



MONITORAMENTO DAS CORRENTES DE SUPERFÍCIE DA BACIA DA FOZ DO AMAZONAS COM O USO DE DERIVADORES

Resultados preliminares de pesquisa realizada pelo IEPA (Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá) com apoio do veleiro Witness, do Greenpeace, durante a Expedição Costa Amazônica Viva

ABRIL, 2024

Resumo com o objetivo da coleta de dados

Com utilização de derivadores (boias de deriva) *Stokes Iridium SBD,* foi realizado o monitoramento de correntes de superfície, com comunicação em tempo real e bidirecional. Os derivadores, ou *drifters*, são equipamentos dotados de sensores e antenas que transmitem em tempo real sua geolocalização, tanto quanto outros sistemas de medição, como temperatura e velocidade. Desta forma, foi possível monitorar algumas tendências das correntes de superfície, podendo simular e estimar a dinâmica de dispersão de materiais na região.

Foram lançados sete derivadores na plataforma continental na Bacia da Foz do Amazonas (BFZA), dois na plataforma interna (~100 km da costa) e cinco na plataforma externa. Destes, os dois lançados mais próximos do continente tocaram a costa no Cabo Norte (AP) e Ilha Caviana (PA) em 6 e 10 dias com movimentos oscilatórios devido principalmente às correntes de marés (Figura 1).



Figura 1 - Localização do ponto de lançamento dos sete derivadores.

Fonte: Greenpeace, 2024.

Os dois derivadores lançados mais a leste na plataforma continental externa trafegaram no sentido noroeste e chegaram à costa da Guiana Francesa e Suriname. E, das três boias lançadas na área e próximo ao Bloco FZA-M-59, uma dirigiu-se ao norte devido à retroflexão da Corrente Norte Brasileira, outra foi em direção a Trindade e Tobago e a última alcançou a costa da Guiana.

Em relação à qualidade dos dados, não houve interrupção, com exceção de uma das boias que parou de enviar os dados possivelmente devido à exaustão do banco de baterias (após 27 dias de lançamento).

Os dados de posicionamento e temperatura superficial da água em intervalos de uma hora foram adequadamente enviados, onde observaram-se apenas duas falhas dentre todos os drifters. As velocidades médias de deslocamento foram maiores para os derivadores lançados próximos ao litoral devido às correntes de marés (na ordem de 1 a 1,5 m/s). Para as demais boias deflagradas foram observadas velocidades médias na ordem de 0,5 a 0,9 m/s.

Foram obtidos dados de regime de ventos na área de estudo (velocidade e direção a 10m de altitude). Os coeficientes de correlação (R) entre as velocidades dos derivadores (U) e dos ventos (W) apresentaram valores entre 0,08 e 0,43 enquanto que os coeficientes de correlação complexo (|R|), entre 0,04 e 0,83. Foram elaborados os espectros rotacionais cruzados entre as velocidades U e W em que as frequências diurnas e semi diurnas mostraram ser as mais importantes que atuam sobre os derivadores, associadas aos movimentos das marés.

Ainda são necessárias mais avaliações para obtenção de outras propriedades espectrais associadas às forçantes que afetam o comportamento dos derivadores. Quanto à temperatura superficial da água (SST) a mesma apresentou valores entre 27,3 °C e 31,3 °C, com média de 28,8 °C, típicas águas quentes próximas à linha do equador.

Em uma avaliação geral, cumpriu-se com o objetivo da coleta de dados os quais demonstram o comportamento das correntes superficiais marítimas e temperaturas superficiais da água na região da bacia foz do rio Amazonas.

Descrição dos parâmetros coletados durante a Comissão

Os parâmetros (dados brutos) coletados incluíram data e hora, as coordenadas (latitude e longitude em graus decimais) de posicionamento do derivador e temperatura superficial da água (em graus Celsius) e voltagem (em volts) do banco de baterias do equipamento. Os dados em intervalo de 1/2 hora eram registrados e armazenados na memória do equipamento e enviado a cada 1 hora para a plataforma "LiNC" da MetOCean Telematics (https://metocean.com/products/linc/). Os dados eram então baixados no formato .kml (Google Earth) ou .csv (valores separados por vírgulas).

Durante a navegação, os dados de posicionamento e profundidade eram obtidos por meio dos equipamentos do veleiro Witness, do Greenpeace. A Figura 2 mostra o trajeto da embarcação da organização durante o percurso da <u>expedição Costa Amazônica Viva</u>, indicando os pontos de lançamento dos derivadores.

Figura 2 – Imagem da rota percorrida pelo veleiro Witness e os pontos de lançamento dos derivadores Stokes ao longo do trajeto.



Fonte: Greenpeace, 2024.

