado, quanto ao transporte líquido de material, como exportador.

Figura 7 - Perfis verticais de velocidade - teórico e observado.



Fonte: o autor.

É importante ressaltar também que podem existir outras forçantes que alteram a dinâmica estuarina. Um exemplo disso é a existência de constrições ao longo do estuário e a presença de circulação lateral. Em trabalhos pretéritos, Geyer (1996), tendo como base as equações da teoria do controle hidráulico interno, calculou a influência de constrições na circulação estuarina. Além desse, Cheng e Valle-Levinson (2009) encontraram a importância da advecção lateral no fluxo residual estuarino baseando-se nos números de Ekman e Rossby.

5.2 Estabilidade da coluna d'água

São vários os mecanismos dentro de um estuário que podem causar turbulência e, conseqüentemente, instabilidade da coluna de água. Alguns deles são: a influência de constrições, o cisalhamento vertical da velocidade, a tensão de cisalhamento do vento e ondas de gravidade superficiais e internas. A intensidade

da turbulência controla a **distribuição vertical** das propriedades de massa da água estuarina.

A competição entre a **estratificação vertical** e a mistura desempenha um papel crucial na **dinâmica dos fluidos** e, em particular, na **dinâmica estuarina**; se o gradiente vertical de densidade (salinidade) opõe-se às trocas de quantidade de movimento por turbulência, um **cisalhamento extra** é necessário para causar mistura (DYER, 1977).

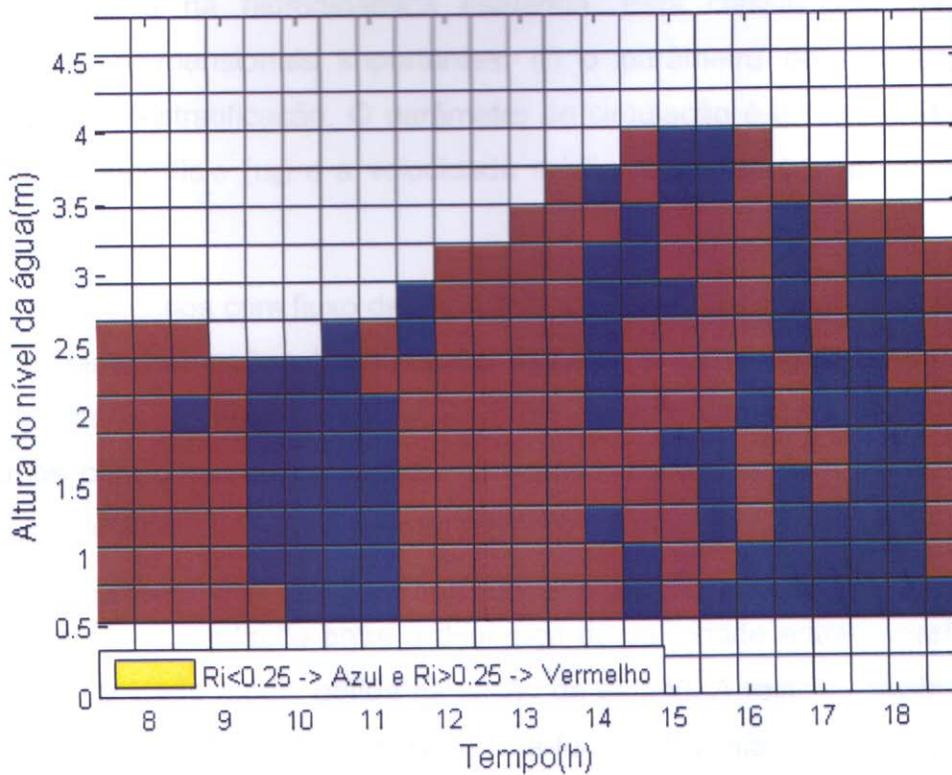
Essa característica citada por Dyer (1977) pode ser analisada através do Número de *Richardson* (Ri) (equação 2) que relaciona a capacidade estabilizadora do gradiente vertical de densidade ($\frac{\partial \rho}{\partial z}$) com a capacidade desestabilizadora do cisalhamento de velocidade ($\frac{\partial u}{\partial z}$). Esse número, sem dimensões, é um importante indicador da geração de turbulência.

$$Ri = - \frac{\frac{g}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z}}{\left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2} \quad (2)$$

A partir da equação 2, muitos estudos experimentais e teóricos foram guiados sobre o mecanismo de formação das instabilidades na coluna de água, com isso, a transição entre o regime estratificado e o turbulento é limitada pelo valor de $Ri = 0,25$. Posto isso, quando $Ri < 0,25$ a coluna de água é instável, o que gera turbulência e conseqüente mistura vertical.

