



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

MARÍLIA SEQUEIRA DA SILVA

**PROCESSAMENTO DE DADOS DE ADCP MÓVEL PARA ESTUDOS DE
CIRCULAÇÃO EM ESTUÁRIOS**

Recife

2019

MARÍLIA SEQUEIRA DA SILVA

**PROCESSAMENTO DE DADOS DE ADCP MÓVEL PARA ESTUDOS DE
CIRCULAÇÃO EM ESTUÁRIOS**

Monografia apresentada ao Programa de Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Oceanografia.

Área de concentração: Oceanografia Física.

Orientador: Prof^o. Dr. Carlos Augusto França Schettini.

Recife

2019

Catálogo na fonte
Bibliotecário Josias Machado, CRB-4 / 1690

S586p Silva, Marília Sequeira da.

Processamento de dados de ADCP móvel para estudos de circulação em estuários / Marília Sequeira da Silva. – Recife, 2019.

81 folhas, il.

Orientador: Carlos Augusto França Schettini.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Oceanografia, 2019.

Inclui Referências.

1. Oceanografia. 2. Variabilidade lateral. 3. Velocidade residual. 4. Suape. 5. Circulação estuarina. I. Schettini, Carlos Augusto França (orientador). II. Título.

UFPE

551.46 CDD (22. ed.)

BCTG/2019-319

MARÍLIA SEQUEIRA DA SILVA

**PROCESSAMENTO DE DADOS DE ADCP MÓVEL PARA ESTUDOS DE
CIRCULAÇÃO EM ESTUÁRIOS**

Monografia apresentada ao Programa de Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Oceanografia.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Carlos Augusto França Schettini (orientador)
Departamento de Oceanografia – UFPE

Prof. Dr. Roberto Lima Barcellos (titular)
Departamento de Oceanografia – UFPE

Dr. Paulo Afonso Almeida Salles (titular)
Universidad Nacional de México - UNAM

Recife, 23 de Abril de 2019

“Àquele que estendeu a terra sobre as águas, porque a sua misericórdia dura para sempre; Salmos 136.6”

AGRADECIMENTOS

A Deus! E todos os agradecimentos a seguir decorrem de sua imensa graça, misericórdia e bondade.

Aos meus pais, em especial minha mãe por todo amor, por sempre acreditar na minha capacidade, me incentivar e acima de tudo me apoiar. Ao meu tio Gilberto (*in memorian*) porque suas limitações nunca foram suficiente para tirar-lhe o prazer da vida e não o impediram de trabalhar. Minhas irmãs Mayara e Ilana pelas broncas e estímulos. As amigas e irmãs do coração Camila, Bruna, Mayra (*in memorian*) e Joelma pelo consolo silencioso, risadas, longas conversas... Ao melhor amigo e namorado Hector pelo amor revelado no incentivo, nas broncas, no ouvir, na companhia preenchida de risadas e descobertas científicas (risos). A Cris, especialmente pelo tempo que passamos juntas durante a IC, e que me entende sem que eu precise falar muito. A Daniel Carneiro pelo incentivo constante e amizade! A lista de coisas pelo que eu poderia agradecer a vocês é extensa demais!

Ao professor Roberto Barcellos pelo aprendizado durante o tempo que passei no LABOGEO. Aos amigos de laboratório Andressa, Ernesto e Zé por tudo que aprendi com vocês. Em especial a Ernesto, que mesmo precisando de estímulo muitas vezes me estimulou a continuar, valeu Ernesto! Por fim e não menos importante a Guto pelo conhecimento, bons exemplos como pessoa, pela paciência e por pavlovianamente me explicar todo o processamento apresentado neste trabalho incontáveis vezes, embora eu tenha entendido em todas elas (risos).

RESUMO

Um campo foi realizado no estuário do Rio Massangana, divisa entre os municípios do Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca, estado de Pernambuco. O campo ocorreu durante a sizígia e teve duração de um ciclo de maré onde foi monitorada uma seção transversal a cada meia hora com ADCP móvel. O objetivo do experimento foi avaliar as variações intramareais de correntes. Para o tratamento adequado dos dados seis rotinas foram desenvolvidas para processamento seguindo o fluxo: limpeza, organização, seleção dos transectos, adimensionalização (largura e profundidade), cálculo de médias das velocidades e redimensionalização (largura e profundidade) e três rotinas para saída gráfica. Os resultados são avaliados antes e depois da rotação dos vetores de velocidade. Foi observado que a rotação de vetores não muda o padrão de fluxo de corrente na componente 'u' da velocidade e que altera o padrão de fluxo da corrente na componente 'v'. Os resultados também mostraram que existe um fluxo residual ao longo da seção transversal que tem sentido estuário-laguna na margem sul e sentido laguna estuário na margem norte.

Palavras-chave: Variabilidade Lateral. Velocidade Residual. Suape. Circulação Estuarina.

ABSTRACT

A field was carried out in the estuary of the Rio Massangana, municipal division between the municipalities of Cabo de Santo Agostinho and Ipojuca. The field lasted a tidal cycle where a cross section was monitored every half hour with mobile ADCP. The aim of the experiment was to evaluate the intratidal variations of currents. For the adequate treatment of the data, six routines were developed for processing following the flow: cleaning, organization, selection of transects, dimensionless (width and depth), calculation of velocity averages and resizing (width and depth) and three routines for graphic output. The results are evaluated before and after the rotation of the velocity vectors. It has been observed that vector rotation does not change the current flow pattern in the 'u' component of the velocity and changes the current flow pattern in the 'v' component. The results also showed that there is a residual flow along the cross-section that has direction estuary-lagoon on the south shore and direction estuary lagoon on the north shore.

Keywords: Lateral Variability. Residual Velocity. Suape. Estuarine Circulation.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	EMBASAMENTO TEÓRICO	12
2.1	ESTUÁRIOS	12
2.2	DEFINIÇÃO QUANTO AO BALANÇO HÍDRICO	13
2.3	DEFINIÇÃO QUANTO À GEOMORFOLOGIA	14
2.4	DEFINIÇÃO QUANTO À ESTRUTURA VERTICAL DE SAL	15
3	CONHECENDO O ADCP	18
3.1	SOBRE ONDAS	18
3.2	O EFEITO DOPPLER	20
3.3	FUNCIONAMENTO DO ADCP	21
4	ÁREA DE ESTUDO	27
5	METODOLOGIA	30
6	PROCESSAMENTO DOS DADOS	33
6.1	PRÉ PROCESSAMENTO	34
6.2	PROCESSAMENTO - ETAPA 1	36
6.3	PROCESSAMENTO - ETAPA 2	37
6.4	PROCESSAMENTO - ETAPA 3	38
6.4.1	Adimensionalização da Largura	39
6.4.2	Adimensionalização da Profundidade	40
6.5	CÁLCULO DAS MÉDIAS	40
6.6	CORREÇÃO GEOMÉTRICA E DE NÍVEL – ETAPA 5	40
6.6.1	Redimensionamento da Espacial	40
6.6.2	Correção Geométrica de Nível	41
6.7	UMA OBSERVAÇÃO SOBRE ROTAÇÃO DE CORRENTES	42
7	RESULTADOS	44
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
	REFERÊNCIAS	50
	ANEXOS	52

1 INTRODUÇÃO

A zona costeira possui um alto valor ecológico, social e econômico, representando mais da metade de todos os grandes centros urbanos (Garrison, 2010). Exibe uma grande diversidade de sistemas, dentre eles, os estuários atraem especial interesse, pois constituem, vias de acesso ao interior do continente, permitindo a criação de zonas portuárias e uma grande variedade de atividades que muitas vezes correspondem a conflitos em potencial (Silva, 2000). Além de atividades industriais, grandes centros urbanos se concentram às margens de estuários. Estes acabam sendo frequentemente usados como receptores de esgoto (doméstico e industrial) e material tóxico. Ecologicamente falando, possuem águas biologicamente mais produtivas que as do rio e oceano adjacentes. Seus padrões hidrodinâmicos fazem com que: retenham ou exportem sedimentos e poluentes para a plataforma; retenham nutrientes, algas e outras plantas; desempenhem papel importante na dispersão de sal e fitoplâncton, entre outras funções. (Truccolo, 2009).

Dada a importância desses ecossistemas, conhecer a circulação estuarina se torna essencial para o seu gerenciamento ambiental. Chant (2010) afirma que a maioria das teorias desenvolvidas para descrever a dinâmica da circulação estuarina são dedicadas ao fluxo ao longo do canal tanto em frequências mareais quanto em frequências submareais, mas que nos últimos anos numerosos estudos se concentraram em fluxos secundários e sua importância na dinâmica e dispersão ao longo do canal. Ou seja, é através de fluxos secundários que o material é misturado no canal, tornando essencial o estudo desses fluxos para estimar o caráter importador/exportador de um estuário e o destino desse material ao longo da costa.

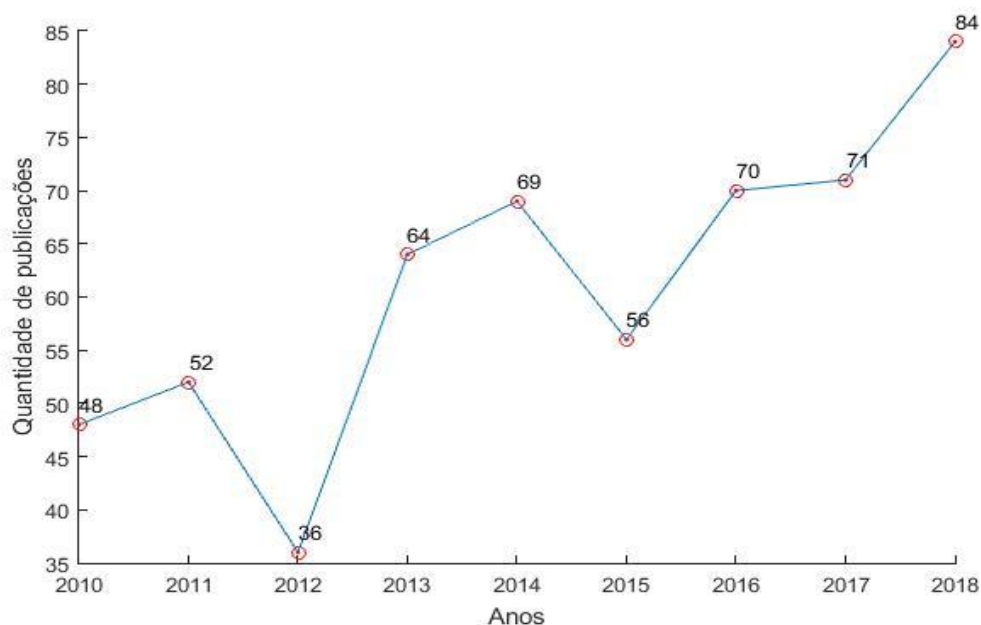
Coletar dados para análise da circulação estuarina era um desafio que foi se tornando cada vez mais possível graças ao avanço tecnológico dos instrumentos de medição. Possibilitando o aumento na quantidade de dados que podem ser coletados em um único campo de forma exponencial. Entre os instrumentos utilizados destacamos o ADCP (do inglês *Acoustic Doppler Current Profiler*), usado na medição da velocidade e direção das correntes.

Medições de descarga que usam efeito *Doppler* começaram a ser testadas na década de 1960. E com uma sucessão de tentativas, ora sem sucesso, ora com sucesso parcial, a técnica foi aprimorando-se até serem comercializados os primeiros ADCPs. No Brasil, o

primeiro ADCP foi trazido pela RD Intruments para demonstração em 1992 e em 1994 o Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica- DNAEE, atual Agência Nacional de Energia Elétrica- Aneel com parceria da atual IRD (*Institut de Recherche Pour le Développement*) da França no contexto do projeto HiBam (Hidrologia da Bacia Amazônica) compra um aparelho, dando início as primeiras medições com estes instrumentos no país (Gamaro, 2012).

Hoje é um dos principais instrumentos de medição de correntes e independente do objetivo do estudo o processamento de seus dados não deve limitar-se à manipulação dos mesmos apenas nos *softwares* de seus fabricantes. Uma rápida pesquisa feita na base Scopus selecionando trabalhos restringidos pelas palavras: *estuary*, *circulation* e ADCP, retornou mais de 600 publicações mostrando o quanto são utilizados. A Figura 1 mostra o crescimento da quantidade de publicações entre os anos de 2010 e 2018 com base na pesquisa feita na base Scopus.

Figura 1: Evolução do número de publicações que usa o ADCP como instrumento de medição.



Fonte: O autor.

Na oceanografia, muitos estudos são publicados usando como ferramenta de processamento de dados os próprios *softwares* fornecidos pelo fabricante dos equipamentos

utilizados em campo. Nesse caso, o processamento limita-se a avaliações dos erros e qualidade dos dados não levando em conta fatores como normalização, por exemplo. Este trabalho, tem o objetivo de descrever o processamento de dados de ADCP móvel em ambiente computacional para análise da variabilidade lateral de fluxo.

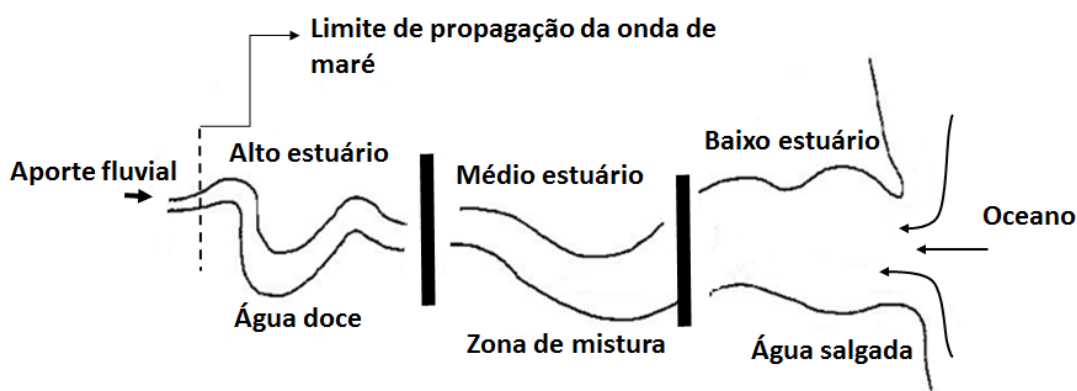
2 EMBASAMENTO TEÓRICO

A seguir é apresentado uma breve descrição do ambiente estuarino.

2.1 ESTUÁRIOS

A palavra estuário deriva da palavra latina *aestus*, que significa maré, revelando seu caráter dinâmico. Achar uma definição genérica para eles é difícil, dada a sua distribuição global e a diversidade de processos e formas que eles podem assumir. A definição mais clássica é a de Cameron e Pritchard (1963 *apud* Valle-Levinson 2010), que apresenta estuário como: corpos de água costeiros, semifechados, com livre conexão com o oceano, onde a água do mar é mensuravelmente diluída pelo aporte continental. Embora amplamente aceita, essa definição não engloba o fato de que a livre conexão com o mar permite a propagação da onda de maré, conhecida como co-oscilação da maré. Fairbridge (1980 *apud* Silva 2000) propõe uma definição incluindo a co-oscilação da maré, para ele, estuário é uma reentrância de mar num vale fluvial estendendo-se até o limite da propagação da maré. A partir dessa definição o estuário pode ser dividido em três regiões, Figura 2, onde o baixo estuário se caracteriza pela livre conexão como o mar, o médio estuário onde ocorre a mistura intensa entre água doce e salgada e o alto estuário onde há apenas a influência do aporte continental e da maré.

Figura 2: Divisão do estuário em três regiões: Alto estuário, Médio estuário e Baixo estuário.



Fonte: O autor.

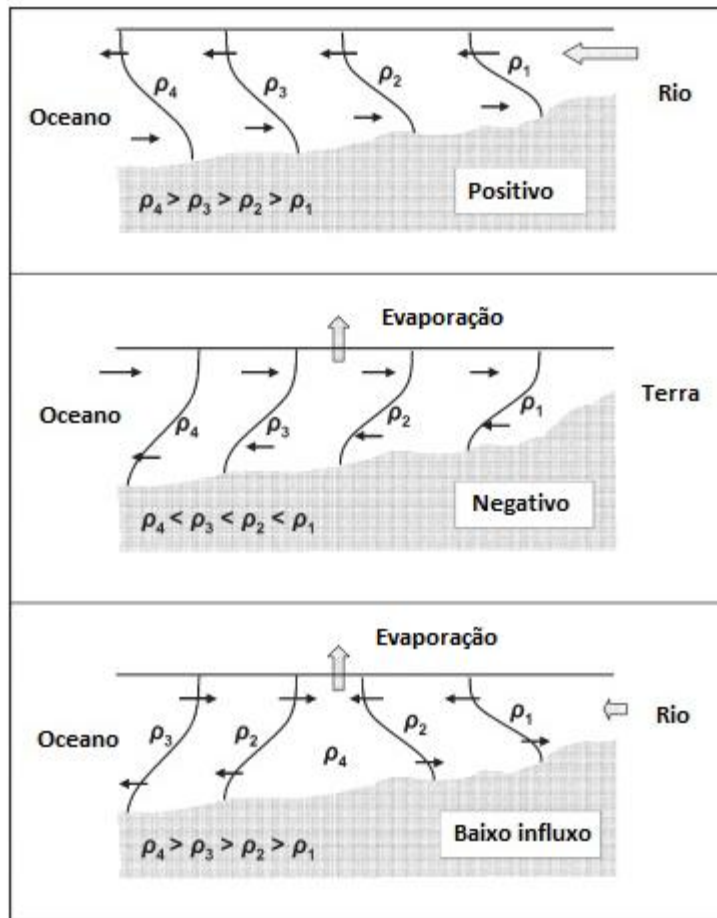
Se o aporte fluvial que chega ao estuário é suficiente para competir com o volume de água que entra no estuário a cada ciclo de maré então essa adição de água doce estabelece gradientes longitudinais de densidade. A circulação induzida pela adição de água doce ao sistema é conhecida como circulação estuarina ou gravitacional. Nos estuários clássicos o

aporte continental é o principal impulsionador da circulação gravitacional (Valle-Levinson, 2010). Além da definição clássica, estuários podem ser definidos com base nas classificações quanto ao balanço hídrico, geomorfologia e estratificação da coluna d'água apresentado por Valle-Levinson (2010).