Descrição dos equipamentos utilizados (tipo, modelo, software de leitura do dado bruto)

O derivador Stokes é uma boia de deriva compacta equipada com posicionamento GNSS (Sistema Global de Navegação por Satélite), um sensor de temperatura da superfície do mar e telemetria de satélite Iridium, que permite ao equipamento transmitir dados dos sensores e localização geográfica em tempo real (MetOcean Telematics). A **Figura 3** mostra uma foto do derivador. No **Anexo I** estão as características e especificações técnicas do equipamento. Seu tamanho compacto é ideal para fins de mapeamento de correntes oceânicas em grande escala, monitoramento de derramamentos de óleo, monitoramento ambiental e auxílio em operações de busca e salvamento.

Figura 3 – Foto do derivador Stokes da MetOcean Telematics utilizado nos estudos de correntes marítimas na Bacia da Foz do Amazonas.



Foram adquiridos pelo Greenpeace Brasil dez derivadores, sendo que sete foram lançados em diferentes pontos ao longo da Plataforma Continental na Bacia da Foz do Amazonas (BFZA). Todos foram configurados previamente para a coleta de dados a cada 1/2 hora e transmissão dos mesmos a cada 1 hora.

Para ativar os derivadores, seguiu-se os procedimentos fornecidos pelo fabricante os quais necessitam o uso de um imã (ver **Figura 4**) que é posicionado na lateral do derivador. Após alguns segundos, o equipamento produz três vibrações breves e após 30 segundos mais três vibrações leves e uma mais longa. Ao obter todas as sete vibrações com o imã encostado no derivador, constata-se que o mesmo está ativado.

Figura 4 – imã de ativação do derivador Stokes e posicionamento para ligar o equipamento. Note que a ativação pode ser feita na parte superior e inferior do equipamento.



O Stokes possui recursos de comunicação bidirecional possibilitados pelo módulo interno **Iridium**. Quando conectado à uma plataforma de rastreamento GPS denominada de **LiNC** (MetOcean Telematics), o derivador envia os dados para monitoramento.

Duas horas antes da previsão do horário de lançamento, os derivadores disponíveis eram ligados e selecionava-se um dos que apresentavam envio regular de dados, obtidos na plataforma LiNC (<u>https://metocean.com/products/linc/</u>). Os dados consistem basicamente no posicionamento (latitude e longitude) e temperatura da superfície do mar.

Ao alcançar o local de lançamento o derivador era colocado na superfície da água com cuidado e deixado levar pelas correntes. A **Figura 5** mostra as fotos no momento do lançamento na popa do veleiro Witness.

Figura 5 – Momento de lançamento de um dos derivadores Stokes na PCA realizado na popa do veleiro Witness.



Durante a expedição, foram lançados todos os sete derivadores, como antevisto no planejamento da expedição. O trajeto total percorrido pelo barco (veleiro Witness) e os pontos de lançamento são ilustrados na **Figura 1**.

Metodologia de coleta dos dados

Os dados coletados foram obtidos através da plataforma de LINC proporcionada pela MetOcean Telematics, fabricante dos derivadores Stokes. Como mencionado anteriormente, os dados eram registrados em intervalos de 1 hora, armazenados na memória do equipamento e enviado a cada 2 horas para a plataforma "LINC" da MetOCean Telematics (https://metocean.com/products/linc/).

Os dados eram então baixados 2 vezes ao dia no formato .kml (Google Earth) ou .csv (valores separados por vírgulas). Durante a navegação, os dados de posicionamento e profundidade foram obtidos através dos equipamentos do veleiro Witness.

Latitude, longitude e profundidade local das estações de coleta

A lista contendo as informações das estações de lançamento dos derivadores é mostrada na **Tabela 1**.

Tabela 1 – Coordenadas (grau/minuto/segundo; DATUM: WGS 84) dos pontos e horários de lançamento dos derivadores Stokes durante a expedição do veleiro Witness.

Pontos de Lançame nto	Número do Derivador/No me	Longitu de Prevista	Latitud e Previst a	Longitu de Efetiva	Latitud e Efetiva	Horário Lançame nto	Prof. (m)	Dist. da cost a (km)
1	(8#) Peixe-boi	49° 15' 42,669" W	01° 10' 21,954 " N	49° 15' 40,8" W	01° 10' 29,2" N	06/03/24 - 09h52	7	70
2	(#4) Caranguejo-u çá	49° 00' 11,340" W	01° 47' 55,800 " N	49° 00' 08,5" W	01° 47' 53,8" N	06/03/24 - 20h03	10	100

