

# PROGRAMA DE MONITORAMENTO DO RIO SÃO FRANCISCO DURANTE O PERÍODO DE VAZÃO REDUZIDA

ADITIVO CTNE-70.2018.6530.01



EXECUÇÃO:



**FUNDAÇÃO APOLÔNIO SALLES**  
F A D U R P E

## RELATÓRIO MENSAL DE MONITORAMENTO DA CUNHA SALINA



ABRIL, 2021

**PROGRAMA DE MONITORAMENTO DO RIO SÃO FRANCISCO  
DURANTE O PERÍODO DE VAZÃO REDUZIDA**

**ADITIVO CTNE-70.2018.6530.01**

**RELATÓRIO MENSAL DE MONITORAMENTO DA  
CUNHA SALINA**

**EXECUÇÃO:**



**FUNDAÇÃO APOLÔNIO SALLES**  
F A D U R P E

**RECIFE, 2021**

**Monitoramento dos parâmetros hidrológicos e meteorológicos com  
ênfase na intrusão salina no baixo São Francisco**

**Relatório mensal**

**Abril de 2021**

### **Equipe Executora**

Dr. William Severi (CREA 10.042-D) - Coordenador

Dr. Ernesto de Carvalho Domingues

Engenheiro de Pesca, Crea: PE 044600

### **Equipe de apoio**

Msc. José Cavalcante de Oliveira Filho

Oceanógrafo

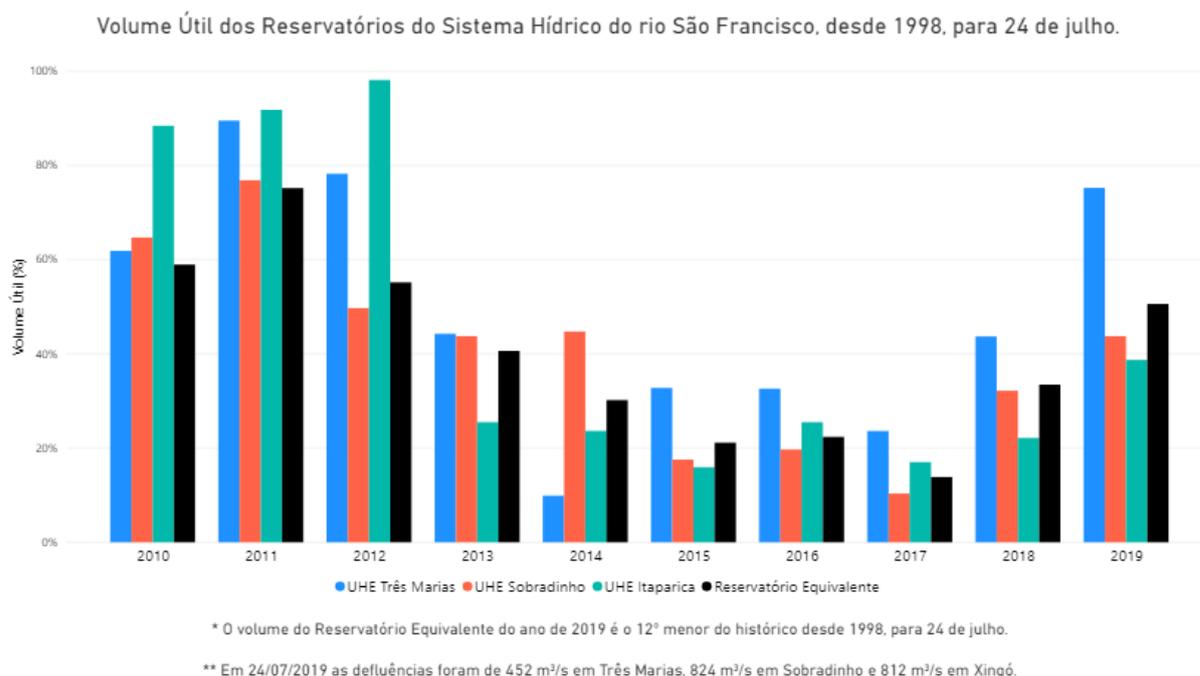
## Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Área de trabalho .....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Metodologia.....</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Resultados.....</b>	<b>10</b>
	<b>MONITORAMENTOS MÓVEIS (LONGITUDINAIS) .....</b>	<b>10</b>
	Dados hidrodinâmicos.....	16
	Campanhas móveis realizadas nos dias 13 e 14 de abril de 2021 .....	17
	Resultados do CTD .....	21
	<b>MONITORAMENTO FIXO.....</b>	<b>31</b>
	Dados hidrodinâmicos, campanhas fixas realizadas nos dias 14 e 15 de Abril de 2021 .....	31
	Resultados de salinidade e temperatura pontos fixos .....	34
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>38</b>