2.2 DEFINIÇÃO QUANTO AO BALANÇO HÍDRICO

Com respeito ao balanço hídrico, os estuários podem ser classificados em três tipos: positivos, negativos e de baixo influxo, Figura 3. Estuário positivo é aquele que a entrada de água doce (seja por chuva, aporte fluvial ou degelo) excede a evaporação ou congelamento. Com isso, o gradiente longitudinal de densidade cresce em direção ao oceano, acarretando numa saída de volume líquido para o oceano. Estuários negativos (ou inversos) ocorrem em regiões áridas onde o aporte fluvial é de baixa expressão ou onde a perda de água por evaporação excede a precipitação, acarretando num gradiente longitudinal de densidade que cresce em direção ao continente. São mais propensos a apresentarem problemas de qualidade da água que os estuários positivos pois as perdas de água causadas pelo processo de evaporação tornam seu fluxo mais lento. Estuários de baixo influxo também ocorrem em regiões onde há altas taxa de evaporação, porém com uma influência pequena, da ordem de poucos metros cúbicos da descarga do rio. Durante o período seco os processos de evaporação podem formar uma região de alta salinidade que funciona como uma barreira que impede a descarga de águas continentais em direção ao mar e intrusão de águas oceânicas em direção ao continente (Valle-Levinson, 2010).

Figura 3: Tipos de estuários com base no balanço hídrico.



Fonte: Vale-Levinson, 2010.

2.3 DEFINIÇÃO QUANTO À GEOMORFOLOGIA

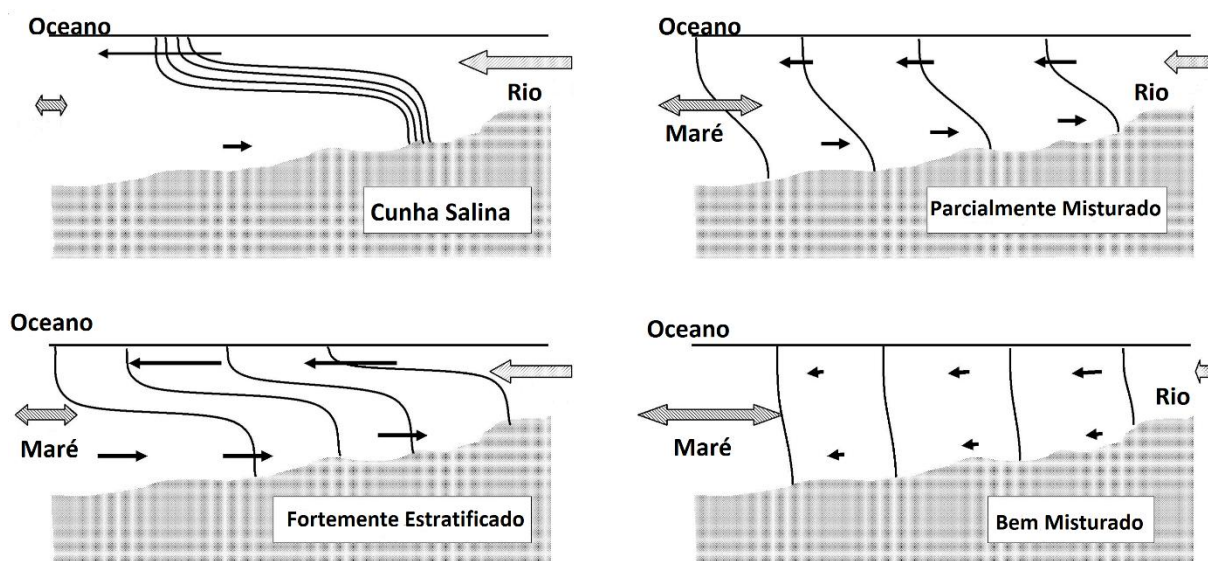
Quanto a sua geomorfologia, os estuários foram agrupados em quatro tipos: planície costeira, fiorde, barra e outras morfologias no trabalho desenvolvido por Pritchard (1952 *apud* Miranda *et.al.*, 2012). Neste texto apenas os três primeiros são brevemente apresentados. Planície Costeira: Típicos de regiões de planície costeira, foram formados durante a transgressão do mar no Holoceno. Sua topografia é muito semelhante a do rio e sua forma é afunilada aumentando da direção do oceano. A razão largura/profundidade é grande e a configuração da seção geométrica tem a forma de V. De forma geral estão localizados em regiões tropicais e subtropicais. Fiorde: São ambientes localizados em altas latitudes, formaram-se em regiões que durante o Pleistoceno estavam cobertas com calotas de gelo. A

pressão exercida por essas calotas sobre os blocos continentais e os efeitos erosivos durante o descongelamento aprofundaram os vales dos rios primitivos e deixaram um alto fundo rochoso no contato com o mar, denominado soleira. Por serem profundos e as trocas com o oceano estarem limitadas pela soleira a circulação estuarina fica restrita a uma camada rasa. Barra: São estuários também formados com a inundação de vales primitivos que apresentam uma barra de sedimentos no contato com o mar. Geralmente são formados em regiões tropicais e os rios que alimentam esse tipo de estuário apresentam descarga fluvial variável durante o ano, o que pode acarretar em alterações sazonais na geometria da entrada (Miranda *et.al.*, 2012).

2.4 DEFINIÇÃO QUANTO À ESTRUTURA VERTICAL DE SAL

Em termos de estratificação da coluna de água os estuários podem ser classificados em: cunha salina; fortemente estratificado; parcialmente misturado e bem misturado. Esta classificação considera o balanço entre as forçantes: descarga fluvial e capacidade de mistura da maré, como se elas competissem. A capacidade de mistura da maré (“força” de mistura da maré) é proporcional ao volume de água que entra no estuário a cada ciclo, conhecido como prisma de maré. Uma forte descarga fluvial associada a uma “força” de maré fraca gera um perfil vertical fortemente estratificado conhecido como cunha salina, com acentuadas picnoclinas. A água salgada é empurrada para fora do estuário induzindo uma circulação em duas camadas, onde o mar intrusiona o estuário em forma de cunha, daí o nome cunha salina. Uma pequena variação entre a descarga fluvial e força de maré já é suficiente para que as isohalinas se mostrem um pouco mais separadas, o que caracteriza um sistema fortemente estratificado. Em contraste a esses sistemas existem aqueles que apresentam uma descarga fluvial fraca associada a uma força de maré forte que homogeneíza a coluna de água. Os perfis verticais desse tipo de estuário são praticamente uniforme, sendo classificados como verticalmente homogêneo. Uma moderada força de maré com uma moderada ou fraca descarga fluvial exibe um perfil vertical onde as picnoclinas são levemente inclinadas. A mistura entre águas continentais e oceânicas é mais intensa nesse tipo de estuário. A Figura 4 mostra o perfil vertical para cada tipo de estuário (Valle-Levinson, 2010).

Figura 4: Estrutura vertical de sal para os possíveis tipos de circulação.



Fonte: Valle-Levinson, 2010.

Existem ainda definições que tentam englobar todas as características dos estuários levando em conta: a biota que nele vive, o processo geológico que deu origem e o limite da maré. Independente da definição que uma determinada área adote sempre haverá exceções, mas uma característica comum a todos eles é a circulação gravitacional (Truccolo, 2009). Neste trabalho assume-se a definição composta pelas definições Cameron e Pritchard, e Fairbridge de que estuário é um corpo hídrico costeiro, semifechado, com conexão livre com o mar, onde a água salgada é mensuravelmente diluída pelo aporte continental e limitados até onde a propagação da maré pode alcançar. Em sua maioria a extensão excede a profundidade e em escala temporal os processos podem variar de segundos, horas, dias, meses à anos causados por diferentes fatores.

Até o momento foi exposta apenas a circulação estuarina com respeito aos gradientes longitudinais de densidade. No entanto, é através de fluxos secundários que ocorre mistura no canal estuarino e sua análise se torna importante para estimar a natureza dispersiva de um estuário. Fluxo secundário é aquele que é normal ao fluxo principal ao longo do canal. Normalmente a força do fluxo secundário é $< 10\%$ da força dos fluxos ao longo do canal. São controlados por quatro mecanismos principais: Forçante de Ekman, que representa o equilíbrio dinâmico entre o atrito e a aceleração de Coriolis; A curvatura do fluxo; Os gradientes de

pressão baroclínicos transversais ao canal que surgem da advecção diferencial do gradiente de densidade longitudinal e ao forçamento de fluxos secundários por camadas de fronteira difusas. A circulação lateral modela a morfologia do canal e frequentemente produz canais que são lateralmente assimétricos ao redor do eixo do canal (Chant, 2010).

3 CONHECENDO O ADCP

ADCP (do inglês *Acoustic Doppler Current Profiler*) é um perfilador acústico que mede a direção e velocidade de correntes através da emissão de ondas sonoras de alta frequência e, pelo efeito Doppler, registra o sinal de retorno refletido por partículas em suspensão (sedimentos e plâncton), embora diferenças de densidade da água também possam ser detectadas e sirvam de alvo. A hipótese por trás desse método é que as partículas em suspensão deslocam-se na mesma velocidade que a água. (Emery e Thomson, 2001); (ANA, 2012) e (Möller Jr e Abe, 2011). Para entender o funcionamento do ADCP precisamos estar familiarizados com dois conceitos, são eles: ondas sonoras e efeito Doppler.

3.1 SOBRE ONDAS

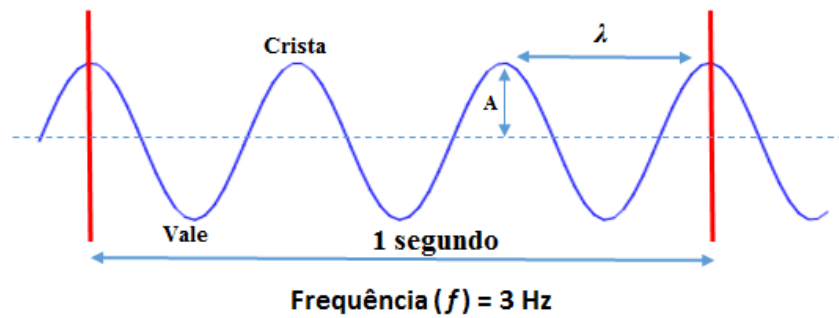
Ondas podem ser definidas como o fenômeno físico no qual uma oscilação se propaga podendo transportar energia, momento e informação sem transportar matéria (Halliday e Resnick, 2010) e (Nussenzveig, 2002). São classificadas em três tipos principais:

1. Ondas mecânicas: Necessitam de um meio material para se propagar. Como exemplo podemos citar as ondas do mar, as ondas sonoras e as ondas sísmicas;
2. Ondas eletromagnéticas: Não necessitam de um meio material para se propagar. Como exemplo podemos citar a luz, as ondas de rádio, raios X e micro-ondas;
3. Ondas de matéria: Associadas a elétrons, prótons e outras partículas elementares.

Quanto ao modo de propagação podem ser classificadas em ondas transversais, quando se propagam perpendicularmente à oscilação de alguma característica ou elemento de matéria e em ondas longitudinais quando se deslocam paralelamente à vibração das moléculas do meio de propagação.

Três parâmetros básicos as caracterizam: frequência, amplitude e comprimento de onda. Mostrados na Figura 5. Sendo: frequência o número de oscilações por segundo, a amplitude metade da altura da onda e comprimento de onda (λ) a distância entre duas cristas ou dois vales na forma da onda.

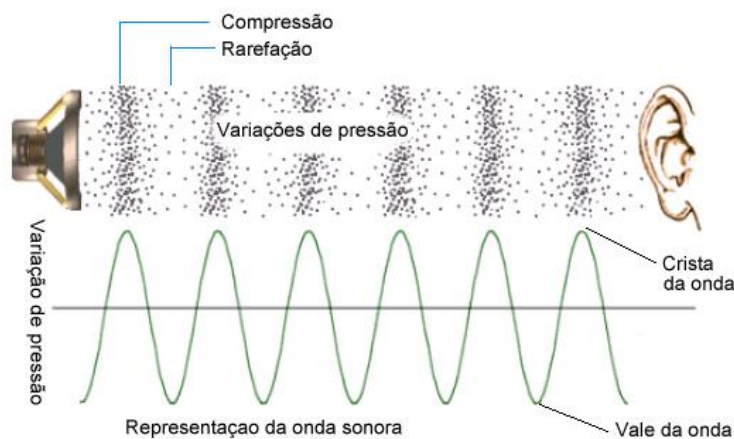
Figura 5: Forma genérica de onda onde destaca-se: crista, vale, comprimento de onda (λ), amplitude (A) e frequência.



Fonte: O autor.

Ondas sonoras são ondas de pressão que se propagam de forma longitudinal na água, ar ou sólidos (RD Instruments, 2011). Consistem em regiões de alta e baixa pressão que se propagam na mesma direção em que a onda se desloca, como mostra a Figura 6.

Figura 6: Áreas de compressão e rarefação correspondem às cristas e vales respectivamente na forma de onda.



Fonte: <http://www.fq.pt/som/propagacao-do-som>

3.2 O EFEITO DOPPLER

O efeito Doppler foi proposto (embora não rigorosamente provado na época) em 1842 pelo físico austríaco Johann Christian Doppler. É observado não apenas para ondas sonoras, mas também para ondas eletromagnéticas em várias bandas do espectro, como micro-ondas, ondas de rádio e luz visível. Tem aplicações em vários campos da ciência, tais como: em geodésia global, técnicas navegacionais de Doppler (no ar ou no espaço), radar Doppler como auxiliar na previsão meteorológica, na medicina como sonógrafo Doppler para medição de fluxo sanguíneo, em astronomia na descoberta de gases interestelares, catalogação de centenas de milhares de galáxias pelo famoso “desvio para o vermelho” e etc. (Schuster, P. M., 2007) e (Halliday e Resnick, 2010). Na oceanografia, é usado na medição de correntes fornecendo magnitude e direção da velocidade.

Pode ser definido como mudança observada na frequência de uma onda devido ao movimento relativo entre fonte e detector usando como referencial o meio em que a onda se propaga (Halliday e Resnick, 2010), a mudança de frequência é proporcional à velocidade com que a distância entre fonte e detector aumenta ou diminui. A Equação 1 mostra os parâmetros necessários para que seja calculado e a Figura 7 ilustra como ocorre com uma onda sonora se propagando no ar. Perceba que a frequência detectada para o observador B é maior que a frequência detectada para o observador A devido ao movimento de aproximação da fonte em relação ao observador B.

Equação 1: Equação geral do efeito Doppler.

$$f = f' \frac{v \pm v_D}{v \pm v_F} \quad (1)$$

Onde:

$f \rightarrow$ Frequência detectada;

$f' \rightarrow$ Frequência emitida;

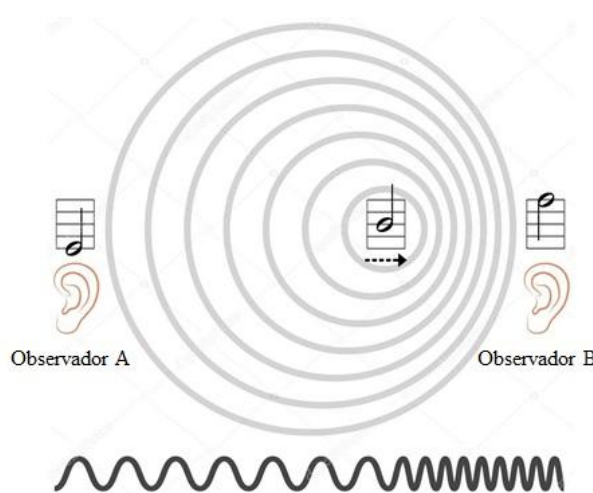
$v \rightarrow$ Velocidade do som em relação ao meio de propagação da onda;

$v_D \rightarrow$ Velocidade do detector em relação ao meio de propagação da onda;

$v_F \rightarrow$ Velocidade do som em relação ao meio de propagação da onda.

Os sinais de positivo ou negativo na Equação 1 dependerão do movimento de aproximação ou afastamento da fonte e do detector.

Figura 7: Ilustração do efeito Doppler pelo movimento da fonte em relação aos observadores.

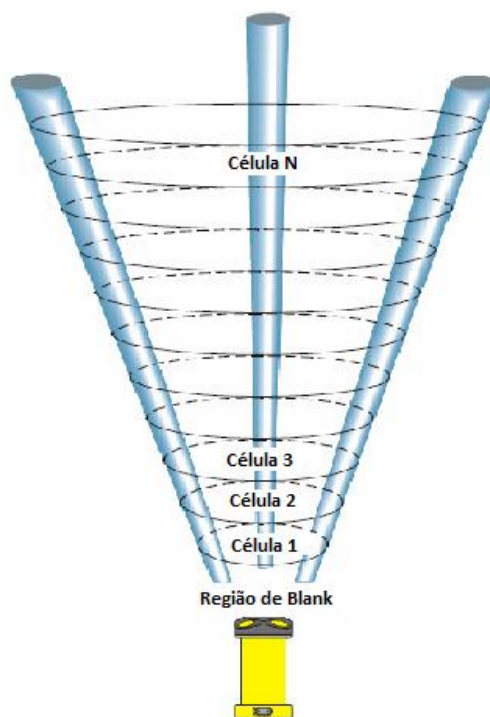


Fonte: <https://br.depositphotos.com/29842553/stock-illustration-doppler-effect.html>

3.3 FUNCIONAMENTO DO ADCP

O ADCP funciona emitindo pulsos sonoros (*pings*) na água através de transdutores de cerâmica em uma frequência fixa e, devido ao efeito Doppler, registra uma ligeira mudança na frequência, que é proporcional à velocidade com que as partículas se aproximam ou se afastam do aparelho. Essa ligeira diferença na frequência é usada para calcular a velocidade em intervalos de medição denominados células, cujo tamanho depende da profundidade do local e é determinado pelo operador do aparelho na hora de configurar o instrumento (Möller Jr e Abe, 2011), Figura 8.