3	(#5) Pargo	48° 30' 00,000" W	2° 58' 01,567 " N	48° 30' 01,2" W	02° 58' 03,1" N	07/03/24 - 21h17	90	255
4	(#1) Pescada amarela	48° 59' 31,216" W	03° 38' 54,461 " N	48° 59' 36,7" W	03° 39' 00,9" N	08/03/24 - 08h39	110	200
5	(#2) Tartaruga	50° 06' 42,893" W	05° 22' 56,991 " N	50° 06' 42,2" W	05° 22' 57,5 N	09/03/24 - 07h54	~3.00 0	190
6	(#9) Boto	50° 30' 01,607" W	05° 05' 27,015 " N	50° 30' 01,3" W	05° 05' 28,5 N	09/03/24 - 15h30	250	130
7	(#7) Guará vermelho	50° 46' 43,426" W	04° 54' 52,768 " N	50° 46' 42,3" W	04° 54' 53,3 N	09/03/24 - 20h42	82	100

Parâmetros do dado: Unidade, precisão, metodologia de observação, fase e metodologia de processamento, metodologia de análise (para os casos onde foi aplicada análise ao dado bruto), explicação dos flags de qualidade dos dados:

Unidade

Os parâmetros (dados brutos) coletados incluíram data e hora, as coordenadas (latitude e longitude) de posicionamento do derivador e temperatura superficial da água e voltagem do banco de baterias do equipamento. Os dados de posicionamento (latitude e longitude) foram obtidos em unidades de graus decimais. Os valores de temperatura fornecidos eram em graus Celsius e a voltagem do banco de baterias em volts.

Precisão

O derivador Stokes da MetOcean Telematics possui as seguintes características:

Especificações mecânicas:

- Diâmetro externo 24 cm
- Altura 4.1 cm
- Peso 905 g

Consumo de energia

 - Vida útil da bateria p/ armazenamento – 5 anos (depois é recomendado substituição)

- Duração da bateria – tipicamente 4 meses (considerando intervalo de amostragem de 1h e intervalo de comunicação de 2h)

Baterias – 10 unidades AA (vem instaladas e podem ser substituídas)
 Interfaces

- Bluetooth BLE 5.0

- Satélite Iridium SBD (transceptor 9603N)

- GNSS: Acurácia +/- 1-100 metros

Sensores internos

- Sensor de Temperatura: Acurácia 0,25°C (-5°C a 40°C)

Outras características

- Temperatura de operação -18°C a +55°C
- Temperatura de armazenamento -40°C a +50°C
- Iridium SBD (transceptor 9603N)
- IP68

Portanto, pode-se considerar que a precisão em relação ao posicionamento é de 1 a 100 m e depende de fatores relacionados aos satélites, propagação do sinal e receptor/antena. A precisão atribuída aos dados de temperatura é de 0,25 °C.

Metodologia de observação

Basicamente a metodologia de observação consistiu em acompanhar e obter os dados na plataforma "LiNC" da MetOCean Telematics (https://metocean.com/products/linc/). Os mesmos foram registrados no equipamento a cada 1/2 hora e enviados em intervalos de 1 hora através da rede de satélites Iridium para a plataforma. Os dados foram então baixados duas vezes ao dia no formato .kml (Google Earth) ou .csv (valores separados por vírgulas).

Fase e metodologia de processamento

A metodologia de processamento dos dados foi similar à reportada por Rollnic et al. (2020) que publicaram um estudo de derivadores em três pontos na Bacia Pará-Maranhão e três pontos na Bacia Foz do Amazonas com deflagrações mensais, durante 12 meses. Também se considerou os trabalhos de Gonella (1972), Hansen e Poulain (1996), Thomson e Emery (2014) e Elipot et al. (2016).

A partir dos dados brutos de posicionamento (latitude e longitude), fez-se a conversão para coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) que possibilitou a obtenção das distâncias das trajetórias nos eixos x (longitude) e eixo y (latitude) para cada intervalo de uma hora. Entretanto o intervalo não foi regular (de 3600 s). As velocidades nos dois eixos x (Ux) e y (Uy) foram calculadas dividindo-se as distâncias percorridas pelos derivadores pelo intervalo de tempo (Δ t, em segundos) decorrido entre as duas posições. No controle da qualidade dos dados considerou-se a existência de valores discrepantes de Ux, Uy e Δ t. A resultante dos vetores de velocidades (U) foram obtidos através da relação trigonométrica entre Ux, Uy e U.

Para permitir a análise espectral dos dados, os mesmos foram interpolados através do método de "krigagem" (do inglês "kriging") que consiste em um processo Gaussiano de regressão muito utilizado na geoestatística e recomendado por Hansen e Poulain (1996) e Elipot et al. (2016). Essa etapa foi necessária por dois motivos. O primeiro para lidar com a possibilidade de falta de dados por erros na coleta ou transmissão e o segundo, pelo fato dos intervalos de coleta de dados não serem exatamente 3600 s (1h) e havia pequenas variações na aquisição dos valores dos parâmetros em função do tempo.