## 1 Introdução

Os corpos hídricos do Rio São Francisco-RSF percorrem por 521 municípios, passando por seis estados: Bahia, Minas Gerais, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Goiás, além do distrito Federal. Ao longo do rio, a água é utilizada principalmente para irrigação (77%), em segundo lugar para a demanda urbana (11%) seguida pela indústria (7%). Além dos usos citados, o rio também é utilizado para produção de energia, que através de 10 usinas hidrelétricas denominadas pelos seguintes nomes; Queimado, Três Marias, Sobradinho, Luiz Gonzaga, Complexo de Paulo Afonso (que reúne as usinas de Paulo Afonso I, II, III, IV e Apolônio Sales) e Xingó, juntas produzem cerca de 10.708 MW, correspondente a cerca de 12 % da energia nacional (ANA\_2019). No período de 2012 a 2017, muitas cidades no entorno do rio enfrentaram períodos de estiagem ano após ano, o que pode ser percebido nos níveis de volume dos reservatórios (Figura 1). Após um período de aproximadamente 6 anos de estiagem, os reservatórios do rio São Francisco vêm se normalizando (**Figura 1**). Atualmente, os níveis de volume de água dos reservatórios encontram-se na faixa operacional normal, fato expresso por meio da carta circular SOO-010/2021, emitida pela CHESF no mês de setembro/2020, de forma que as defluências adotadas desde o dia 02 de abril de 2021 estão em torno de 1300 m<sup>3</sup>/s.

A restrição no fluxo de vazão influencia diretamente na vida de aproximadamente 50.000 pessoas que habitam as duas maiores cidades localizadas da foz do rio: Piaçabuçu na margem alagoana e Brejo Grande na margem sergipana. Essas duas cidades possuem o Rio São Francisco como principal fonte de captação de água, de modo que a manutenção contínua de uma vazão reduzida do rio pode permitir que a cunha salina penetre o rio São Francisco, atingindo as fontes de captação de água potável para as duas cidades. Desta forma, entende-se que o monitoramento da cunha salina ao longo do rio é de fundamental relevância para a manutenção do uso múltiplo da água de forma segura, visando a saúde das pessoas, assim como a manutenção de animais e plantios na região.