Figura 8: Células de medição para um ADCP com três feixes.



Fonte: Sontek, 2000.

A distância denominada blank na Figura 8 é necessária porque o mesmo transdutor utilizado para transmitir o pulso também é usado para receber o “eco” depois da transmissão, sendo necessário que se passe um curto período de tempo antes que o recebimento seja possível. A velocidade é medida nas três dimensões. Para isso o ADCP assume que as correntes são uniformes (homogêneas) através das camadas de profundidade constante e utiliza múltiplos feixes acústicos apontados em diferentes direções, Figura 8, permitindo a detecção das diferentes componentes de velocidade. Um feixe é necessário para cada componente (RDI, 2011).

Nem toda área na seção transversal que é varrida pelo ADCP é de fato uma área efetiva de medição. Devido à pouca profundidade próxima às margens, e um pouco acima do fundo (6% da distância para o fundo a partir dos transdutores) o ADCP não fornece dados de qualidade. Por isso, essa área deve ser descartada a fim de que não haja interferência nas medições de velocidade como mostra a Figura 9.

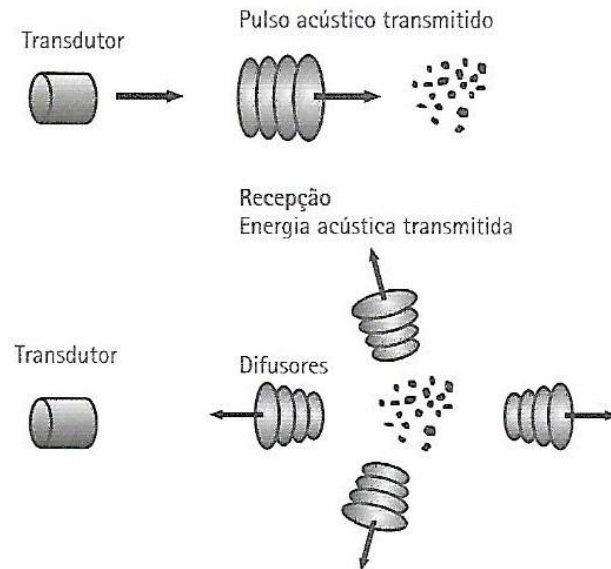
Figura 9: Área efetiva de medição.



Fonte Gamaro, 2012.

Quando o ADCP emite um pulso sonoro o efeito Doppler é percebido devido às partículas que estão em suspensão na água. Na verdade as ondas sonoras ao encontrarem essas partículas são espalhadas em todas as direções e apenas parte do eco é retornado para o transdutor, Figura 10.

Figura 10: Colisão do pulso sonoro com as partículas em suspensão e retransmissão para o transdutor.



Fonte: Simpson, 2001.

Por isso, algumas modificações na Equação 1 precisam ser feitas levando em conta o meio aquoso e o fato de que apenas a velocidade radial é medida, isto é, a velocidade de aproximação ou afastamento. Para o ADCP, o Doppler medido é o som deslocado pela dispersão posterior das partículas da água, como se as partículas dispersas fossem uma nova fonte sonora. Portanto, há um duplo efeito Doppler, entre o transdutor e a partícula, e outro entre a partícula e o transdutor (Grison, 2008). A Equação 2 mostra as adaptações feitas.

Equação 2: Equação do efeito Doppler adaptada.

$$F_D = 2F_S \left(\frac{V}{c} \right) \cos \theta \quad (2)$$

Onde:

$F_D \rightarrow$ É a diferença de frequência (Hz);

$F_S \rightarrow$ É a frequência transmitida de uma fonte (Hz);

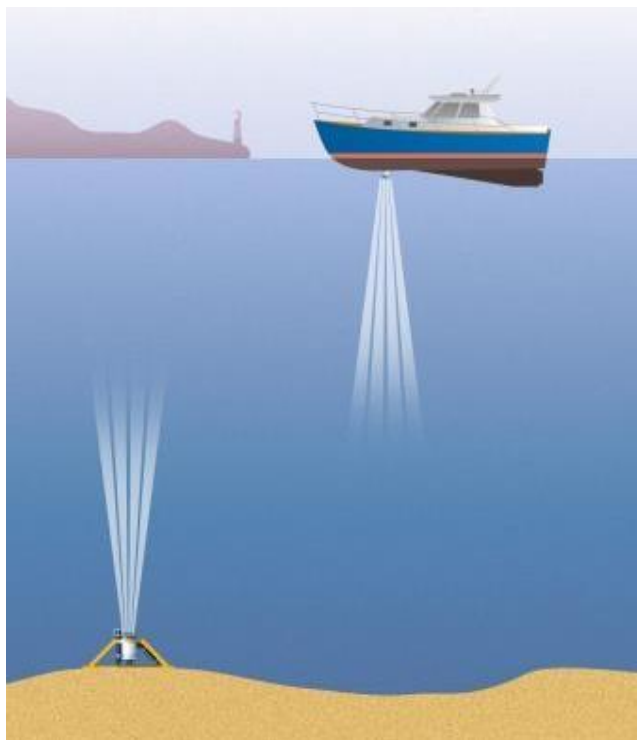
$V \rightarrow$ Velocidade relativa entre fonte e objeto (m/s);

$C \rightarrow$ Velocidade do som na água (m/s).

A partir de 1991 a RDI optou por utilizar o método *broadband* (banda larga) em seus aparelhos. Isso significa que, em termos de funcionamento, o que é medido pelo efeito Doppler não é a frequência e sim o tempo que o eco demora para retornar ao aparelho, representado pela mudança de fase no sinal, conhecido como dilatação do tempo. O princípio de dilatação do tempo pode ser entendido como: o tempo de viagem necessário para que o som atinja uma partícula e retorne para o transdutor. Um atraso de viagem ou um atraso de propagação significa que houve deslocamento. Embora os métodos de medição usem abordagens diferentes são matematicamente equivalentes (Gamaro, 2012) e (RDI, 2011). O ADCP também é dotado de um sistema rastreador de fundo (*bottom tracking*) que permite que o fundo seja usado como referência de velocidade, a velocidade do ADCP sobre o solo é subtraída da velocidade relativa medida para fornecer a verdadeira velocidade.

Podem ser instalados de maneira estática ou dinâmica e os produtos que fornecem dependem do modo de instalação. Estático: quando é instalado em pilares de pontes, paredões, margens de rio, lagos, canais, ou ainda fundeados, ou seja, quando o aparelho “fica parado” realizando medições, os produtos são séries temporais de nível (sensor de pressão), velocidade e direção de correntes em vários níveis de medição (células); Dinâmico quando é instalado no casco ou lateral de embarcações, ou inserido em flutuadores e rebocado, os produtos são perfis verticais, transversais ou horizontais de velocidade de correntes (Möller Jr e Abe, 2011), a Figura 11 mostra os dois modos em que o ADCP pode operar. O alcance máximo dos pulsos depende da frequência de som emitido, que pode variar entre 75 KHz até 3 MHz. Quanto maior a frequência, menor o alcance do aparelho.

Figura 11: Formas de instalação do ADCP. Fixo, fundeado; e móvel fixado à embarcação.

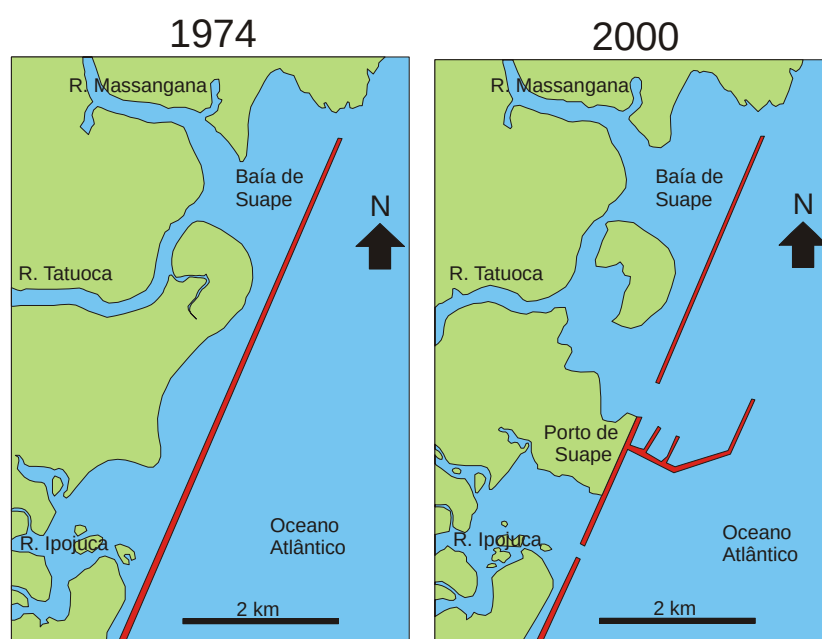


Fonte: NOAA, 2017, *apud* Salles, 2017.

4 ÁREA DE ESTUDO

O sistema estuarino-lagunar de Suape (SELS) está localizado no litoral Sul do estado de Pernambuco, na divisa entre os municípios de Ipojuca e Cabo de Santo Agostinho, cerca de 40 km ao sul de Recife (8.33° S e 34.96° W). Foi bastante alterado para instalação do complexo estuarino industrial de Suape, idealizado durante a década de 1970 como alternativa para complementar a demanda do Porto de Recife e minimizar os impactos devido ao transporte e manipulação de derivados de petróleo e produtos químicos no centro da região metropolitana de Recife (Sales, 2017). Antes das alterações o sistema consistia numa laguna costeira orientada paralelamente à costa, separada do mar aberto por um recife arenítico com abertura ao norte onde ocorriam as trocas entre o sistema e o mar. Recebia o aporte fluvial dos rios Massangana, Tatuóca, Ipojuca e Merepe. Para implantação do complexo industrial diversas intervenções na morfologia ocorreram alterando toda a fisiografia da Baía de Suape. Como aterros, dragagens e construção de quebra-mares. A porção sul foi isolada, uma abertura foi feita para dar vazão aos Rios Ipojuca e Merepe, outra abertura mais ao norte também foi feita para dar acesso ao porto. A Figura 12 mostra a configuração do sistema antes e depois das alterações.

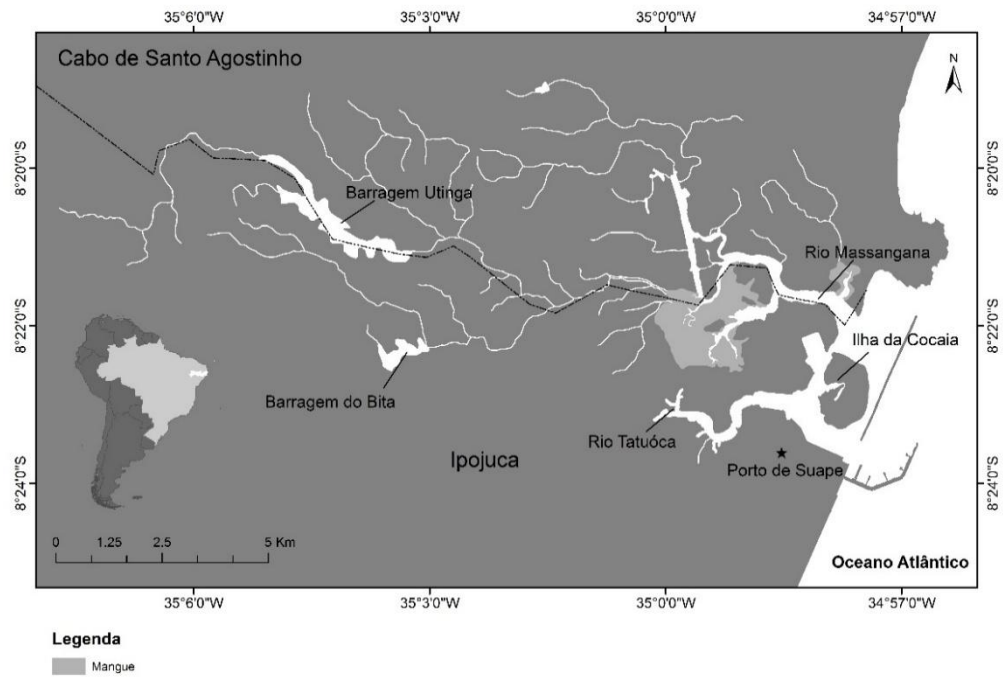
Figura 12: Situação do complexo estuarino-lagunar de Suape em 1974 e 2000, indicando as alterações morfológicas decorrentes a implantação do complexo industrial-portuário.



Fonte: Acervo pessoal do orientador (Carlos Augusto F. Schettini).

Atualmente recebe o aporte fluvial dos rios Massangana e Tatuóca. O Rio Massangana tem como formadores os rios Tabatinga e Utinga de Baixo, ambos com nascentes no município de Ipojuca. No primeiro situa-se a Barragem do Bitá e, no segundo, a Barragem Utinga, mananciais integrantes do sistema de abastecimento hídrico do Complexo Industrial Portuário de Suape, deságua ao sul do promontório do Santo Agostinho onde encontra o Tatuoca (CPRH, 1999), Figura 13. Recebe o aporte de uma bacia de drenagem de 160 Km² (Zanardi-Lamardo *et. al.*, 2018) e sua profundidade pode passar de 6 metros. No que se refere à climatologia, a temperatura média anual é em torno de 27°C e a pluviosidade aproximada de 2000mm/ano, distribuídos de modo desigual entre duas estações bem definidas, os períodos seco e chuvoso. A estação seca estende-se desde setembro a março, quando a precipitação média mensal é menor de 60 mm e a taxa de evaporação excede a precipitação. A estação chuvosa se estende de abril a agosto, quando o balanço hídrico é fortemente positivo. Predominam os ventos de leste e sudeste. Os ambientes encontrados nas adjacências compreendem manguezais, praias arenosas, recifes, prados de gramas marinhas, entre outros. As marés registradas na região são semidiurnas, sendo classificadas em termos de amplitude como mesomarés, cuja altura média é em torno de 2 m na sizígia e de 0,7 m na quadratura. As ondas respondem bem ao regime de ventos e a corrente costeira tem direção preferencial para norte (GOV. PE *apud* Araújo, 2005) e (Suape, 2017).

Figura 13: Rede de drenagem que desagua no Rio Massangana.



Fonte: O autor.

5 METODOLOGIA

Foi executado um campo no dia 25 de Novembro de 2014, no sistema estuarino lagunar de Suape, Figura 14. Nesta data foi realizado um experimento para levantamento de dados oceanográficos através de observações lagrangeanas. O experimento foi desenhado para avaliar variações intramareaais de correntes, salinidade, temperatura, oxigênio dissolvido (OD) e clorofila-a (Cl-a) (doravante denominados de STTOC) através do acompanhamento destas variáveis ao longo de um ciclo de maré (~ 13 horas), iniciando às 5:00 horas da manhã e encerrando às 18:00 horas da noite.

Uma seção transversal localizada próximo à desembocadura do Rio Massangana foi monitorada durante 12,5 horas. Dados de descarga líquida, velocidade e direção de correntes foram registrados com ADCP, modelo WorkHorse 1200 kHz (RDI-TELEDYNE), com capacidade de rastreamento de fundo, fixado à embarcação, operando através da seção transversal realizando transectos a cada meia hora. O equipamento foi programado para coletar em 60 células de medição de 25 cm, numa frequência de aproximadamente 2 Hz.

Além do ADCP móvel foram fundeados dois ADCPs, um em cada canal que liga a Lagoa de Suape ao porto, (#E e #W, na Figura 14), coletando nível da água, velocidade e direção de correntes. Os ADCPs são do modelo Aquadopp Profiler (Nortek) de 1.000 kHz e foram programados para registrar dados em intervalos de 10 minutos, em que cada valor representa a média de 2 minutos a uma taxa de amostragem de 2 Hz.

Dados de STTOC foram registrados com uma sonda tipo CTD de registro rápido, modelo Rinko Profiler (JFE-ADVANTECH), programada para coletar em intervalos de 10 cm da superfície até o fundo, em três pontos (próximo às margens e centro). Os perfis de CTD foram realizados em intervalos de 30 minutos. A Tabela 2 resume as informações básicas dos três aparelhos.

Tabela 1: Resumo das informações básicas dos instrumentos.

Instrumento	Fabricante	Modelo	Taxa de Amostragem	Resolução Vertical
CTD	JFE-ADVANTECH	Rinko Profiler	10 Hz	0,1 m
ADCP (Móvel)	RDI-TELEDYNE	WorkHorse	2 Hz	0,25 m
ADCP (Fixo)	Nortek	Aquadopp Profiler	2 Hz	0,25 m

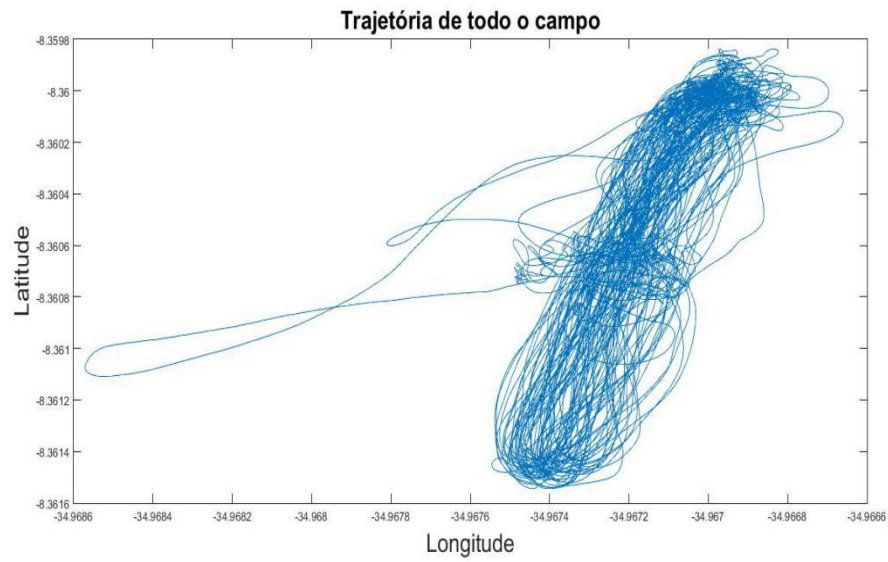
Fonte: O autor.