Para a avaliação do comportamento dos derivadores, foram adquiridos dados de intensidade (W) e direção do vento (φ) do banco de dados ERA5 do ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather) a 10 m de altura para todo o período de monitoramento do deslocamento das boias. Os limites da grade de dados de ventos serão inicialmente -52° / -48° O e 0° S / 6° N, com resolução de 0,25°. Dois pontos de séries temporais (intervalos de 1 hora) de intensidade e direção de ventos foram selecionados para cruzamento de dados com os obtidos pelos derivadores, um na foz do rio Amazonas (Ponto 1, 49° 15' 40,8" O e 01° 10' 29,2" N) e outro na plataforma continental externa (Ponto 5, 50° 06' 42,2" O e 05° 22' 57,5" N).

Com as séries temporais das velocidades dos derivadores e de regime de ventos, procedeu-se as análises espectrais (por derivador) obtendo-se os espectros rotacionais e os espectros cruzados rotacionais para cada uma das boias assim como descrito em Rollnic (2020) e Thomson e Emery (2014). Além das análises espectrais, foram feitas as análises de regressão entre os dados de velocidades de deriva e do vento. Para tanto, além da regressão linear entre os valores de velocidade, também foram obtidos os coeficientes de correlação complexos (ROLLNIC, 2020 apud KUNDU, 1976). Ainda faltam realizar os cálculos de admitância e coerência envolvendo as análises espectrais.

Ainda também serão realizadas as avaliações referentes à temperatura superficial da água (SST) as quais serão comparadas com modelos como por exemplo os disponíveis no banco de dados ERA5 do ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather). O esquema a seguir mostrado na **Figura 6** sintetiza as fases de processamento dos dados de velocidades dos derivadores adotadas no presente estudo.

Figura 6 – Esquema da metodologia de processamento dos dados dos derivadores e de ventos do presente estudo.



Resultados preliminares

A **Figura 7** mostra o trajeto dos sete derivadores lançados na Bacia da Foz do Amazonas (BFZA) até o dia 09/04/2024, indicando os pontos iniciais das trajetórias. A **Tabela 2** a seguir mostra o resumo dos resultados do acompanhamento dos derivadores.

Figura 7 – Caminho percorrido pelos derivadores lançados na Bacia da Foz do Amazonas (BFZA) até o dia 09/04/2024.



Fonte: Greenpeace, 2024

A partir da **Figura 7** e **Tabela 2** é possível notar que cinco dos sete derivadores lançados alcançaram o litoral ou ilha costeira, como no caso da ilha Caviana no Estado do Pará. Os dois derivadores lançados na plataforma continental interna (D8Pt1 e D4Pt2) apresentaram movimento oscilatório devido às correntes de marés e tocaram a ilha Caviana (estado do Pará) e o Cabo Norte (estado do Amapá) em 10 e 6 dias, respectivamente.

As boias lançadas nos pontos 3 (D5Pt3) e 4 (D1Pt4) viajaram sentido noroeste e demoraram 9 dias para chegar ao litoral da Guiana Francesa e Suriname, respectivamente. O derivador D2 iniciado no Pt5 (D2Pt5), localizado no Bloco FZA-M-59 divergiu para o norte e fez movimento horário seguindo a retroflexão da Corrente Norte Brasileira.

O D2Pt5 parou de transmitir os dados em 05/04/2024 por falta de energia (ver **Figura 8**). Mais de 1500 km foram percorridos pelo derivador lançado no ponto 6 (D9Pt6) e o mesmo encontra-se em movimento nas imediações de Trindade e Tobago. A boia de deriva do último ponto de lançamento (D7Pt7) chegou à costa da Guiana após trafegar por 15 dias.