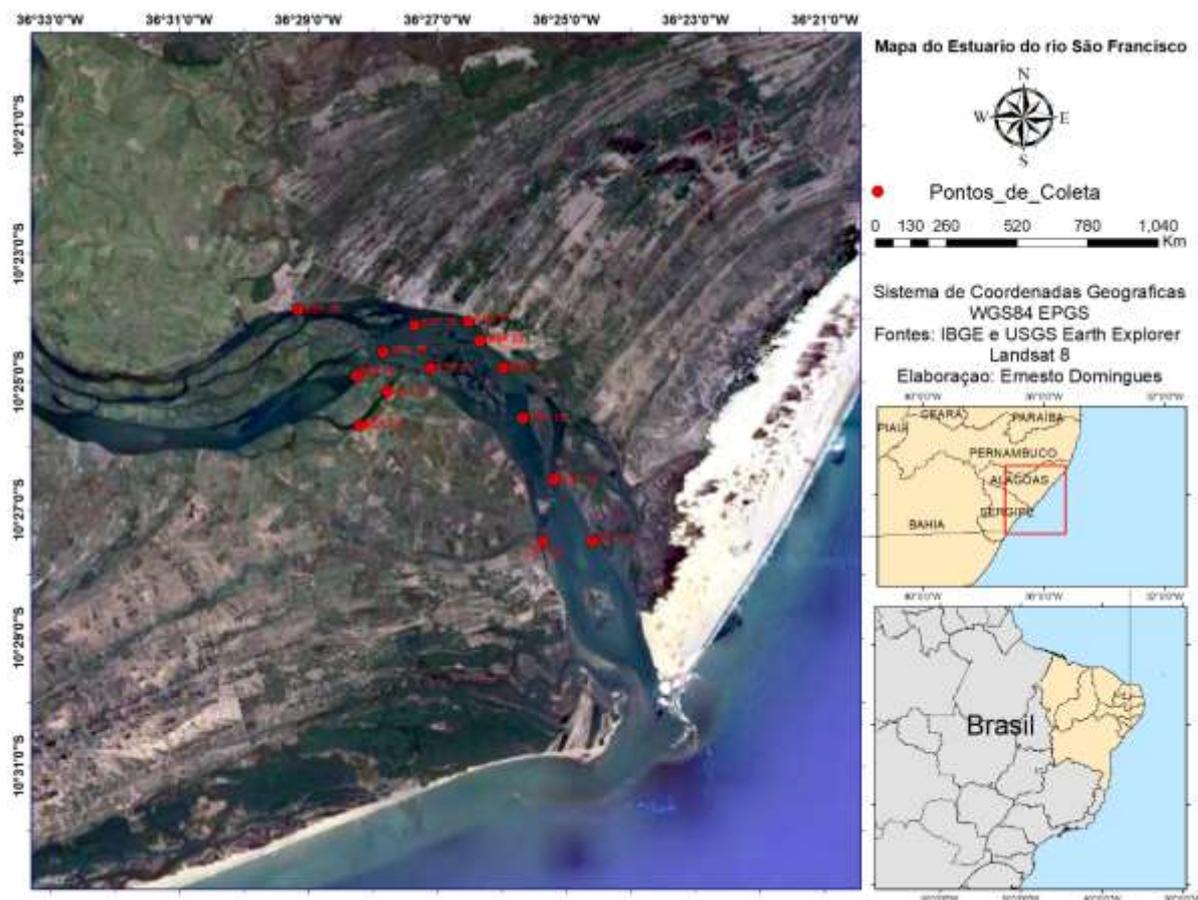


**Figura 1:** Série histórica de 2010 a 2019 do acúmulo de água nos reservatórios ao longo do rio São Francisco. Fonte: <[www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br)>.

O objetivo do presente monitoramento é de acompanhar o comportamento dos parâmetros hidrográficos, hidrodinâmicos e meteorológicos ao longo do trecho inferior do rio São Francisco, próximo à sua foz no Oceano Atlântico, durante períodos de preamar e baixamar e em ciclos completos de maré, nas bombas de captação das cidades de Brejo Grande e Piaçabuçu (localidade de Penedinho - AL), com ênfase no monitoramento das concentrações de sais na água do rio ao longo de 14 pontos amostrais. Através dos dados coletados, pretende-se compreender os mecanismos pelos quais a água salgada do mar penetra rio acima e se mistura à água doce, bem como avaliar a extensão desta penetração e o eventual alcance nos pontos de captação de água para abastecimento público das duas cidades.

## 2 Área de trabalho

A área de estudo está localizada na foz do rio São Francisco, no trecho situado entre os estados de Alagoas e Sergipe. As coletas foram realizadas em 14 pontos amostrais ao longo da foz do rio São Francisco, entre os municípios de Piaçabuçu - AL e Brejo Grande - SE (Figura 2).