Figura 14: Localização e pontos de coleta da área de estudo.



Fonte: Google Earth (marcações da autora).

Figura 15: Trajetória da embarcação durante o campo mostrando que as seções transversais não coincidem.

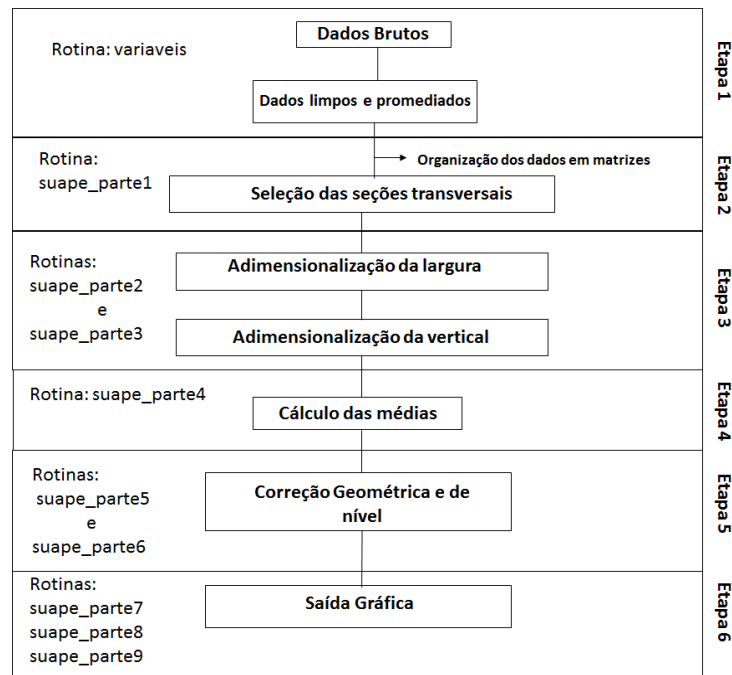


Fonte: O autor.

6 PROCESSAMENTO DOS DADOS

O monitoramento de fluxos de água em canais estuarinos é geralmente feito pela repetição de transectos ao longo de uma seção transversal pré-definida. Todavia, devido a problemas associados a navegação os perfis raramente coincidem espacialmente (Genz *et. al.*, 2010), Figura 15. Para contornar essa situação seis rotinas foram desenvolvidas para processar os dados de acordo com o fluxograma da Figura 16. Em síntese, as rotinas limpam, organizam, selecionam os transectos, adimensionalizam (largura e profundidade), calculam as médias das velocidades, redimensionam (largura e profundidade) e três fornecem os gráficos. A seguir cada etapa do fluxograma é detalhada.

Figura 16: Fluxograma do processamento de dados.



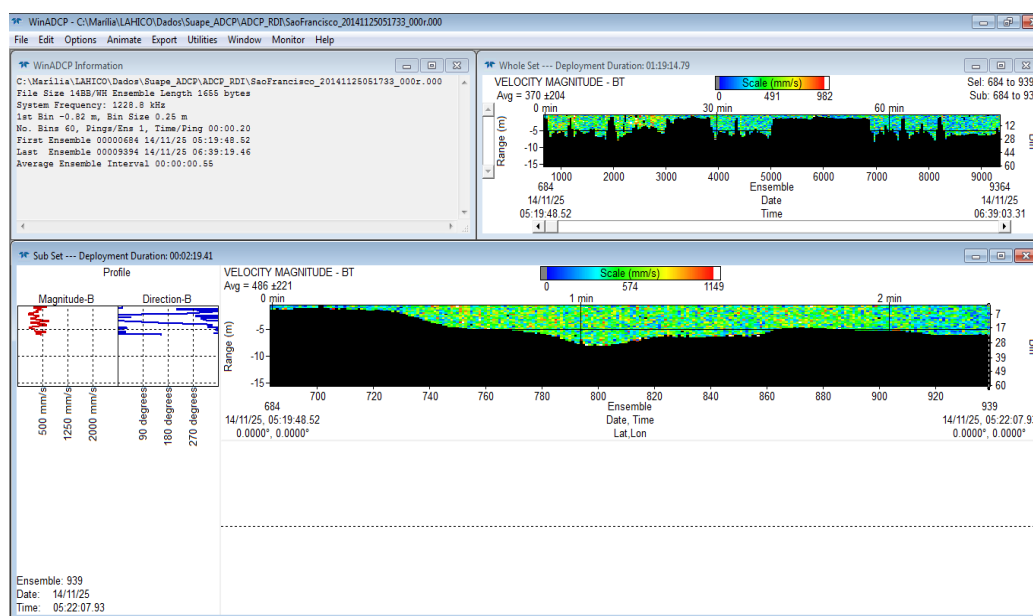
Fonte: O autor.

6.1 PRÉ-PROCESSAMENTO

Após o campo os dados foram descarregados usando o WinRiver, *software* próprio do fabricante. No entanto, o WinADCP *software* também do fabricante, porém mais antigo, foi usado para visualização prévia, conversão para formato ASCII e exportação na extensão *.mat*. A interface do programa apresenta três janelas principais, Figura 17, onde é possível visualizar:

- A configuração com que o aparelho coletou os dados;
- Magnitude da velocidade de todo o arquivo;
- Animação da magnitude e direção do perfil, juntamente com a animação da magnitude da velocidade.

Figura 17: Interface principal do WinADCP. Fonte: O autor.



Fonte: O autor.

Os dados são exportados em uma *struct*, isto é, uma coleção de campos referenciados pelo mesmo nome, permitindo que informações relacionadas mantenham-se juntas. As Tabelas 2 e 3 mostram a configuração do aparelho para a coleta e os dados que foram exportados, respectivamente. No decorrer do processamento as unidades de tempo, profundidade e as componentes 'u' e 'v' da velocidade foram convertidos para horas e décimos de horas, metro e metro por segundo respectivamente.

Tabela 3: Configuração do aparelho

Configuração do Hardware	
Tamanho das células	0.25 m
Frequência	1228.8 KHz
Time/ping	0.20 s
Average ensemble interval	0.55 s
Blank	0.82 m
Número de células	60

Fonte: O autor.

Tabela 4: Dados exportados e suas respectivas unidades.

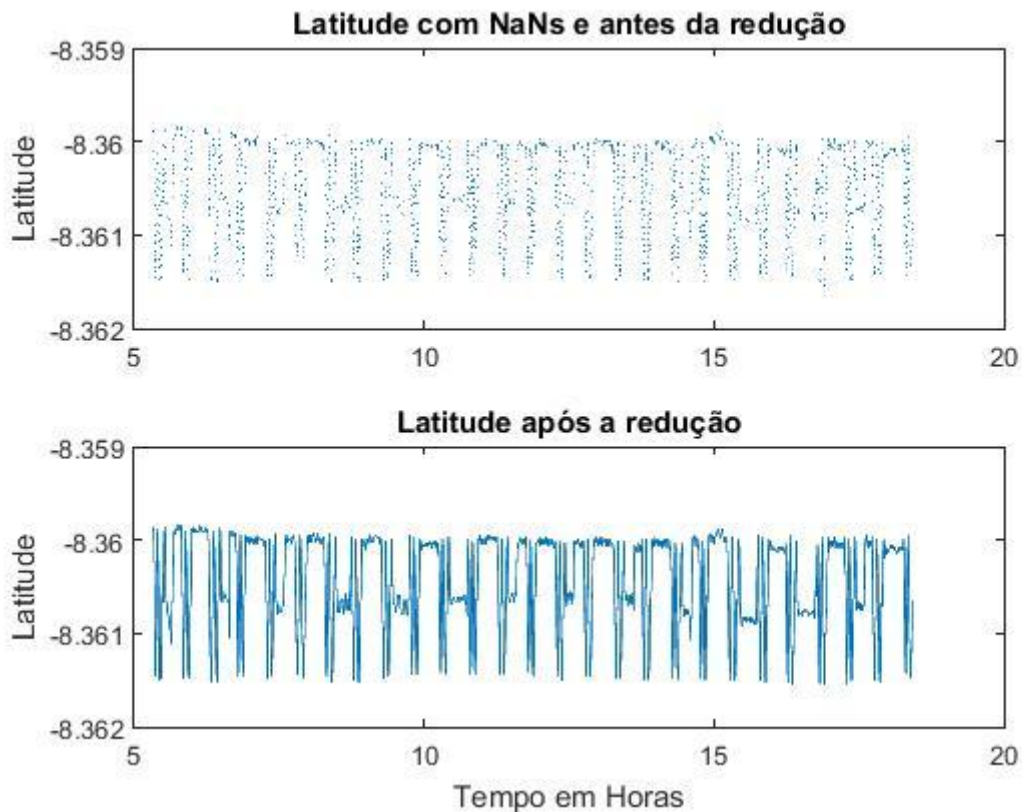
Dado	Unidade
Latitude/Longitude	Grau
Tempo	Hora, minuto, segundo, centésimo de segundo
Velocidade 'u' e 'v'	mm/s
Direção da velocidade	Graus decimais
Magnitude da velocidade	mm/s
Amplitude do eco	dB
Profundidade	Cm

Fonte: O autor.

6.2 PROCESSAMENTO - ETAPA 1

A etapa de limpeza e organização está destacada no fluxograma como Rotina ‘variaveis’. A redução dos dados é feita substituindo valores de *flag* (aqueles que o aparelho sinaliza um erro) pelo parâmetro conhecido como NaN (*Not a Number*), dessa forma o programa trata esses dados como resultado de uma operação matemática indefinida não interferindo no processamento. A promediação no espaço e no tempo foi necessária porque o aparelho foi programado para coletar dados mais rápido que o GPS, Figura 18. A saída dessa rotina é uma variável que contém os valores médios de latitude, longitude, profundidade e velocidade nas componentes ‘u’ e ‘v’. A redução dos dados é necessária para tornar os dados homogêneos, minimizando os erros.

Figura 18: Latitude antes e após redução e homogeneização.



Fonte: O autor.

6.3 PROCESSAMENTO - ETAPA 2

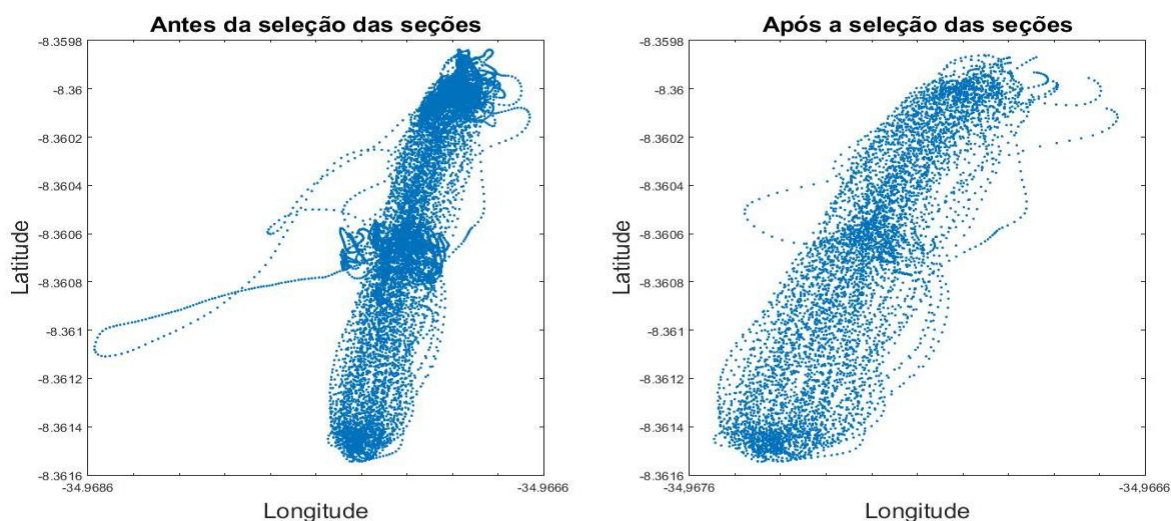
Em 13 horas de campo foram realizados 107 transectos, que foram separados manualmente através da inspeção visual. Cada seção transversal foi definida e os dados de localização, tempo e profundidade de cada uma foram armazenados numa matriz. A estrutura dessa matriz está representada na Figura 19. Essa matriz armazena apenas dados válidos, isto é, apenas dados que fazem parte de alguma seção transversal. A Figura 20 mostra o antes e depois da seleção dos transectos. A diminuição na densidade de pontos é notável!

Figura 19: Estrutura da matriz com as seções transversais separadas.

Latitude	Longitude	Tempo	Profundidade	
				Seção 1
				Seção 2
				...
				Seção 107

Fonte: O autor.

Figura 20: Redução para dados válidos feita através da seleção das seções transversais.

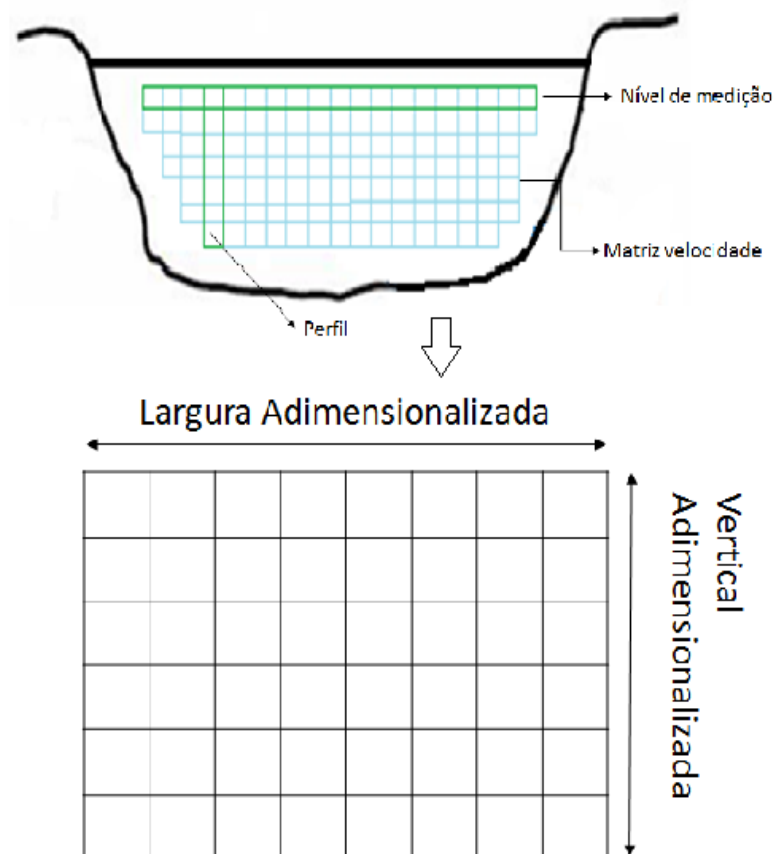


Fonte: O autor.

6.4 PROCESSAMENTO - ETAPA 3

Sabemos que os transectos dificilmente coincidem um com o outro, além disso a largura da seção varrida pelo ADCP pode variar entre um transecto e outro e conseqüentemente a profundidade também. Cada transecto tem uma matriz velocidade associada e para que as médias das velocidades sejam feitas o ambiente computacional exige que tanto largura como profundidade de todos eles sejam iguais, Figura 21. Para uniformizar todas as seções precisamos adimensionalizar tanto a largura como a profundidade, ou seja, precisamos deformar o espaço para que tanto largura quanto profundidade varie entre 0 e 1 a despeito das diferenças de largura e quantidade de nível que cada perfil e transecto tenha.

Figura 21: A adimensionalização uniformiza as seções.

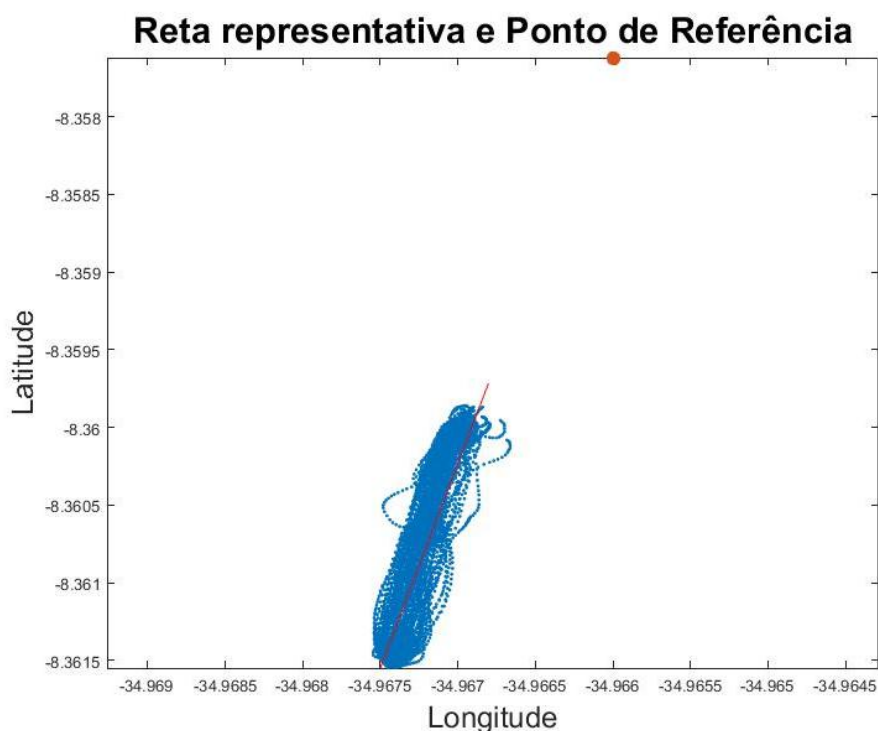


Fonte: O autor.