Ponto de lançame nto	Derivad or #	Coordenada Iançamento	s de	Data e horário de lançame nto	Data que tocou a costa	Coordenadas toque na cos	s do ponto de ta	Tem po para tocar a cost a	Local	Velocida de média	Velocida de máxima
		Longitude	Latitude			Longitude	Latitude	(dias)		(m/s)	(m/s)
Pt1	8	49° 15' 40,8" O	01° 10' 29,2" N	06/03/24 - 09h52	16/03/2024 - 03h28	49° 30' 36,2" O	00° 23' 02,4" N	10	Ilha Caviana (Pará)	1,01	1,96
Pt2	4	49° 00' 08,5" O	01° 47' 53,8" N	06/03/24 - 20h03	12/03/2024 - 10h21	50° 00' 54,3" O	01° 44' 52,8" N	6	Cabo Norte (Amapá)	1,56	3,93
Pt3	5	48° 30' 01,2" O	02° 58' 03,1" N	07/03/24 - 21h17	16/03/2024 - 22:47	52° 57' 58,6" O	05° 26' 07,2" N	9	Guiana Francesa	0,85	1,52
Pt4	1	48° 58' 36,7" O	03° 39' 00,9" N	08/03/24 - 08h39	17/03/2024 - 19:06	54° 30' 11,4" O	05° 57' 27,9" N	9	Suriname	0,86	1,40
Pt5	2	50° 06' 42,2" O	05° 22' 57,5 N	09/03/24 - 07h54	Cessou transmissão em 05/04/2024					0,49	1,31
Pt6	9	50° 30' 01,3" O	05° 05' 28,5 N	09/03/24 - 15h30	Em movimento					0,72	1,46
Pt7	7	50° 46' 42,3" O	04° 54' 53,3 N	09/03/24 - 20h42	24/03/2024 - 18:34	58° 21' 44,1" O	06° 57' 30,9" N	15	Guiana	0,76	1,34

Tabela 2 – Resumo dos resultados da expedição e acompanhamento dos derivadores até o dia 05/04/2024.

Figura 8 – Voltagem do banco de baterias do derivador D2P5 em função do tempo desde o lançamento até o momento de perda de transmissão de sinal.



Em relação aos flags de qualidade dos dados dos derivadores, dentre todos os equipamentos utilizados, houve somente duas falhas detectadas pela boia D8Pt1 como pode ser visto na **Figura 9**. Considerando o número de dados transmitidos até o dia 05/04/2024 (N = 2432) obtém-se uma deficiência de 0,083% em relação à perda de dados, indicando uma ótima performance dos derivadores.

Figura 9 – Intervalo de amostragens (em segundos) dos dados transmitidos pelo derivador D8Pt1. Observar os dois picos de intervalos onde houve falhas na transmissão.



Com respeito aos dados de coordenadas e temperatura superficial da água não foram detectadas discrepâncias (picos nos gráficos) nos valores desses parâmetros quando plotados em função do tempo, indicando uma excelente qualidade dos dados coletados. Para exemplificar, os gráficos de latitude em função da longitude e das coordenadas em função do tempo para o derivador D4Pt2 são mostrados na **Figura 10**. Nesse exemplo, o derivador apresentou movimento circular anti-horário com influência das correntes de marés, ventos, fluxo do rio Amazonas e da Corrente Norte Brasileira.

Figura 10 – Gráficos da trajetória do derivador D4Pt2. (a) Latitude em função da longitude; (b) Latitude em função do tempo; (c) Longitude em função do tempo. Os pontos vermelhos indicam a posição inicial do derivador.



É possível, como mostrado na **Figura 10**, monitorar a carga do banco de baterias do equipamento. Assim é possível prever o momento em que o derivador deixará de funcionar. A **Figura 11** mostra outro exemplo de monitoramento da voltagem em função do tempo para o derivador D4Pt2.

Figura 11 – Monitoramento da voltagem do banco de baterias do derivador D4Pt2 em função do tempo desde o lançamento até o momento de toque com o litoral do estado do Amapá (dia 12/03/2024).



Os gráficos de velocidade em função do tempo foram também elaborados e são mostrados na **Figura 12** para o derivador D2Pt4, para exemplificar. Neste caso específico é possível observar as oscilações dos valores das velocidades devido principalmente a ação das correntes de marés. Cabe lembrar que as médias e máximas velocidades para cada derivador são mostradas na **Tabela 2**.

Figura 12 – Velocidades da corrente superficial obtidas pelo derivador D2Pt4 em função do tempo. Velocidade resultante do derivador; (b) Velocidade do derivador no eixo x (longitudinal); (c) velocidade do derivador no eixo y (latitudinal).



(a)



Antes da interpolação dos dados foram verificados, como forma de controle de qualidade, os intervalos de coleta e transmissão dos dados. O gráfico da **Figura 13** ilustra os valores do parâmetro (Δ t) em função do número de amostras coletadas (N) para o derivador D4Pt2.

Figura 13 - Intervalo de amostragens (em segundos) dos dados transmitidos pelo derivador D4Pt2.



Após a interpolação pelo método de krigagem foram plotados os valores dos dados brutos e os interpolados para verificar a concordância entre os mesmos. A **Figura 14** mostra o gráfico construído para essa finalidade, tendo como exemplo o derivador D4Pt2.

Figura 14 – Dados de velocidade da corrente superficial brutos e interpolados por krigagem em função do tempo para o derivador D4Pt2.