Baseando-se na teoria exposta acima, o número de Richardson foi calculado para o estuário em questão com o mesmo objetivo descrito acima. Convencionou-se que, onde o valor de Ri fosse menor que 0,25 o gráfico computado retornaria um valor igual a -1 e quando o valor de Ri fosse maior que 0,25, o gráfico retornaria um valor igual a 1. A figura 8 mostra a variação do número de Richardson estuarino, ao longo do ciclo de maré estudado, para o estuário Barra das Jangadas. Portanto, os valores correspondes a 1 implicam que há estabilidade e, -1, implicam que não há estabilidade.

Figura 8 - Estabilidade da coluna de água durante o ciclo de maré



Fonte: o autor.

Pela observação da figura 8, nota-se que as zonas estáveis são mais frequentes durante o ciclo de maré. Nas interfaces entre baixamar e preamar, nota-se maior concentração de $Ri < 0.25$, indicando forte instabilidade. Na zona mais profunda, durante a preamar, percebe-se que existe forte instabilidade da lâmina de água, tal fato pode estar associado ao atrito de fundo, o que gera turbulência. Nas interfaces, essa forte instabilidade pode estar associada à entrada de água salina estuário adentro, gerando uma forte turbulência durante o início da enchente.

5.3 Classificação do estuário Barra das Jangadas

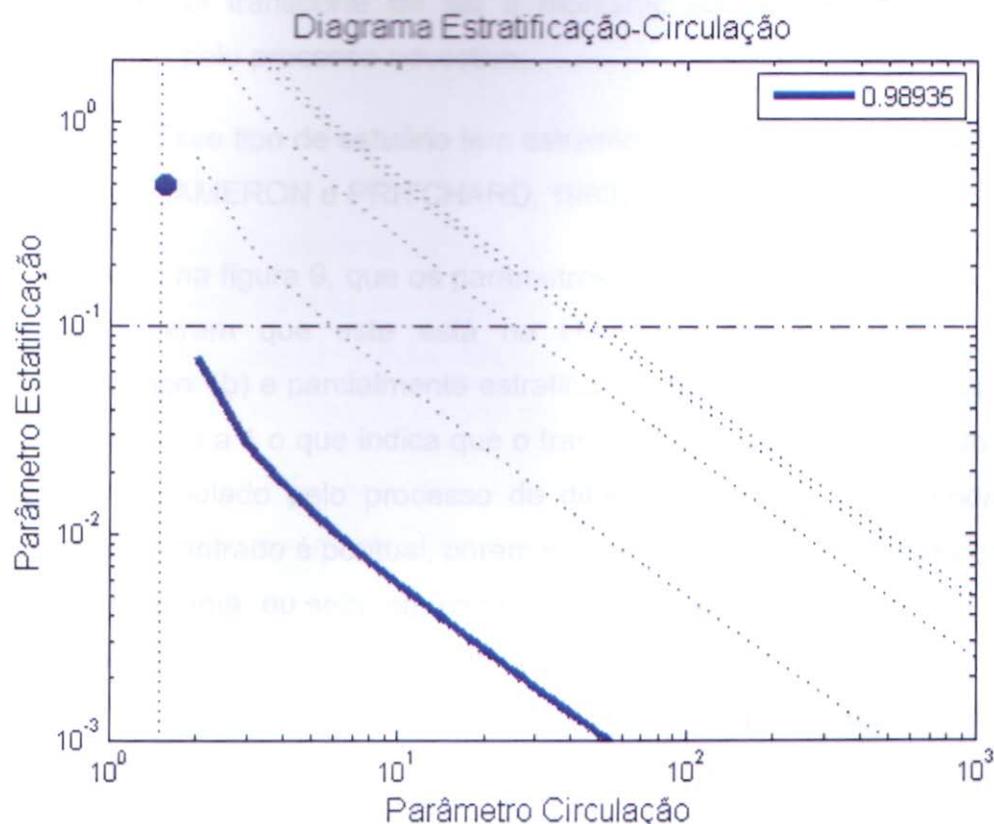
Foi utilizada no estudo a classificação proposta por Hansen e Rattray (1966) que se baseia na hidrodinâmica estuarina. Esta classificação relaciona dois parâmetros adimensionais importantes: (I) o parâmetro de circulação e (II) o parâmetro de estratificação. O parâmetro de circulação é a relação da velocidade próxima à superfície (u_s) e a velocidade média das correntes na seção analisada (U_f).