6.4.1 Adimensionalização da Largura

A adimensionalização da largura é feita usando o método dos mínimos quadrados para a determinação de uma reta representativa de toda a nuvem de pontos em relação a um ponto de referência fora da nuvem, Figura 22. Então, é calculada a distância de cada ponto da nuvem em relação a esse ponto de referência. Os valores de distância são adicionados à matriz de dados que fica com a configuração mostrada na Figura 23. A adimensionalização foi feita separando a distância dos pontos de cada seção, subtraindo de cada ponto da seção a distância mínima em relação ao ponto de referência, obtendo um novo vetor a partir dessa subtração e por fim dividindo o tamanho desse novo vetor pelo máximo do tamanho dele. Os valores de distância adimensionalizados ficam entre 0 e 1. A rotina `suape_parte2` é que descreve essa parte do processamento. A saída dessa rotina é a matriz de dados mostrada na Figura x.

Figura 22: Ponto de referência e reta representativa da nuvem de pontos.



Fonte: O autor.

Figura 23: Nova configuração da matriz de dados.

Latitude	Longitude	Tempo	Profundidade	Distância	
					Seção 1
					Seção 2
					...
					Seção 107

Fonte: O autor.

6.4.2. Adimensionalização da Profundidade

A adimensionalização da profundidade é na verdade a adimensionalização dos níveis de medição. Cada seção transversal tem uma matriz velocidade associada e nessa matriz dados velocidade é fornecido como valor válido e NaNs completando 60 níveis de medição. O que o processo de adimensionalização da profundidade faz é criar um vetor com dez níveis de medição entre 0 e 1 e interpola os valores de velocidade para esses dez níveis. Essa parte do processamento é descrita na rotina `suape_parte3` e a saída são matrizes velocidade nas componentes 'u' e 'v' para dez níveis de medição.

6.5 CÁLCULO DAS MÉDIAS

Agora que dispomos de matrizes uniformes, precisamos calcular médias laterais de velocidade. Isto é, devemos dividir a largura em intervalos regulares e calcular médias de velocidade dentro desses intervalos. Esse passo é processado na rotina `suape_parte4` e a saída dessa rotina são matrizes velocidade das componentes 'u' e 'v' com dimensão 10 x 10.

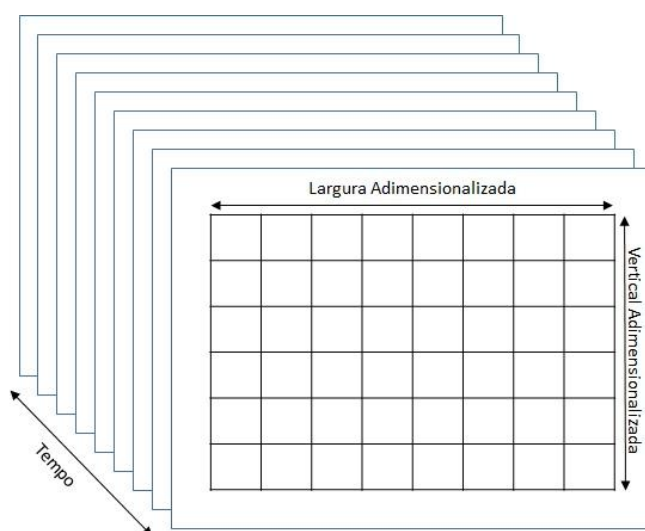
6.6 CORREÇÃO GEOMÉTRICA E DE NÍVEL – ETAPA 5

6.6.1 Redimensionamento da Espacial

O objetivo de uniformizar as seções em intervalos regulares tanto de largura como de profundidade é o cálculo das médias. Sendo necessário redimensionar para devolver ao

dado as devidas proporções de largura e profundidade. A rotina `suape_parte5` processa esse passo. Nessa rotina além da redimensionalização, uma matriz multidimensional é criada para a extração de seções temporais, isto é, fixado um ponto podemos obter a evolução temporal da velocidade durante todo o campo. A Figura 24 mostra a estrutura da matriz multidimensional.

Figura 24: Estrutura da matriz multidimensional.

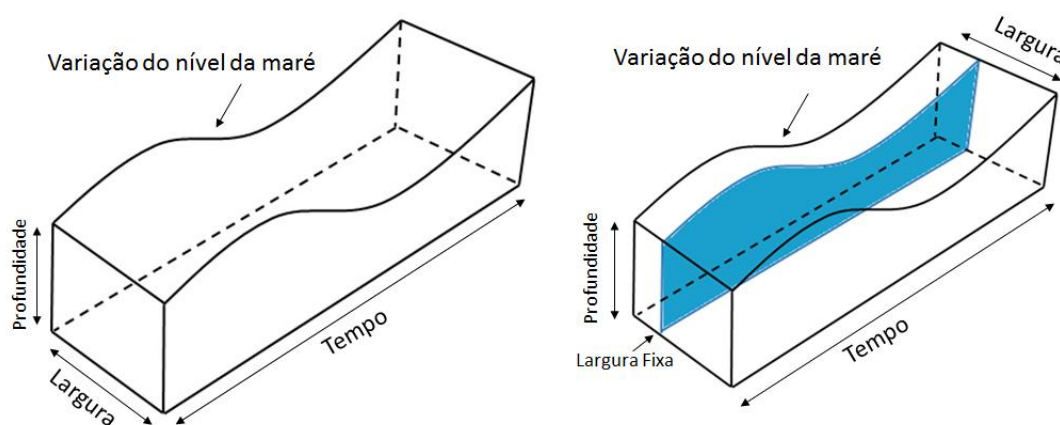


Fonte: O autor

6.6.2 Correção Geométrica de Nível

Dados de nível do ADCP fixo fundeado no canal oeste (#W) foram carregados e interpolados para a quantidade das seções transversais feitas. Cada seção foi coletada em um momento específico e por isso cada uma delas tem um valor de nível diferente que deve ser incorporada à “forma” do dado. Com a incorporação dos dados de nível agora podemos fixar um ponto e observar a evolução temporal da velocidade nas componentes ‘u’ e ‘v’. A Figura 25 mostra a visualização espacial dos dados após a inserção dos dados de nível e como visualizamos os dados fixando um ponto.

Figura 25: Visualização espacial da matriz multidimensional com dados de nível e fixação de um ponto para observarmos a evolução temporal.

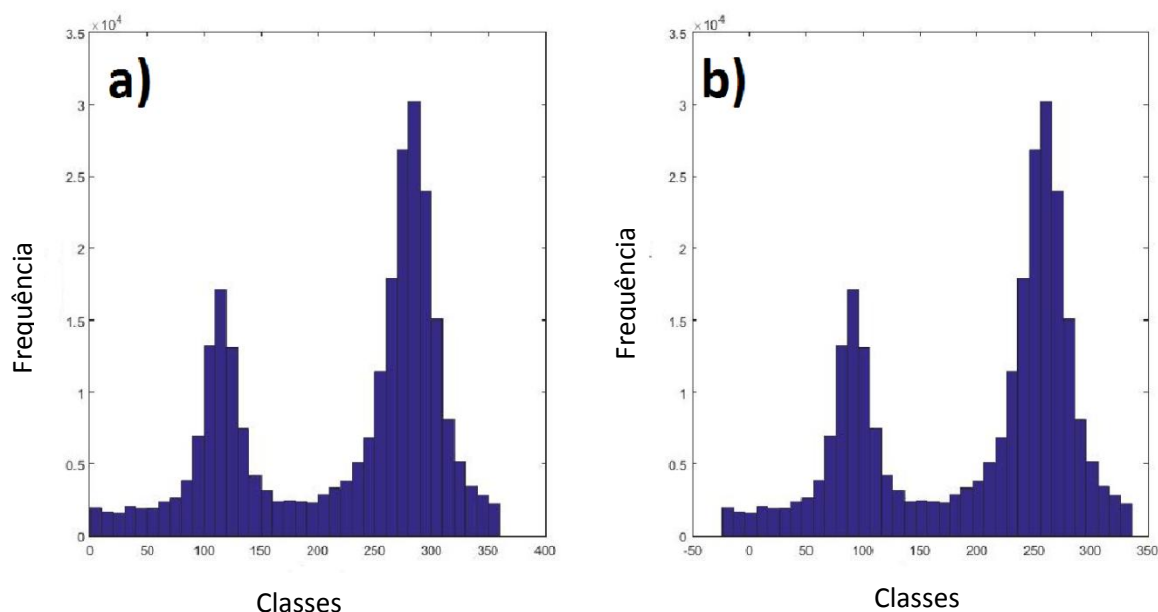


Fonte: O autor.

6.7 UMA OBSERVAÇÃO SOBRE ROTAÇÃO DE VETORES

O ADCP registra as velocidades em relação ao Norte geográfico ou outro sistema de coordenadas previamente estabelecido. Por isso, muitas vezes é preciso rotacionar os dados, pois em um estuário as velocidades são divididas em velocidade transversal e longitudinal ao canal. As matrizes velocidade u e v na rotina variáveis são convertidas do sistema cartesiano para o sistema polar. Pela visualização do histograma para os ângulos mais frequentes vemos uma curva bimodal onde a subtração das modas é um pouco mais que de 180° . Isso significa que em um certo momento as correntes estão predominantemente fluindo em um sentido do estuário, e após um tempo, predominantemente fluindo em sentido contrário refletindo as condições de enchente e vazante ao longo de um ciclo de maré. Fazendo com que um dos picos coincida com algum eixo (representado pelos ângulos: 0° , 90° , 180° e 270°) estamos concentrando a energia de uma das componentes da velocidade sobre um dos eixos e dessa forma a rotação está concluída. Do sistema polar as correntes são reconvertidas para o sistema cartesiano. A Figura 26 mostra os histogramas antes depois da rotação.

Figura 26: Histogramas da direção da velocidade, a) antes da rotação; b) depois da rotação.



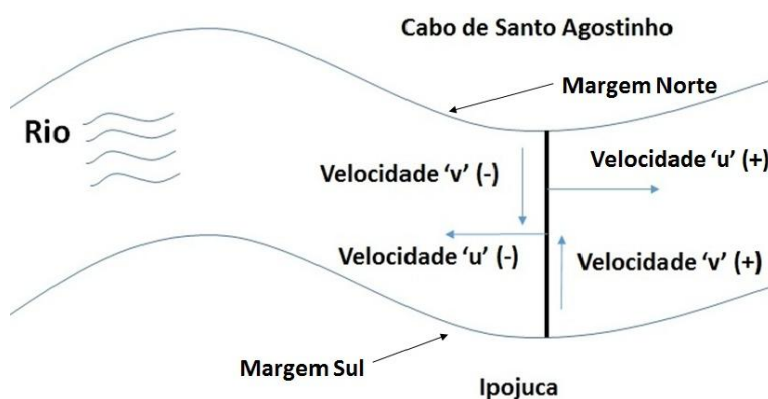
Fonte: O autor.

Subtraindo-se 15 graus nos dados de direção, fazendo com que a moda mais representativa coincida com o eixo Leste-Oeste e processando os dados seguindo as etapas do fluxograma da Figura 16, a componente 'v' (transversal ao canal) não apresentou o comportamento esperado. O que será mostrado nos resultados assim como todas as saídas gráficas desse processamento.

7 RESULTADOS

Os sentidos positivo e negativo das componentes ‘u’ e ‘v’ estão representados na Figura 27. O Rio Massangana é limitante natural das cidades de Ipojuca e Cabo de Santo Agostinho. A margem sul do rio está na cidade de Ipojuca, enquanto a margem norte na cidade do Cabo. Doravante a discussão usará essa terminologia: margem sul e margem norte como referencial. Com correntes no sentido positivo de sul para norte para componente ‘v’ e sentido estuário-laguna para componente ‘u’. Em sentido negativo de norte para sul para componente ‘v’ e laguna-estuário para componente ‘u’.

Figura 27: Representação esquemática dos sentidos das correntes no Rio Massangana.



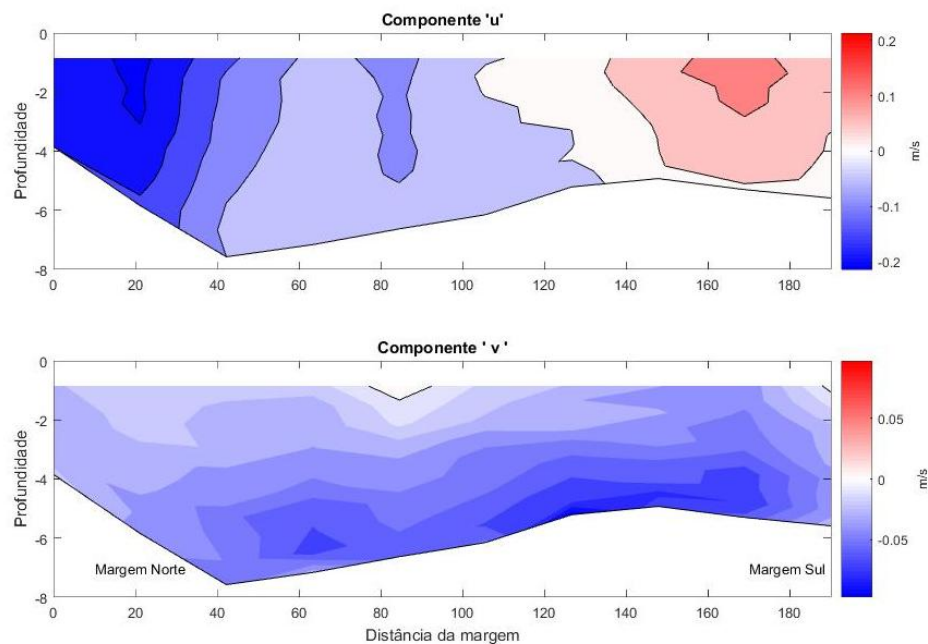
Fonte: O autor.

A rotação de vetores não favoreceu a visualização do fluxo ao longo da seção transversal para a componente ‘v’ como mostra a Figura 28. Nela o fluxo está predominantemente em um único sentido o que por conservação de massa é possível, a rotação não mascara o comportamento esperado da componente ‘u’. A Figura 29 mostra as velocidades residuais para as componentes ‘u’ e ‘v’ da velocidade sem a rotação. A componente ‘u’ apresenta variabilidade lateral com fluxo residual de vazante ~ 0.21 m/s e fluxo residual de enchente de ~ 0.11 m/s, ocupando toda a coluna de água. Enquanto a componente ‘v’ apresenta fluxo residual de vazante ~ 0.09 m/s com sentido da margem norte para a margem sul e de

enchente de ~ 0.04 m/s com sentido da margem sul para a margem norte. Na Figura 29, para dados rotacionados, o mesmo padrão de 'u' se repete, mas muda para 'v'.

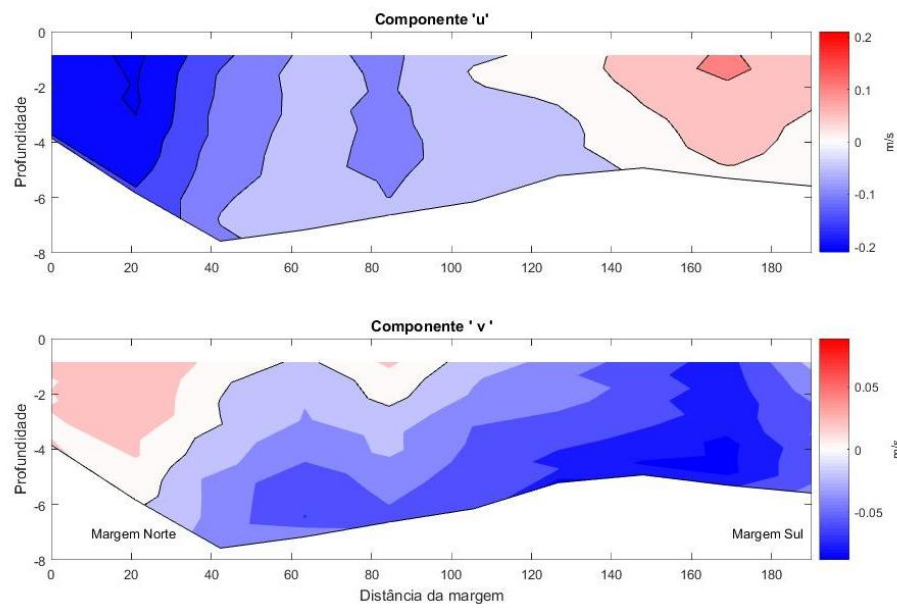
Com base na caracterização da área feita por Zanardi-Lamardo *et. al.* (2018), que identifica estrutura vertical homogênea e que existe transporte residual de hidrocarbonetos, clorofila e oxigênio dissolvido para o estuário do Rio Massangana e um padrão oposto de transporte residual de salinidade e MPS (material particulado em suspensão) no sentido da laguna. A entrada residual de clorofila, oxigênio e hidrocarbonetos ocorre preferencialmente pela margem norte, enquanto a saída de sal e MPS ocorre pela margem sul.

Figura 28: Gráfico das velocidades residuais nas componentes 'u' e 'v' rotacionadas.