As velocidades do vento para o ponto localizado na foz do rio Amazonas (Ponto 1 de lançamento dos derivadores) são demonstradas na **Figura 15**. Para permitir comparação e análise espectral entre os dados de velocidades de deriva e dos ventos os tempos decorridos correspondem ao derivador D2Pt4, ou seja, de 07/03 a 12/03/2024.

Entretanto os dados de ventos foram obtidos nesse ponto para o período de 01/03/2024 a 28/03/2024 (ver **Anexo II**). A média da velocidade e da direção foi de 6,4 m/s e 51°, respectivamente; ou seja, são ventos predominantemente nordeste.

Para o Ponto 2, localizado na plataforma continental externa os dados de ventos compreenderam o intervalo de 01/03/2024 a 11/04/2024 (ver **Anexo III**). Assim os períodos correspondentes para as análises referentes aos outros derivadores são selecionados e utilizados. Para este ponto e período a média de velocidade foi de 7,6 m/s e média de direção nordeste com valor de 59°.

Figura 15 – Dados de ventos em função do tempo para o Ponto 1 (Foz do rio Amazonas). Coordenadas: 49° 15' 40,8" O e 01° 10' 29,2" N. (a) Direção do vento; (b) Velocidade resultante do vento; (c) Velocidade do vento no eixo x (longitudinal); (d) Velocidade do vento no eixo y (latitudinal).





(a)

(b)

Para permitir a avaliação da influência dos ventos fez-se a comparação da direção do vento com a direção da trajetória dos derivadores. Para o caso do derivador D4Pt2 não se espera boa correlação pois as correntes de marés predominam na movimentação das massas d'água próximo a costa. Os gráficos da direção da corrente (trajeto dos derivadores) em função do tempo e a direção da corrente em função da direção do vento estão dispostos na **Figura 16**.

Figura 16 – Gráficos da (a) Direção da corrente superficial em função do tempo e (b) Direção da corrente em função da direção do vento para o derivador D4Pt2.



Foram testadas também as relações entre a velocidade do vento e a velocidade de deriva. Em geral, as correlações lineares foram baixas, como

exemplificado para o derivador D4Pt2. Os valores obtidos para os coeficientes de correlação entre as velocidades de corrente superficial e do vento estão organizados na **Tabela 2**.

Figura 17 – Gráfico de dados da velocidade do vento versus velocidade da corrente superficial para o derivador D4Pt2. A linha amarela indica a correlação linear considerando a interseção do eixo das abcissas igual a zero.



Tabela 3 – Coeficientes de correlação linear (R) e coeficientes de correlação complexo |R| para os dados de ventos e de correntes superficiais.

Derivador	Ponto de comparação – dados de ventos	R	Inclinação	R
D8Pt1	Ponto 1	0,08	0,2521	0,35
D4Pt2	Ponto 1	0,30	-0,6698	0,04
D5Pt3	Ponto 2	0,06	0,03138	0,14
D1Pt4	Ponto 2	0,02	-0,4388	0,35
D2Pt5	Ponto 2	0,43	-2,3045	0,39
D9Pt6	Ponto 2	0,25	1,5036	0,83
D7Pt7	Ponto 2	0,27	1,2121x	0,35

Apesar dos baixos valores de correlação linear e correlação complexa, os ventos são importantes forçantes na Plataforma Continental na região da bacia da foz do Amazonas por se situar próximo à linha do Equador, onde o movimento inercial é reduzido e podem gerar comportamentos de deriva distintos devido à ação dos ventos ser sazonal (Rollnic et al., 2020). No trabalho dos mesmos autores, a *admitância* que indica a porcentagem do total da velocidade dos derivadores influenciada pela ação do vento foi de 2 a 6 %. Entretanto, os tipos de derivadores utilizados foram totalmente diferentes do tipo Stokes. No presente trabalho os cálculos de coerência e admitância ainda serão realizados.

A partir da construção dos espectros cruzados rotacionais é possível verificar as bandas de frequência com maiores amplitudes. No caso do espectro obtido para o derivador D4Pt2 (ver **Figura 18(a)**), o pico que se destaca ocorre na frequência de 0,08 cph (12 h) o qual corresponde a componente semidiurna das marés.

Outro ponto importante a destacar no exemplo é o valor do pico no sentido anti-horário de maior densidade de energia que condiz com a trajetória no sentido anti-horário do derivador. Ao avaliar os espectros cruzados dos demais derivadores em relação à velocidade do vento é possível identificar também os picos referentes às forçantes diurnas (frequências próximas a 0,04 cph), como exemplificado na **Figura 18(b)** para a boia D1Pt4.