Em estuários com fluxo de entrada fraco, tais quais estuários bem misturados (verticalmente homogêneo) e de cunha salina, o fluxo médio de fundo será similar, em magnitude, ao fluxo de saída. Portanto, o parâmetro de circulação é >10 em estuários com circulação gravitacional intensa e próximo de 1 em estuários com fluxo unidirecional. Em geral, quanto maior for o parâmetro de circulação, mais forte será a circulação gravitacional. O outro parâmetro adimensional, parâmetro de estratificação, é a relação entre a diferença de salinidade entre superfície e fundo (∂S) e a salinidade média obtida na seção de estudo. A relação próxima a 1 indica que a diferença de salinidade superfície-fundo é similar a salinidade média e, portanto, quanto menos estratificada a coluna d'água, menor será o parâmetro de estratificação.

Os dois parâmetros descritos acima podem ser usados para caracterizar a natureza do transporte de sal nos estuários. A contribuição da porção difusiva e da porção advectiva do total de fluxo de sal para o estuário é, comumente, denominada de v pela literatura.

O parâmetro v pode oscilar entre 0 e 1. Quando v é próximo a 0, o transporte de sal a montante do estuário é dominado pela advecção, ou seja, pela circulação gravitacional. Nestes casos, os processos de mistura são fracos como, por exemplo, em estuários do tipo *fjord* que, por via de regra, é altamente estratificado. Quando v se aproxima de 1 temos que o transporte total de sal é dominado por processos difusivos. Na figura 9, observa-se o diagrama calculado para o estuário estudado, em função dos parâmetros de circulação e estratificação. $\frac{\partial S}{\partial S}$

Figura 9 - Diagrama de classificação baseado nos parâmetros de circulação e estratificação



Adaptado de Hansen e Rattray, 1966.

Hansen e Rattray (1966), após a interpretação física do diagrama circulação-estratificação, elaboraram uma segunda interpretação ao gráfico formado. Após a análise do parâmetro v , que mostrava a natureza do tipo de transporte de sal, eles criaram a classificação quantitativa dos estuários. Segundo aqueles pesquisadores, os estuários podem ser classificados de acordo com o diagrama circulação-estratificação nos seguintes tipos: $\frac{U_s}{U_f}$

Tipo 1 – O fluxo resultante é em direção à jusante do estuário em todas as profundidades e o transporte de sal para montante é devido somente ao processo de difusão turbulenta;

Tipo 2 – O fluxo resultante reverte a sua direção de acordo com o aumento de profundidade e os processos advectivos e dispersivos são importantes para contribuir com o transporte de sal à montante do estuário;

Tipo 3 – O transporte de sal à montante do estuário ocorre quase que exclusivamente pelo processo advectivo;

Tipo 4 – Esse tipo de estuário tem estratificação máxima e é classificado como cunha salina (CAMERON e PRITCHARD, 1963).

Nota-se, na figura 9, que os parâmetros calculados para o estuário Barra das Jangadas mostram que este está na interface entre um estuário altamente estratificado (tipo 1b) e parcialmente estratificado (tipo 2b). Além disso, o parâmetro v é muito próximo a 1 o que indica que o transporte de sal à montante do estuário é basicamente regulado pelo processo de difusão turbulenta. Vale ainda ressaltar que, o valor encontrado é pontuai, porém existe a possibilidade de deslocamento do mesmo no diagrama, ou seja, em condições de forçantes alteradas, isto é, maré de sizígia e quadratura, os parâmetros de velocidade e salinidade podem se intensificar e/ou se enfraquecer o que, por sua vez, irá alterar os parâmetros de circulação e estratificação.

6 CONCLUSÕES

O estuário se comporta como um estuário raso e construído por barra, apresentando altos valores na forçante de maré e descarga fluvial moderada, podendo estar classificado como verticalmente homogêneo durante a preamar e parcialmente misturado durante a baixa mar.

O diagrama de circulação e estratificação mostrou que a variação vertical de velocidade e salinidade é, tipicamente, de um estuário parcialmente estratificado (tipo 2b) com fortes tendências a se tornar altamente estratificado (tipo 1b), e com transporte de sal ocorrendo, principalmente, por processo de difusão turbulenta.