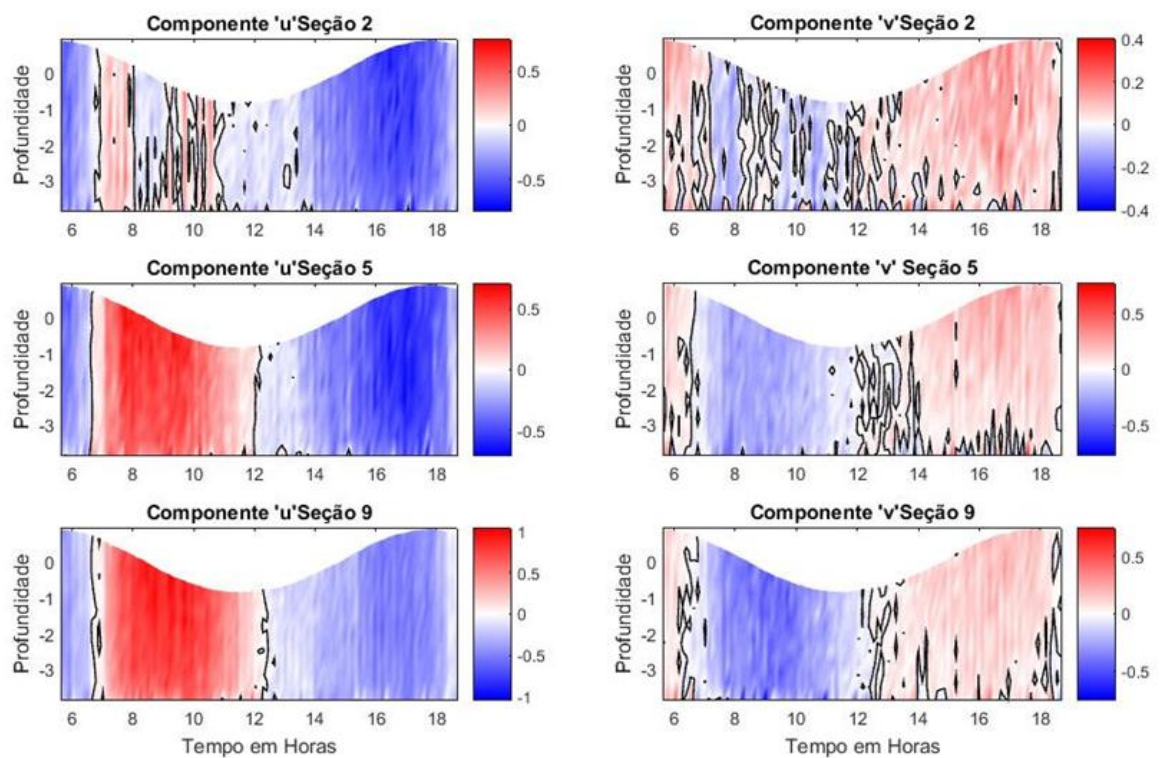
Fonte: O autor.

Figura 29: Gráfico das velocidades residuais nas componentes 'u' e 'v' não rotacionadas.



Fonte: O autor.

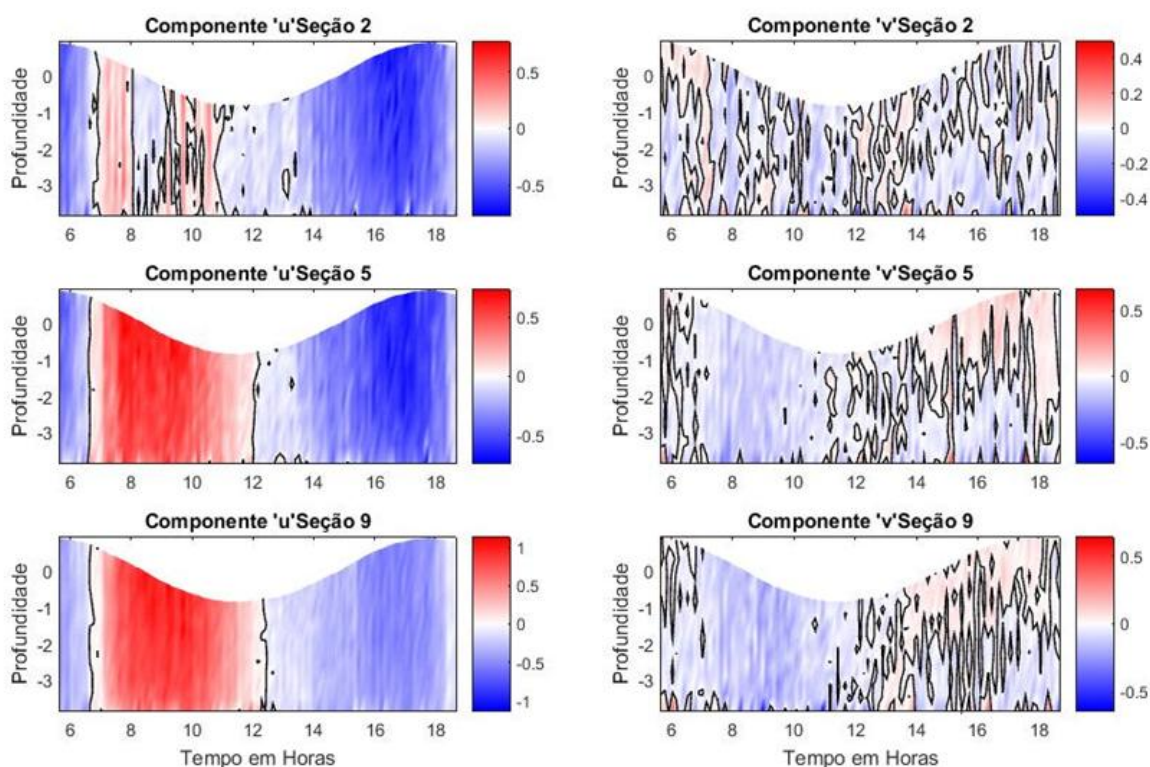
Figura 30: Evolução temporal da velocidade em três pontos diferentes com dados não rotacionados.



Fonte: O autor.

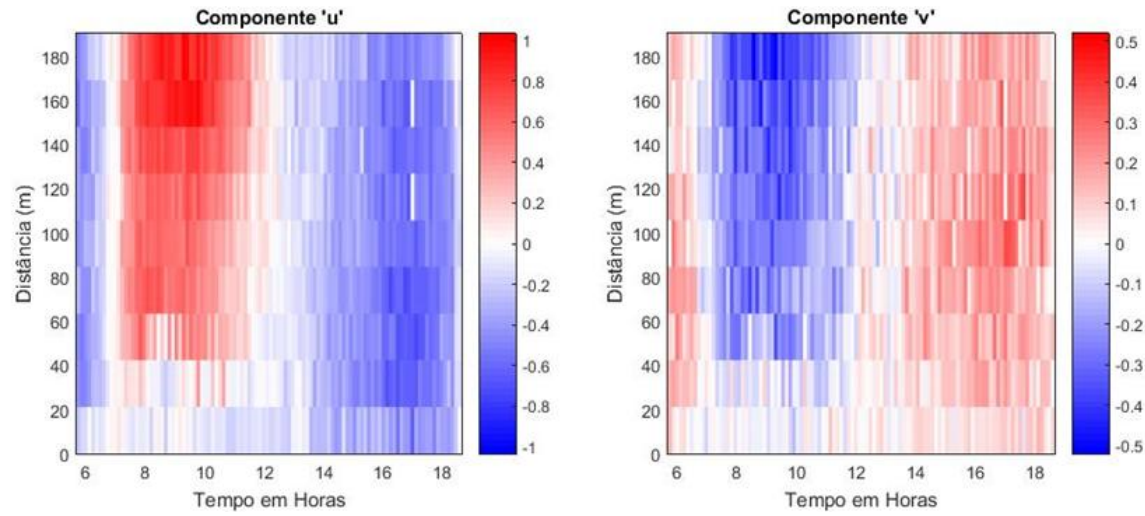
As Figuras 30 e 31 mostram a evolução temporal das componentes de velocidade ‘u’ e ‘v’ para dados não rotacionados e rotacionados, respectivamente. Comparando os gráficos das duas figuras vemos um padrão claro de entrada e saída de fluxo nas seções 5 e 9 para a componente ‘u’ independente da rotação. Para a componente ‘v’ o padrão de inversão da velocidade é mais visível no gráfico com dados não rotacionados, enquanto com dados rotacionados mostra que o padrão de circulação é mais limitado a uma profundidade de cerca 2 m. Se observarmos “de cima” isto é, como as velocidades ‘u’ e ‘v’ variaram na seção transversal ao longo do tempo podemos ver que do ponto tomado como zero até 40 metros de distância não há fluxo residual tanto para ‘u’ como para ‘v’ na vazante e há na enchente para componente ‘u’. As Figuras 32 e 33 mostram como a seção transversal variou ao longo do tempo para dados não rotacionados e rotacionados, respectivamente.

Figura 31: Evolução temporal da velocidade em três pontos diferentes com dados rotacionados.



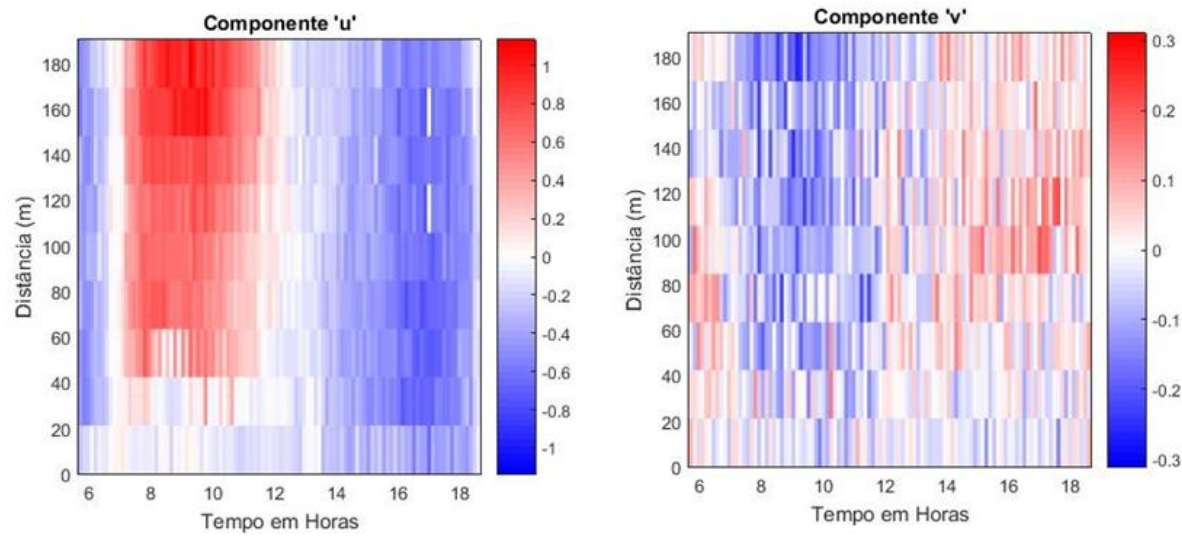
Fonte: O autor.

Figura 32: Vista de topo de como a seção transversal varia ao longo do tempo para dados não rotacionados.



Fonte: O autor.

Figura 33: Vista de topo de como a seção transversal varia ao longo do tempo para dados rotacionados.



Fonte: O autor.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- a) Dado não é informação em si. A transformação do dado em informação depende de um processamento adequado, que não deve limitar-se aos *softwares* disponibilizados pelos fabricantes;
- b) O uso do ADCP como instrumento de medição exige que o tratamento dos dados seja feito em ambiente computacional adequado, capaz de manipular grandes quantidades de números;
- c) A rotação de vetores revelou um padrão de circulação não esperado para a componente 'v', mostrando um fluxo unidirecional quando o esperado seria um fluxo bidirecional;
- d) Pela caracterização prévia da área de estudo feita por Zanardi-Lamardo *et. al.* (2018) sabemos que existe transporte residual de hidrocarbonetos, clorofila e oxigênio dissolvido para o estuário do Rio Massangana e um padrão oposto de transporte residual de salinidade e MPS (material particulado em suspensão) no sentido da laguna. E pelos gráficos das Figuras 28 e 29 podemos inferir que a entrada residual de clorofila, oxigênio e hidrocarbonetos ocorre preferencialmente pela margem norte, enquanto a saída de sal e MPS ocorre preferencialmente pela margem sul;
- e) O gráfico de evolução temporal da velocidade para dados rotacionados apresentado na Figura 31, mostra que a componente 'v' da velocidade inverte de direção na mudança da vazante para enchente a uma profundidade em torno de dois metros. Para uma melhor descrição do comportamento se faz necessário uma série temporal maior;
- f) Se observarmos “de cima” isto é, como as velocidades 'u' e 'v' variaram na seção transversal ao longo do tempo podemos ver que do ponto tomado como zero até 40 metros de distância não há fluxo residual tanto para 'u' como para 'v' na vazante e há na enchente para componente 'u'.

REFERÊNCIAS

- ANA, **Medição de vazão pelo método acústico Doppler (ADCP) – Básico**. Apostila. 2012, p. 67.
- ARAUJO, Moacyr; LHERITIER, David; SILVA, Marcus André; LUNA, Marco César; MEDEIROS, Carmen. Tidal Turbulence and Eddy-Viscosity in Coastal Waters at Northeastern Brazil. **Journal of Coastal Research**. v.21, n.1, p. 18-27, jan, 2005.
- CHANT, Robert J. Estuarine secondary circulation. *In*: VALLE-LEVINSON, Arnoldo (Org.). **Contemporary Issues in Estuarine Physics**. Cambridge University Press, 2010, p. 100– 124.
- CPRH. **Diagnóstico Socioambiental, Litoral Sul de Pernambuco**. 89p, Maio 1999.
- EMERY, W.J. & THOMNSON, R.E. **Data Analysis Methods in Physical Oceanography**. 1. ed. New York, Pergamon, p. 634, 1997.
- GAMARO, Paulo Everardo. **Medidores Acústicos Doppler de Vazão**. 1. ed. Foz do Iguaçu, Itaipu Binacional, 2012.
- GARRISON, Tom. **Fundamentos de Oceanografia**. 4. ed. São Paulo, Cengage Learning, 2010.
- GENZ, Fernando; CIRANO, Mauro e LESSA, Guilherme Camargo. ProcED: A MATLAB Package For Processing ADCP Estuarine Data. **Revista Brasileira de Geofísica**. v.28, n.2, p. 183-192, 2010.
- GRISON, F. **Uso do ADCP como Ferramenta de Apoio no Traçado e Extrapolação de Curva-Chave na Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão do Norte**. Monografia. Universidade Federal de Santa Catarina. 60p., 2008.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert e WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física: gravitação, ondas e termodinâmica**. 9. ed. Editora LTC, 2009.
- MIRANDA, Luiz B.; CASTRO, BRLMIRO M. & KJERFVE, Björn. **Princípios de Oceanografia Física de estuários**. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, 2002.

MÖLLER JR, Osmar e ABE, Marcos Paulo. Oceanografia Física. *In: CALAZANS, Danilo(Org.). Estudos oceanográficos: do instrumental ao prático*. Pelotas: Editora Textos, 2011. p. 108 – 128.

NUSSENZVEIG, H. Moysés. **Curso de Física Básica 2: Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor**. 4. ed. Editora Edgard Blücher, p. 324, 2002.

RDI, Teledyne. **Acoustic Doppler Current Profiler Principles of Operation A Practical Primer**. p. 62, 2011.

SALES, A. M. **Estudo do Regime de Correntes no Canal de Acesso ao Porto de Suape, Pernambuco, Brasil**. Monografia. Universidade Federal de Pernambuco. 59 p., 2017.

SCHUSTER, Peter M. Revolucionário e ainda assim desconhecido! **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 29, n. 3, p. 465-470, 2007.

SILVA, Margarida Cardoso. Estuários – Critério para uma classificação ambiental. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.5, n.1, p. 25-35, jan/mar, 2000.

SIMPSON, M. R. **Discharge Measurement Using a Broad-Band Acoustic Doppler Current**. United States Geological Survey – USGS, Open-file , Report 01- 1, p. 123, 2001.

SONTEK. **Acoustic Doppler Profiler**. Technical Documentation, 2000.

TRUCCOLO, E. C. **Hidrodinâmica em frequência mareal e submareal do Rio Itajaí-Açu, SC**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 204 p, 2009.

VALLE-LEVINSON, Arnaldo. **Definition and classification of estuaries**. *In: VALLE-LEVINSON, Arnaldo (Org.). Contemporary Issues in Estuarine Physics*. Cambridge University Press, 2010, p. 1 – 11.

ZANARDI-LAMARDO, Eliete; SCHETTINI, Carlos Augusto França; VIEIRA-CAMPOS, Amanda Alves; CABRAL, Carolina Barbosa; SILVA, Marília Sequeira. Intratidal variability and transport of petroleum aromatic hydrocarbons in an anthropized tropical estuarine system: the Suape estuary (8.4S 35W). **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 66, n. 1, p. 47-57, 2018.

ANEXOS

Aqui são disponibilizadas as rotinas desenvolvidas durante o processamento para dados rotacionados.