Figura 18 – Espectros cruzados rotacionais entre a velocidade da corrente superficial e a velocidade do vento para os derivadores (a) D4P2 e (b) D1Pt4.



Temperatura superficial da água

Em todas as medições de temperatura pelos derivadores observou-se, como esperado, as variações diárias de temperatura cujos valores máximos ocorreram nos finais da tarde/início da noite e os valores mínimos após às 9 horas da manhã. A **Figura 19** mostra como exemplo as variações da

temperatura superficial do mar (SST) para o derivador D4Pt2. Os valores de SST coletados pelos derivadores serão comparados com os obtidos no banco de dados ERA5 do ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather).

Figura 19 – Variações da temperatura superficial do mar (SST) para o derivador D4Pt2. (a) SST em função do tempo; (b) SST em função da longitude; (c) SST em função da latitude.



São mostradas na **Figura 20** as variações de temperatura para todos os derivadores lançados na BFZA, sendo que a média, mínima e máxima temperaturas registradas foram respectivamente 28,8 °C; 27,3 °C e 31,3 °C.

Figura 20 – Variações de temperatura superficial do mar (SST) – médias, mínimas e máximas, a partir de dados de todos os derivadores lançados na Bacia da Foz do Amazonas.



Considerações relevantes

 Todos os sete pontos previstos de lançamento dos derivadores foram alcançados e realizados dentro do tempo estipulado, apontando para o sucesso da expedição.

 - A qualidade de envio e recepção dos dados foi excelente, obtendo-se falhas no armazenamento/transmissão de apenas 0,083% ou, uma eficiência de 99,917%.

 Em relação à qualidade dos dados de coordenadas e temperatura superficial da água não foram observados valores descartáveis quando plotados em função do tempo, indicando uma ótima qualidade dos dados coletados.

- Dentre os sete derivadores lançados, cinco estacionaram na costa: dois no estado do Amapá, um na Guiana Francesa, um no Suriname e um na Guiana.

 Na trajetória dos derivadores, aqueles lançados mais próximos ao continente em águas rasas (Plataforma interna) foram influenciados principalmente pelas correntes de marés.

- As velocidades máximas dos derivadores lançados na Plataforma Interna alcançaram valores na ordem de 2 a 4 m/s; na Plataforma externa, as magnitudes chegaram a 1,5 m/s.

Velocidade e direção dos ventos – as rosas dos ventos referentes aos Pontos
1 (plataforma interna) e 2 (plataforma externa) mostraram ventos nordeste (51°

a 59°) e intensidades na faixa de 8,8 a 11,1 m/s na maior parte do tempo (mês de março).

 Apesar dos baixos valores de correlação linear e correlação complexa entre a velocidade dos derivadores e dos ventos, estes são importantes forçantes na Plataforma Continental na região da bacia da foz do Amazonas por se situar próximo à linha do Equador, onde o movimento inercial é reduzido.

 Os espectros rotacionais cruzados indicam claramente forçantes relacionadas a períodos diurnos (24h) e semi diurnos (12h) associadas aos regimes de marés. Entretanto, ainda serão exploradas a detecção de frequências mais baixas relacionadas aos movimentos inerciais.

- As temperaturas superficiais do mar (SST) apresentaram valores condizentes com o esperado para a região, apresentando média, mínima e máxima geral de 28,8 °C; 27,3 °C e 31,3 °C, respectivamente. Os valores de SST coletados pelos derivadores ainda serão comparados com os obtidos no banco de dados ERA5 do ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather).

- O trabalho contribuiu para elucidar alguns aspectos do comportamento das correntes superficiais na Bacia da Foz do Amazonas, em especial nas áreas próximas à zona costeira. Dada a alta sensibilidade dos ambientes costeiros (SANTOS et al.; 2016) é importante verificar se há a possibilidade de algum óleo derramado chegar à costa amazônica, seja no Brasil ou em outros países vizinhos. Entretanto, há de se considerar nesse assunto o transporte de óleo e derivados e a atividade de exploração e produção de petróleo em toda a Margem Equatorial as quais apresentam riscos de um possível derramamento afetar as áreas costeiras do sistema de dispersão amazônico.

 O derivador tipo Stokes da MetOcean Telematics utilizado difere de todos os outros tipos em estudos anteriores na Bacia da Foz do Amazonas e simula a movimentação de um objeto flutuante sujeita às forçantes tais como ondas, ventos, marés e correntes marítimas.