Além disso, nota-se que há uma relativa estabilidade durante os períodos de preamar e baixa mar, excetuando-se durante o início da corrente de enchente e de vazante e no fundo, onde há forte tensão de cisalhamento entre as camadas internas da água e a interface água e fundo estuarino.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAUJO, M, MEDEIROS, C & C RIBEIRO. Energy balance and time-scales of mixing and stratification in the Jaboatão estuary, Brazil. **Revista Brasileira de Oceanografia**, São Paulo, v. 47(2):145-154,1999.
- BRANCO, E.S, FEITOSA, F.A.N & FLORES-MONTES, M.J.Variação sazonal e espacial da biomassa fitoplanctônica relacionada com parâmetros hidrológicos no estuário de Barra de Jangadas (Jaboatão dos Guararapes-Brasil). **Tropical Oceanography**, Recife, v. 30(2): 79-96.2002
- CAMERON, W. M. & PRITCHARD, D. W. Estuaries. In: HILL, M. N.ed. **The sea**, v. 2. New York, John Wiley & Sons, 306-324. 1963.
- COUTINHO, P.N. Estudo da erosão marinha nas praias de Piedade, Candeias e no estuário de Barra de Jangadas. **Relatório**, 60 pp. Editora da UFPE, Recife. 1997.
- CPRH. **Planilhas de Controle industrial do Estado**, 100 pp. Companhia Pernambucana de Controle da Poluição e Recursos Hídricos, Recife. 2001
- DALRYMPLE, R.W., ZAITLIN, B.A.; BOYD, R. A conceptual model of estuarine sedimentation. **Journal of Sedimentary Petrology**, Alexandria, v. 62:1130:116. 1992
- DIONNE, J.C. Towards a more adequate definition of the St. Lawrence estuary. **Zeitschr. f. Geomorph.**, v.7(1):36-44.1963.
- DYER,K.R. Lateral Circulation Effects in Estuaries. Estuaries, **Geophysics and the Environment**. Washington, D. C., National Academy of Sciences,v.8, 22-29. 1977
- GEYER,W.R. Influence of Wind on Dynamics and Flushing of Shallow Estuaries. **Estuarine , Coastal and Shelf Science**, Hull,UK. V. 44, 713-722. 1997
- HANSEN, D. V. & RATTRAY Jr, M. New dimensions on estuarine classification. **Limnology and Oceanography**,Canmore, v.11:319-326. 1966
- HANSEN, D.V.& RATTRAY, JR.M.(1965).Gravitational Circulation in straits and estuaries. **Journal of Marine Research**, New Haven,v.23:104-122.

LACERDA, S.R. **Série temporal do fitoplâncton no estuário de Barra de Jangadas (Jaboatão dos Guararapes - Brasil)**. Tese em Oceanografia, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 196 pp. 2004.

MIRANDA, Luiz Bruner; CASTRO, Belmiro Mendes e KJERFVE, Bjorn. **Princípios de Oceanografia de estuários**. 2ª Ed. São Paulo: USP, 2002. 411p.

OKUDA, T & NOBREGA, R. Estudo da Barra das Jangadas. Parte 1. Distribuição e movimento da clorinidade - quantidade de corrente. **Trabalhos Oceanográficos**, Recife, v.2: 175-191. 1960.

PRITCHARD, D.W. Estuarine circulation patterns. **Proc. Am. Soc. Civil Eng.** New York v. 81, p. 1-11. 1955.

PRITCHARD, D.W. Estuarine hydrography. **Advances in Geophysics**. Cambridge v.1, p. 243-280. 1952.

SILVA, J.B.; GALVÍNCIO, J.D.; MOURA, M.S.B. e SILVA, S.G. Tendências Fluviométricas nas Áreas Estuarinas De Goiana-Megaó e Pirapama/Jaboatão e das Tabuas de Maré no Porto de Suape-Pe. **Revista Brasileira de Geografia Física**. Recife, v.2(02), 70-82. 2009.

VALLE-LEVINSON, A. **Contemporary Issues in Estuarine Physics**. Cambridge. 1ª Ed. Cambridge University Press, 2010. 327p.

VALLE-LEVINSON, A.; CHENG, P. Influence of Lateral Advection on Residual Currents in Microtidal estuaries. **American Meteorological Society**. Gainesville, Florida. USA. 14p. 2009.