Rotina variáveis:

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
% Marília 2018_10_29
% Rotina que carrega os dados dos dois arquivos do campo de Suape,
% limpa, faz médias e salva em .mat as variáveis que vou usar em outra
% rotina
% Para os dois arquivos de Suape
% Obs.: médias a cada 5 linhas de lat, long, tempo, 'u' e 'v'.
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

clear
clc

% Carregando os dados:
% Nestes arquivos foram salvos todos os bins (células), velocidade 'u'
% e 'v', direção, magnitude, média dos beams, média da amplitude, pro-
% fundidade, BT depth, lat/long usando o programa WinADCP

suape1=load ('C:\Rotinas_Matlab\adcp_move1\suape1.mat');
suape2=load ('C:\Rotinas_Matlab\adcp_move1\suape2.mat');

%% Carregando lat e long

% Limpando os dados lat e long;

% A latitude exibe zeros e a longitude exibe o valor de 0.3296...,
% ambos alternando entre um valor de lat/long

% Para suape1

for i=1:length(suape1.AnWRLonDeg)
    for j=1
        if suape1.AnWRLonDeg(i,j)== 0.329589843750000
            suape1.AnWRLonDeg(i,j)= NaN;

            if suape1.AnWRLatDeg(i,j)== 0
                suape1.AnWRLatDeg(i,j)= NaN;
            end
        end
    end
end

end

% Para suape2

```

```

for i=1:length(suape2.AnWRLonDeg)
    for j=1
        if suape2.AnWRLonDeg(i,j) == 0.329589843750000
            suape2.AnWRLonDeg(i,j) = NaN;

            if suape2.AnWRLatDeg(i,j) == 0
                suape2.AnWRLatDeg(i,j) = NaN;
            end
        end
    end
end

lat1=suape1.AnWRLatDeg;
lon1=suape1.AnWRLonDeg;
lat2=suape2.AnWRLatDeg;
lon2=suape2.AnWRLonDeg;
lat=[lat1; lat2];
lon=[lon1; lon2];

%% Carregando e fazendo a média das profundidades

prof_bt1=(suape1.AnBTDepthcmB1+suape1.AnBTDepthcmB2+suape1.AnBTDepthcmB3+suape1.AnBTDepthcmB4)/4;
prof_bt2=(suape2.AnBTDepthcmB1+suape2.AnBTDepthcmB2+suape2.AnBTDepthcmB3+suape2.AnBTDepthcmB4)/4;
prof_bt=[prof_bt1; prof_bt2];

%% tempo... (carregando e fazendo médias)

tempo1=[];
tempo1(:,1)=[suape1.SerYear];
tempo1(:,2)=[suape1.SerMon];
tempo1(:,3)=[suape1.SerDay];
tempo1(:,4)=[suape1.SerHour];
tempo1(:,5)=[suape1.SerMin];
tempo1(:,6)=[suape1.SerSec];
tempo1(:,7)=[suape1.SerHund];
tempo2=[];
tempo2(:,1)=[suape2.SerYear];
tempo2(:,2)=[suape2.SerMon];
tempo2(:,3)=[suape2.SerDay];
tempo2(:,4)=[suape2.SerHour];
tempo2(:,5)=[suape2.SerMin];
tempo2(:,6)=[suape2.SerSec];
tempo2(:,7)=[suape2.SerHund];

time1= tempo1(:,4) + tempo1(:,5)/60 + (tempo1(:,6)+tempo1(:,7)/100)/3600;
time2= tempo2(:,4) + tempo2(:,5)/60 + (tempo2(:,6)+tempo2(:,7)/100)/3600;

time=[time1;time2];

%% Velocidade

u1=suape1.SerEmmpersec;
v1=suape1.SerNmmpersec;
u2=suape2.SerEmmpersec;

```

```

v2=suape2.SerNmmperssec;

% loop para limpar os dados das matrizes velocidades

[a,b]=size(u1);

for i=1:a
    for j=1:b

        if u1(i,j)== -32768
            u1(i,j)=NaN;
        end
        if v1(i,j)== -32768
            v1(i,j)=NaN;
        end
    end
end

[a,b]=size(u2);

for i=1:a
    for j=1:b

        if u2(i,j)== -32768
            u2(i,j)=NaN;
        end
        if v2(i,j)== -32768
            v2(i,j)=NaN;
        end
    end
end

u=[u1;u2];
v=[v1;v2];
% return
%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% O passo seguinte é necessário porque o equipamento foi configurado
% para coletar dados a uma velocidade mais rápida que a taxa de cole-
% ta do GPS.
% Average Ensemble Interval 00:00:00.55
% Loop que faz a média (a cada 5 linhas) da velocidade,
% lat, long, profundidade e tempo:

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

j=1;
for i=1:5:length(lat)-4

    prof_m(j)=-mean(prof_bt(i:i+4))/100;

    lon_m(j)=nanmean(lon(i:i+4));
    lat_m(j)=nanmean(lat(i:i+4));

    u_m(j,:)=nanmean(u(i:i+4,:));
    v_m(j,:)=nanmean(v(i:i+4,:));

```

```

        time_m(j)= time(i+4,1);

        j=j+1;
    end

% return
% Rotação das correntes 'u' e 'v' para longitudinal e transversal ao canal

[li,co]=size(u_m);

for i=1:li

    for j=1:co

        [vel(i,j),dir(i,j)]= converteuv_veldir(u_m(i,j),v_m(i,j));

    end

end

dir2= reshape(dir,li*co,1);
[a,b]=hist(dir2,36);
plot(b,a)
dir3=dir2-15;
hist(dir3,36)


[li,co]=size(u_m);

for i=1:li

    for j=1:co

        [vel(i,j),dir(i,j)]= converteuv_veldir(u_m(i,j),v_m(i,j));
        dir(i,j)=dir(i,j)-15;
        [longitudinal(i,j),transversal(i,j)]=
converteveldir_uv(vel(i,j),dir(i,j));
    end

end

subplot(1,2,1)
hist(dir2,36)
xlabel('classes')
ylabel('Frequência')
subplot(1,2,2)
hist(dir3,36)
xlabel('classes')
ylabel('Frequência')
suptitle('Histogramas antes e após a rotação')


save('dados_m2.mat','lat_m','lon_m','time_m','prof_m','u_m','v_m')
save('rotacionadas2.mat','longitudinal','transversal')

```


Rotina suape_parte1r

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
% Marília 2018_10_29
% Rotina que processa os dados dos dois arquivos do campo de Suape
% carregando as médias da salvas da rotina variaveis.m para gearar
% três matrizes que serão usadas durante o restante do processamento.
% Essa rotina separa e visualiza as seções que foram separadas.
%
% Obs.: médias a cada 5 linhas de prof, lat, long, tempo, 'u' e 'v'.
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

clear
clc

load('c:\Rotinas_Matlab\adcp_movel\suapec\rotacionado\dados_m2.mat');

% Transpondo os vetores latitude, longitude e tempo:
prof_m=prof_m';
y =lat_m';
x =lon_m';
time_m=time_m';

% Compondo matriz que reúne os dados:
% 1 2 3 4
% lon lat tempo prof.

dados=[x y time_m prof_m];
% Vizualização da localização
% plot(x,y)
% xlabel('Longitude')
% ylabel('Latitude')
% title('Trajetória de todo o campo')

%% Plots

% Conferindo deslocamento da embarcação

figure
ani1=animatedline('color','b');
xlabel ('Longitude')
ylabel('Latitude')
title('Caminho percorrido')
axis equal

figure
subplot (2,1,1)
ani2=animatedline('color','r');
xlabel('Tempo (horas)')
ylabel('Longitude')

subplot (2,1,2)

```

```

ani3=animatedline('color','k');
xlabel ('Tempo (horas)')
ylabel ('Latitude')

for i=1:length(dados)

    plot(dados(:,1),dados(:,2),'b')
    hold on
    % plot(dados(i,1),dados(i,2),'.r')
    % addpoints(ani1,dados(i,1),dados(i,2),.)

    % addpoints(ani2,dados(i,3),dados(i,1))
    %
    % addpoints(ani3,dados(i,3),dados(i,2))
    % drawnow limitrate
    b(i)=getframe(gcf);
end

movie2avi(b,'residual_uvr.avi');

return

%% Carregando os índices das extremidades das seções
% Aqui eu usei o ginput para pegar essas extremidades

idx=load('c:\Rotinas_Matlab\adcp_move1\idx.txt');

% clf
% plot(time_m,y)
% hold on
% plot(time_m(idx(:,1)),y(idx(:,1)),'r.')
% plot(time_m(idx(:,2)),y(idx(:,2)),'go')
%
% return

%% Loop que separa os índices com os limites das seções

id=find(dados(:,1));

limites=[];

for i= 1:length(dados)

    for j=1:length(idx)

        if id(i)==idx(j,1)

            limites=[limites; id(i) dados(i,:)];
        end

        if id(i)==idx(j,2)

            limites=[limites; id(i) dados(i,:)];
        end
    end
end

```

```

        end

    end

    secoes=[];
    % Inserindo os índices a matriz dados
    dados=[id dados];

    % Loop que separa as seções
    for i= 1:length(dados)
        for j=1:length(idcx)

            if dados(i,1)>=idx(j,1) & dados(i,1)<=idx(j,2)
                secoes=[secoes; dados(i,:)];
            end

        end

    end

end

% caso seja necessário eliminar as linhas repetidas
%
% for i=1:length(secoes)-1
%
%     if secoes(i,1)== secoes(i+1,1)
%
%         secoes(i+1,:)= NaN;
%
%     end
% end
%
% guarda=[];
% teste=isnan(secoes(:,1));
% indx= find(teste==0);
% secoes= secoes(indx,:);

% Nova matriz que reúne os dados:
% 1   2   3   4   5
% idx lon lat tempo prof.

% figure
% plot(dados(:,1),dados(:,3),limites(:,1), limites(:,3),'o' )
% xlabel('Índices')
% ylabel('Latitude')
% title('Limites das seções')
% figure
% plot(secoes(:,2), secoes(:,3), '.')
% xlabel('Longitude')
% ylabel('Latitude')
% title('Localização')
% axis equal
% % return

save('matrizes2','secoes','dados','limites')

```

Rotina suape_parte2r

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
% Marília 2019_03_19
% Rotina que usa as matrizes geradas em suape_parte1
% Aqui é feita a adimensionalização da largura e organização de uma
% nova matriz de dados chamada secoes_d que adiciona à matriz seções
% uma coluna de distância adimensionalizada.
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

clear
clc

%%
load('c:\Rotinas_Matlab\adcp_movel\suapec\rotacionado\matrizes2.mat');
idx=load('c:\Rotinas_Matlab\adcp_movel\idx.txt');

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Estrutura das matrizes carregadas

% dados:
%      1      2      3      4      5
% índices long. lat. tempo prof.
% Tamanho: 17145 x 5

% limites
%      1      2      3      4      5
% índices long. lat. tempo prof.
% (começo/final)
% Tamanho: 214 x 5

% secoes
%      1      2      3      4      5
% índices long. lat. tempo prof.
% (seções)
% Tamanho: 6537 x 5
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%% Adimensionalizando a largura

% Encontrando a equação da reta
% Aqui eu usei o comando cftool:

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
% Linear model Poly1:
%      f(x) = p1*x + p2
% Coefficients (with 95% confidence bounds):
%      p1 =      2.62 (2.582, 2.658)
%      p2 =     83.26 (81.93, 84.59)
%
% Goodness of fit:
%      SSE: 0.0004265
%      R-square: 0.7363
%      Adjusted R-square: 0.7363
%      RMSE: 0.0002555

```

```

%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

a=2.62;
l=83.2533;

ox=-34.9660; % valor achado usando ginput
oy=a*ox+l;

px=[-34.9675 -34.9668];
py=px*a+ l;

% clf
plot(secoes(:,2), secoes(:,3), '.')
hold on
plot(px,py,'r')
plot(ox,oy, '.', 'Markersize', 30)
xlabel('Longitude')
ylabel('Latitude')
title('Reta representativa e Ponto de Referência')
axis equal

x=secoes(:,2);
y=secoes(:,3);
dist=((x-ox).^2 + (y-oy).^2).^5 *111120; % multiplica-se por 111120
% para converter de grau para metro.

secoes_d=[secoes dist]; % Aqui eu adiciono ua sexta coluna com
% a distância

%% Adimensionalizando a distância

% Estrutura nova da matriz secoes_d:
% 1 2 3 4 5 6
% idx lon lat tempo prof dist

v1=[1:4:105];
% v1=v1';
v2=[2:4:106];
% v2=v2';
v3=[3:4:107];
% v3=v3';
v4=[4:4:104];
guarda=[];
gdistm=[];

for j=v1
    s1=find(secoes(:,1)>=idx(j,1) & secoes(:,1)<=idx(j,2));
    s1=s1(1:end-1,1);
    sec= secoes_d(s1,6);
    dist1=sec-min(sec);
    gdistm=[gdistm; s1, dist1];
    dist1=dist1/max(dist1);
    guarda=[guarda; s1 dist1];
    %
% plot(dist1)

```

```

%     legendInfo{j} = ['seção = ' num2str(j)];
%     hold on
%     legend(legendInfo(j), 'Location','eastoutside')
%     title('Seções Adimensionalizadas')
%     ylabel('Dist. Adimensionalizada')
%     pause
end

for j=v2
    s1=find(secoes(:,1)>=idx(j,1) & secoes(:,1)<=idx(j,2));
    s1=s1(2:end-1,1);
    sec= secoes_d(s1,6);
    dist1=sec-min(sec);
    gdism=[gdism; s1, dist1];
    dist1=dist1/max(dist1);
    guarda=[guarda; s1 dist1];
    %     plot(dist1)
    %     hold on
    %     legendInfo{j} = ['seção = ' num2str(j)];
    %     legend(legendInfo(j), 'Location','best')
    %     title('Seções Adimensionalizadas')
    %     ylabel('Dist. Adimensionalizada')
    %     pause
end

for j=v3
    if idx(j,2)~=idx(end,2)
        if idx(j,2)==idx(j+1,1)
            s1=find(secoes(:,1)>=idx(j,1) & secoes(:,1)<=idx(j,2));
            s1=s1(2:end-1,1);
            sec= secoes_d(s1,6);
            dist1=sec-min(sec);
            gdism=[gdism; s1, dist1];
            dist1=dist1/max(dist1);
            guarda=[guarda; s1 dist1];
        end
    end
    if idx(j,2)~=idx(end,2)
        if idx(j,2)~=idx(j+1,1) & idx(j,2)~=idx(end,2)
            s1=find(secoes(:,1)>=idx(j,1) & secoes(:,1)<=idx(j,2));
            s1=s1(2:end,1);
            sec= secoes_d(s1,6);
            dist1=sec-min(sec);
            gdism=[gdism; s1, dist1];
            dist1=dist1/max(dist1);
            guarda=[guarda; s1 dist1];
        end
    end
    if idx(j,2)==idx(end,2)
        s1=find(secoes(:,1)>=idx(j,1) & secoes(:,1)<=idx(j,2));
        s1=s1(2:end,1);
        sec= secoes_d(s1,6);
        dist1=sec-min(sec);

```

```

        gdism=[gdism; s1, dist1];
        dist1=dist1/max(dist1);
        guarda=[guarda; s1 dist1];
    end

    %         plot(dist1)
    %         hold on
    %         legendInfo{j} = ['seção = ' num2str(j)];
    %         legend(legendInfo(j), 'Location','best')
    %         title('Seções Adimensionalizadas')
    %         ylabel('Dist. Adimensionalizada')
    %         pause
end

for j=v4
    if idx(j,1)==idx(j-1,2)
        s1=find(secoes(:,1)>=idx(j,1) & secoes(:,1)<=idx(j,2));
        s1=s1(2:end,1);
        sec= secoes_d(s1,6);
        dist1=sec-min(sec);
        gdism=[gdism; s1, dist1];
        dist1=dist1/max(dist1);
        guarda=[guarda; s1 dist1];
    end

    if idx(j,1)~=idx(j-1,2)
        s1=find(secoes(:,1)>=idx(j,1) & secoes(:,1)<=idx(j,2));
        sec= secoes_d(s1,6);
        dist1=sec-min(sec);
        gdism=[gdism; s1, dist1];
        dist1=dist1/max(dist1);
        guarda=[guarda; s1 dist1];
    end

    %         plot(dist1)
    %         hold on
    %         legendInfo{j} = ['seção = ' num2str(j)];
    %         legend(legendInfo(j), 'Location','best')
    %         title('Seções Adimensionalizadas')
    %         ylabel('Dist. Adimensionalizada')
    %         pause
end

distm=sortrows(gdism);
organiza=sortrows(guarda);
secoes_d(:,6)=organiza(:,2);

dist_adm=organiza(:,2);
tempo=[secoes(:,1),secoes(:,4)];
dist_adm=[secoes(:,1), dist_adm];

ida=[];
chega=[];

for i=1:length(idx)
    for j=1:length(tempo)

```

```

        if idx(i,1)==tempo(j,1)
            ida=[ida; tempo(j,1), tempo(j,2), dist_adm(j,2)];
        end
        if idx(i,2)==tempo(j,1)
            chega=[chega; tempo(j,1), tempo(j,2), dist_adm(j,2)];
        end
    end

end

%
% Verificação da adimensionalização
% clf
% plot(tempo(:,2),dist_adm(:,2))
% xlabel('tempo')
% ylabel('Distância Adimensionalizada')
% hold on
% plot(ida(:,2),ida(:,3),'r.')
% plot(chega(:,2),chega(:,3),'go')
% %
% return

save('secoes_d2','secoes_d')

```


Rotina suape_parte3r

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
% Marília 2018_03_19
% Rotina que separa as matrizes velocidade associadas às seções e
% adimensionaliza os níveis de medição.
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

clear
clc

% suape1=load ('C:\Rotinas_Matlab\adcp_movel\suape1.mat');
% suape2=load ('C:\Rotinas_Matlab\adcp_movel\suape2.mat');
load('c:\Rotinas_Matlab\adcp_movel\suape\rotacionado\dados_m2.mat');
load('c:\Rotinas_Matlab\adcp_movel\suape\rotacionado\rotacionadas2.mat');
load('c:\Rotinas_Matlab\adcp_movel\suape\rotacionado\matrizes2.mat');
load('c:\Rotinas_Matlab\adcp_movel\suape\rotacionado\secoes_d2.mat');
idx=load('c:\Rotinas_Matlab\adcp_movel\idx.txt');

%% Separando as matrizes velocidade das seções
% u_m=u_m';
% v_m=v_m';
u=[];
v=[];

for i=1:length(longitudinal)
    for j=1:length(idx)
        if dados(i,1)>=idx(j,1) & dados(i,1)<=idx(j,2)
            u=[u; longitudinal(i,:)];
            v=[v; transversal(i,:)];
        end
    end
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Atenção: minhas novas matrizes 'u' e 'v' tem índices diferentes
% de maneira que 'idx' não mais corresponde aos índices de 'u' e 'v'
% por isso coloquei na primeira coluna de 'u' e 'v' os índices res-
% pectivos...
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%
u=[secoes_d(:,1), u];
v=[secoes_d(:,1), v];

%% Níveis...

cell1=.4+.2+.25;
niveis=-(cell1:.25:60*.25+cell1-.25);

[li,co]=size(u);
% interpolação para igualar ao mesmo número de níveis:

```

```

% para componente u
for i=1:li

    nans=isnan(u(i,2:end));

    n=60-sum(nans);
    if n==1
        n=n+1;
    end
    pu=u(i,2:n+1);

    zo=linspace(0,-1,n);

%     zi=linspace(-1,0,10);% ordem colocada por Guto
    zi=linspace(0,-1,10);

    uir(i,:)=interp1(zo,pu,zi);

end

% para componente v
for i=1:li

    nans=isnan(v(i,2:end));

    n=60-sum(nans);
    if n==1
        n=n+1;
    end
    pv=v(i,2:n+1);

    zo=linspace(0,-1,n);

%     zi=linspace(-1,0,10);% ordem colocada por Guto
    zi=linspace(0,-1,10);

    vir(i,:)=interp1(zo,pv,zi);

end

save('velocidade_interp', 'uir','vir')

```

Rotina suape_parte4r

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
% Marília 2018_03_19
% Rotina que faz médias laterais de velocidade
% para as componentes 'u' e 'v'
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

clear
clc

load('c:\Rotinas_Matlab\adcp_move\suape\rotacionado\secoes_d2.mat');
load('c:\Rotinas_Matlab\adcp_move\suape\rotacionado\velocidade_interp.mat'
);

%% Loop que separa intervalos de largura regulares para as médias laterais

l=linspace(0,1,11);

tempo=secoes_d(:,4);
dist_adm=secoes_d(:,6);
% plot(tempo,dist_adm)

% Montando matriz com a distância adimensionalizada
% linhas: seções; colunas: níveis de medição
u_dist=[dist_adm, uir];

guarda_u=[];

% Para componente 'u'
for j=1:length(l)

    if j < 11
        setor=find(u_dist(:,1)>= l(j)& u_dist(:,1)<=l(j+1));
        setor= u_dist(setor,2:end);
        med= nanmean(setor);
        guarda_u=[guarda_u; med];
    end

end

%
pcolor(guarda_u')
colorbar

matriz_ur= guarda_u'; %linhas= níneis e colunas=distância
matriz_ur=matriz_ur/1000; %divido por mil para transformar para m/s
velmin_ur=min(min(matriz_ur));
velmax_ur=max(max(matriz_ur));

% Para componente 'v'
v_dist=[dist_adm, vir];

guarda_v=[];

```

```

for j=1:length(l)

    if j < 11
        setor=find(v_dist(:,1)>= l(j) & v_dist(:,1)<=l(j+1));
        setor= v_dist(setor,2:end);
        med= nanmean(setor);
        guarda_v=[guarda_v; med];
    end

end

figure
pcolor(guarda_v')
colorbar

matriz_vr= guarda_v'; %linhas= níneis e colunas=distância
matriz_vr=matriz_vr/1000; %divido por mil para transformar para m/s
velmin_vr=min(min(matriz_vr));
velmax_vr=max(max(matriz_vr));

save('matrizes_adm2','matriz_ur',...
    'matriz_vr','velmin_ur','velmin_vr','velmax_ur','velmax_vr' )

```

Rotina suape_parte5r

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
% Marília 2018_03_19
% Rotina que faz a correção geométrica da seção.
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

clear
clc

load('c:\Rotinas_Matlab\adcp_movel\suaape\rotacionado\secoes_d2.mat');
load('c:\Rotinas_Matlab\adcp_movel\suaape\rotacionado\velocidade_interp.mat'
);
load('c:\Rotinas_Matlab\adcp_movel\suaape\rotacionado\matrizes_adm2.mat');
idx=load('c:\Rotinas_Matlab\adcp_movel\idx.txt');

%% Redimensionando a profundidade...

% Matriz com distância e profundidade
m=[secoes_d(:,6), secoes_d(:,5)];

pmed=[];
l=linspace(0,1,11);

for j=1:length(l)

    if j<11
        setor=find(m(:,1)>= l(j) & m(:,1)<=l(j+1));
        setorp=m(setor,2);
        med=nanmean(setorp);
        pmed=[pmed; med];

    end
end

% plot (pmed)
% break
% Criando matriz de profundidade

%% Redimensionando a profundidade e largura

mprof=[];

cell1=.4+.2+.25;
niveis=-(cell1:.25:60*.25+cell1-.25);

% para profundidade
for i=1:length(pmed)
    n=pmed(i);
    prof=[cell1,n];
    zo=linspace(-cell1,n,10);
    mprof=[mprof, zo'];
end

```

```

% para distância

dm=max(secoes_d(:,6));
mmd=[];
md=linspace(0,190,10); %md=linspace(0,190,10);
for i=1:10
    mmd(i,:)=md;
end

%% Loop que separa seção por seção e monta a matriz 3d

u_dist=[secoes_d(:,6), uir];
v_dist=[secoes_d(:,6), vir];
l=linspace(0,1,11);

h = figure;
axis tight manual % this ensures that getframe() returns a consistent size
filename = 'test.gif';
% guarda_u=[];
v1=[1:4:105];
% v1=v1';
v2=[2:4:106];
% v2=v2';
v3=[3:4:107];
% v3=v3';
v4=[4:4:104];

% % componente 'u'
for i=1:length(idx)
    guarda_u=[];
    s=find(secoes_d(:,1)>=idx(i,1) & secoes_d(:,1)<=idx(i,2));
    if i==v1
        %         if s(1)== 1
        s=s(1:end-1);

    end

    if i==v2
        %         if idx(i,1)== idx(i-1,2) & idx(i,2)== idx(i+1,1)
        s=s(2:end-1);
    end

    if i==v3
        if idx(i,2)== idx(i+1,1) & idx(i,2)~= idx(end,2)
            s=s(2:end-1);
        end

        if idx(i,2)~= idx(i+1,1) & idx(i,2)~= idx(end,2)
            s=s;
        end
    end

    if i==v4
        if idx(i,1)~= idx(i-1,2) & idx(i,2)== idx(i+1,1)

```

```

        s=s(1:end-1);
    end

end

%     if i==107
% %         idx(i,1)== idx(i-1,2) &  idx(i,2)== idx(end,2)
%         s=s(2:end);
%     end
sec= u_dist(s,:);

for j=1:length(l)
    if j < 11
        setor=find(sec(:,1)>= l(j) & sec(:,1)<=l(j+1));
        setor=sec(setor,2:end);
        med= nanmean(setor);
        if i==93
            med= nanmean(setor,1);
        end
        guarda_u=[guarda_u; med];
    end
end
%     sortrows(guarda_u)
gg_u(i,(:,,:))=guarda_u/1000;
mg_u(:,(:,i))=guarda_u/1000;

%     h(i)= pcolor(mmd,mprof,guarda_u'/1000)
%     colorbar
%     contourf(mmd,mprof,guarda_u'/1000)
%     shading flat
%     colorbar
%     titleInfo{i} = ['seção = ' num2str(i)]
%     title(titleInfo(i))
%
%     pause

end

% componente 'v'
for i=1:length(idx)
    guarda_v=[];
    s=find(secoes_d(:,1)>=idx(i,1) & secoes_d(:,1)<=idx(i,2));
    if i==v1
        %         if s(1)== 1
        s=s(1:end-1);

    end

    if i==v2
        %         if idx(i,1)== idx(i-1,2) &  idx(i,2)== idx(i+1,1)
        s=s(2:end-1);
    end

    if i==v3
        if idx(i,2)== idx(i+1,1) &  idx(i,2)~= idx(end,2)
            s=s(2:end-1);
        end
    end
end

```

```

        if idx(i,2)~= idx(i+1,1) & idx(i,2)~= idx(end,2)
            s=s;
        end

    end

    if i==v4
        if idx(i,1)~= idx(i-1,2) & idx(i,2)== idx(i+1,1)
            s=s(1:end-1);
        end

    end

    %
    %     if i==107
    % %         idx(i,1)== idx(i-1,2) & idx(i,2)== idx(end,2)
    %         s=s(2:end);
    %     end
    sec= v_dist(s,:);

    for j=1:length(l)
        if j < 11
            setor=find(sec(:,1)>= l(j) & sec(:,1)<=l(j+1));
            setor=setor(2:end);
            med= nanmean(setor);
            if i==93
                med= nanmean(setor,1);
            end
            guarda_v=[guarda_v; med];
        end
    end
    %
    %     sortrows(guarda_u)
    gg_v(i,:,:)=guarda_v/1000;
    mg_v(:,:,i)=guarda_v/1000;

    %
    %     h(i)= pcolor(mmd,mprof,guarda_v'/1000)
    %     colorbar
    %     contourf(mmd,mprof,guarda_v'/1000)
    %     shading flat
    %     colorbar
    %     titleInfo{i} = ['seção = ' num2str(i)]
    %     title(titleInfo(i))
    %
    %     pause

end

%%
save('redimensiona2', 'mmd','mprof','pmed','mg_u','mg_v')

```


Rotina suape_parte6r

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
% Marília 2018_03_19
% Rotina para correção do nível da maré
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

clear
clc

load('c:\Rotinas_Matlab\adcp_move\suape\rotacionado\redimensiona2.mat');

%% Extraíndo seções temporalmente

% Carregando dados do ADCP fixo
sen=load('C:\Marília\LAHICO\Dados\Fundeios_Suape\CanalOeste\suafe201_CanalOeste.sen');
% vendo o nível:
% plot(sen(:,14))
% Dados em água:
sen=sen(8:86,:);
% plot(sen(:,14))
% estabelece o nível da água = profundidade - profundidade média
nivelagua=sen(:,14)-mean(sen(:,14));

% plot(nivelagua)
% tempo ADCP fixo
tempo= sen(:,4) + sen(:,5)/60 + sen(:,6)/3600;
plot(tempo,nivelagua)

% criando vetor tempo para ADCP móvel
tmovel=linspace(tempo(1),tempo(end),107);
tmovel=tmovel';

% Criando o vetor nível
nivel_i=interp1(tempo,nivelagua,tmovel);
%plot(tmovel,nivel_i)

nivel_mare=nivel_i;
tempo_mare=tmovel;

% criando matriz tempo
mtempo=[];

for i=1:10
    mtempo=[mtempo, tmovel];
end
mtempo=mtempo';

matriz_tempo=mtempo;

% Criando matriz
vetor=linspace(0,1,10);
matriz1=[];

```

```

% for i=1:107
%     linha= vetor';
%     matriz1=[matriz1, linha];
% end
% desnecessário

vetor_sigma = linspace(0,1,10);

prof_med_secao = pmed;    % 10x1

sel=1;

prof_med_secao_sel = prof_med_secao(sel);    % 1x1

matriz_z=[];
for i = 1:length(tempo_mare)

    calc_z = vetor_sigma * (prof_med_secao_sel - nivel_mare(i));

    matriz_z=[matriz_z; calc_z];

end

amp_mare = (max(nivel_mare) - min(nivel_mare))/2;

z_min=min(min(matriz_z));

for i=1:length(tempo_mare)

    p_z = matriz_z(i,:);

    dz = z_min - min(p_z);

    p_z = p_z + dz;

    matriz_z_corr(i,:)=p_z;

end

matriz_z_corr=matriz_z_corr+amp_mare;
matriz_z_corr=matriz_z_corr';

%plot(matriz_tempo,matriz_z_corr','.')

figure
lf=mg_u(3, :, :);
lfs= squeeze(lf);
pcolor(matriz_tempo,matriz_z_corr,lfs)
shading interp
polarmap
colorbar
hold on
contour(matriz_tempo,matriz_z_corr,lfs,[0 0], 'k', 'linewidth',1)
xlabel('Tempo em Horas')
ylabel('Profundidade')

```

```
figure
plot(tempo_mare,mean(lfs))

x = mg_u(:,1,:);
x=squeeze(x);
pcolor(x); shading flat; colorbar

save('correcao_nivel','matriz_tempo','matriz_z','matriz_z_corr',...
     'tempo_mare', 'nivel_mare')
```

Rotina suape_saida1r

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
% Marília 2018_03_19
% Rotina que fornece os gráficos com dados rotacionados
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

clear
clc

load('c:\Rotinas_Matlab\adcp_move1\suape\rotacionado\matrizes_adm2.mat');
load('c:\Rotinas_Matlab\adcp_move1\suape\rotacionado\redimensiona2.mat');
idx=load('c:\Rotinas_Matlab\adcp_move1\idx.txt');
load('c:\Rotinas_Matlab\adcp_move1\suape\correcao_nivel.mat');

%%
% componente 'u'
subplot(2,1,1)
contourf(mmd,mprof,matriz_ur)
polarmap
shading flat
c = colorbar;
c.Label.String = 'm/s';
caxis([velmin_ur velmax_ur]);
set(gca,'ylim',[-8 0])
hold on
contour(mmd,mprof,matriz_ur,[0 0],'k')

plot (mmd(1,:),pmed,'k')
% xlabel('Distância')
ylabel('Profundidade')
title('Componente ''u''')

% componente 'v'
subplot(2,1,2)
contourf(mmd,mprof,matriz_vr,'linestyle','none')
polarmap
shading interp
c = colorbar;
c.Label.String = 'm/s';
caxis([velmin_vr velmax_vr]);
set(gca,'ylim',[-8 0])
hold on
contour(mmd,mprof,matriz_vr,[0 0],'k')
plot (mmd(1,:),pmed,'k')
xlabel('Distância')
ylabel('Profundidade')
title('Componente '' v ''')
xlabel('Distância da margem')
ylabel('Profundidade')
title('Componente '' v ''')
txt1=['Margem Norte'];
txt2=['Margem Sul'];
text(10,-7, txt1)
text(170,-7, txt2)

```

Rotina suaape_saida2r

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
% Marília 2018_03_19
% Rotina que fornece os gráficos com dados rotacionados
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

clear
clc

load('c:\Rotinas_Matlab\adcp_movel\suaape\rotacionado\matrizes_adm2.mat');
load('c:\Rotinas_Matlab\adcp_movel\suaape\rotacionado\redimensiona2.mat');
idx=load('c:\Rotinas_Matlab\adcp_movel\idx.txt');
load('c:\Rotinas_Matlab\adcp_movel\suaape\correcao_nivel.mat');

%% plots temporais

% para componente 'u'
figure
subplot(3,2,1)
lf=mg_u(2, :, :);
lfs= squeeze(lf);
pcolor(matriz_tempo,matriz_z_corr,lfs)
% set(gca,'ylim',[-6 0])
shading interp
polarmap
colorbar
hold on
contour(matriz_tempo,matriz_z_corr,lfs,[0 0],'k','linewidth',1)
% xlabel('Tempo em Horas')
ylabel('Profundidade')
% title()
title('Componente ''u''Seção 2')

subplot(3,2,3)
lf=mg_u(5, :, :);
lfs= squeeze(lf);
pcolor(matriz_tempo,matriz_z_corr,lfs)
% set(gca,'ylim',[-7 0])
shading interp
polarmap
colorbar
hold on
contour(matriz_tempo,matriz_z_corr,lfs,[0 0],'k','linewidth',1)
% xlabel('Tempo em Horas')
ylabel('Profundidade')
% title()
title('Componente ''u''Seção 5')

subplot(3,2,5)
lf=mg_u(9, :, :);

```

```

lfs= squeeze(lf);
pcolor(matriz_tempo,matriz_z_corr,lfs)
% set(gca,'ylim',[-6 0])
shading interp
polarmap
colorbar
hold on
contour(matriz_tempo,matriz_z_corr,lfs,[0 0],'k','linewidth',1)
xlabel('Tempo em Horas')
ylabel('Profundidade')
% title()
title('Componente 'u'Seção 9')

% para componente 'v'
% figure
subplot(3,2,2)
lf=mg_v(2, :, :);
lfs= squeeze(lf);
pcolor(matriz_tempo,matriz_z_corr,lfs)
shading interp
polarmap
colorbar
hold on
contour(matriz_tempo,matriz_z_corr,lfs,[0 0],'k','linewidth',1)
% xlabel('Tempo em Horas')
ylabel('Profundidade')
% title()
title('Componente 'v'Seção 2')

subplot(3,2,4)
lf=mg_v(5, :, :);
lfs= squeeze(lf);
pcolor(matriz_tempo,matriz_z_corr,lfs)
shading interp
polarmap
colorbar
hold on
contour(matriz_tempo,matriz_z_corr,lfs,[0 0],'k','linewidth',1)
% xlabel('Tempo em Horas')
ylabel('Profundidade')
% title()
title('Componente 'v'Seção 5')

subplot(3,2,6)
lf=mg_v(9, :, :);
lfs= squeeze(lf);
pcolor(matriz_tempo,matriz_z_corr,lfs)
shading interp
polarmap
colorbar
hold on
contour(matriz_tempo,matriz_z_corr,lfs,[0 0],'k','linewidth',1)
xlabel('Tempo em Horas')
ylabel('Profundidade')
% title()
title('Componente 'v'Seção 9')
suptitle('Vetores rotacionados')

```

Rotina suape_saida3r

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
% Marília 2018_03_19
% Rotina que fornece os gráficos com dados rotacionados
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

clear
clc

load('c:\Rotinas_Matlab\adcp_movel\suape\rotacionado\matrizes_adm2.mat');
load('c:\Rotinas_Matlab\adcp_movel\suape\rotacionado\redimensiona2.mat');
idx=load('c:\Rotinas_Matlab\adcp_movel\idx.txt');
load('c:\Rotinas_Matlab\adcp_movel\suape\correcao_nivel.mat');

%% vista de topo
subplot (1,2,1)
x = mg_u(:,1,:);
x=squeeze(x);
pcolor(matriz_tempo(1,:),mmd(1,:),x); shading flat; colorbar
polarmap
xlabel('Tempo em Horas')
ylabel('Distância (m)')
title('Componente ''u''')
subplot(1,2,2)
x = mg_v(:,1,:);
x=squeeze(x);
pcolor(matriz_tempo(1,:),mmd(1,:),x); shading flat; colorbar
polarmap
xlabel('Tempo em Horas')
ylabel('Distância (m)')
title('Componente ''v''')
suptitle('Vetores rotacionados')

```