Referências bibliográficas

ROLLNIC, M., MONTEIRO, S.M., ROSÁRIO, R.P., COSTA, M.S., PRESTES, Y.O., SILVA, I.O., AQUINO, R.F.O., CARNEIRO, A.G., MASCARENHAS, A.C.C., SANTANA, L.S. "Aquisição de Dados Oceanográficos", Capítulo 4. Em: Projeto Costa Norte, – Desenvolvimento de Metodologias para o entendimento de processos costeiros e estuarinos e da vulnerabilidade de florestas de mangue na Margem Equatorial Brasileira. v.2. Rio de Janeiro (BR), 2020.

KUNDU, P. K., Ekman veering observed near ocean bottom. Journal of Physical Oceanography, v. 6, p. 238–242. 1976.

GONELLA, J. A rotary-component method for analysing meteorological and oceanographic vector time series. Deep-Sea Research, v. 19, p. 833–846. 1972.

HANSEN, D. V., P. M. POULAIN. Quality control and interpolations of WOCE-TOGA drifter data. The Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, v. 13, p. 900–909. 1996.

THOMSON, R. E., EMERY, W., Data Analysis Methods in Physical Oceanography, Elsevier, Amsterdam, 729 p. 3rd Edition, 2014.

ELIPOT, S., R. LUMPKIN, R. C. PEREZ, J. M. LILLY, J. J. EARLY, and A. M. SYKULSKI. A global surface drifter data set at hourly resolution, J. Geophys. Res. Oceans, 121, 2937–2966, 2016.

SANTOS, V. F.; MENDES, A. C.; SILVEIRA, O. F. M. (in memoriam). Atlas de sensibilidade ambiental ao óleo da Bacia Marítima da Foz do Amazonas - 1 ed. – Macapá: IEPA, 2016.

ANEXOS

Anexo I – Características gerais e especificações técnicas do derivador Stokes.



The Stokes Iridium drifter is a low-profile surface and asset tracking drifting buoy. Ideal for current monitoring, positional marking, and pollutant real-time tracking.

The STOKES Iridium drifting buoy is a lowprofile surface and asset tracking drifting buoy. The buoy is ideal for surface modeling, oil spill response, and the tracking of biomaterials and plastics in open water (salt & fresh). The applications for STOKES are beyond diverse, the buoy can also be utilized as a positional marker, an excellent completement to any monitoring project.

The drifter is equipped with an Iridium satellite transmitter, enabling the buoy to provide vital data within real-time. The buoy also has bidirectional capabilities, which allows the end user to communicate with the drifter if it enters an area of particular interest. The buoy is also geo-alarm capable. The STOKES buoy is truly the best drifter for surface tracking application.







metocean.com

STOKES DRIFTER



TECHNICAL SPECIFICATIONS

MECHANICAL SPECIFICATIONS						
Outer Diameter	24 cm					
Height	4.1 cm					
Weight	905 g					
POWER CONSUMPT	ION					
Shelf Life	5-year shelf life (before battery					
	replacement required)					
Deployment Life	Typical +4 months (1-hour					
	sample interval and 2-hour					
	reporting interval)					
Battery	10 AA batteries (comes installed					
	and replaceable)					
INTERFACES						
Bluetooth	BLE 5.0					
Satellite	Iridium SBD					
GNSS	+/- 1-100 meter accuracy.					
	Cold start kix < 60s					

INTERNAL SENSORS Temperature Sensor

ENVIRONMENTAL Operating Temperature Storage Temperature Ingress Test Approvals

0.25°C Accuracy (-5°C to 40°C)

-18°C to +55°C -40°C to +50°C IP68 IEC 60945 Section 8.5 (Thermal Shock), SAE J1455 Thermal Cycling, SAE J1455 Section 4.9.3 (Low Pressure), SAE J1455 Temperature Cycling

REGULATORY APPROVALS IC (ISED) EC FCC

HEAD OFFICEUNITED STATESUNITED KINGDOMCANADAMetOcean Telematics
11 Thornhill Drive
Dartmouth, Nova Scotia
Canada B3B 1R9
sales@metocean.comMetOcean Telematics
1750 Tysons Blvd
Suite 1500, Office 1547
McLean, VA 22102
sales@metocean.comMetOcean Telematics
Hilldale Farm
Titchfield Lane,
Wickham, UK P017 SNZ
sales@metocean.comMetOcean Telematics
2 Gurdwara Rd Suite 608
Ottawa, Ontario
Canada K2E 1A2
sales@metocean.com+1 902 468 2505+1 844 728 2868+44 1489 888 555+1 613 702 3196

Fonte: https://metocean.com/wp-content/uploads/2020/03/Stokes-5.pdf.

Anexo II – Rosa dos ventos para o Ponto 1. Coordenadas: 49° 15' 40,8" O; 01° 10' 29,2" N.



Anexo III – Rosa dos ventos para o Ponto 2. Coordenadas: 50° 06' 42,2" O; 05° 22' 57,5 N.