**Figura 2:** Localização das estações de monitoramento da introdução da cunha salina no trecho inferior do rio São Francisco. A posição das estações está marcada em vermelho.

### 3 Metodologia

O monitoramento da cunha salina referente ao mês de Abril de 2021 foi realizado nos picos mensais de marés de sizígia (lua cheia e lua nova). Foram executadas campanhas hidrológicas móveis (lagrangeanas) em dois ciclos completos de maré, com coletas de dados em 14 estações, distribuídas entre a foz do rio (ESF 10 e D1; **Erro! Fonte de referência não encontrada.**), a cidade de Piaçabuçu –AL (ESF 21 e 22), o distrito de Penedinho – AL (ESF 30) e a cidade de Brejo Grande- SE (ESF 30). Em cada lua de sizígia também foram feitas duas campanhas fixas (eulerianas) de 12 horas nas proximidades das bombas de captação de água dos municípios de Piaçabuçu-AL (no distrito rural de Penedinho, figura 03) e Brejo Grande - SE.

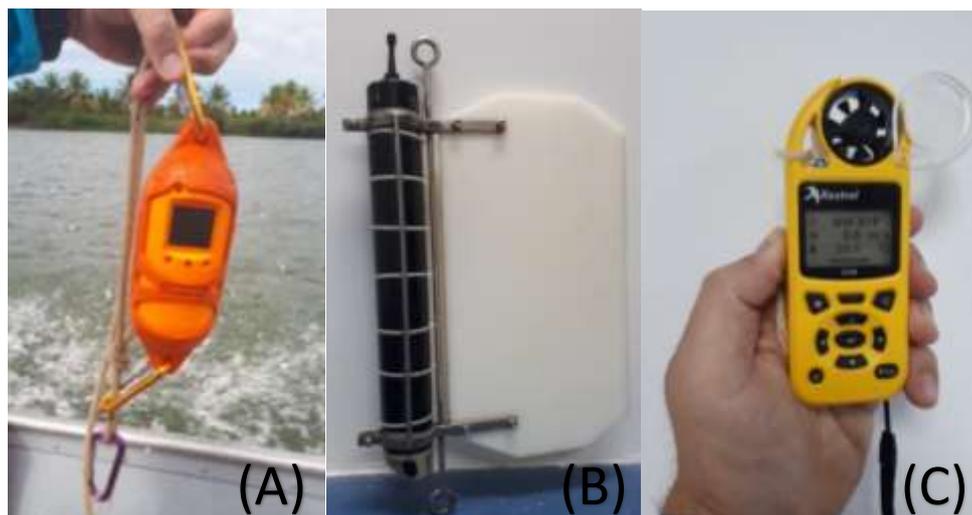


**Figura 3:** Bomba de captação de água da cidade de Penedinho-AL.

As campanhas móveis foram iniciadas 1 hora antes do pico máximo das marés de preamar e 1 hora antes do mínimo das marés de baixamar, sempre iniciando o monitoramento na foz do rio no ponto ESF D1. Para as campanhas fixas, foram feitas 13 coletas horária.

Nos monitoramentos, foram realizados perfis de salinidade e temperatura da água do rio; medição da intensidade e direção da corrente; direção, e medição da intensidade do vento e da temperatura atmosférica. Para a obtenção dos dados foram utilizados uma sonda perfiladora de dados CTD (acrônimo de Conductivity, Temperature and Depth), marca YSI, modelo Castway (Figura 4-A); um correntógrafo da marca Nortek, modelo Aquadopp modelo Current Meter, com frequência de 2 MHz (Figura 4-B); e uma mini-estação meteorológica da marca Kestrel, modelo 5400 (Figura 4-C). Os perfis com a sonda CTD foram programados para registrar dados a cada 30 cm, os dados de corrente foram registrados a cada 1 metro, e os dados meteorológicos foram mensurados pontualmente nos locais de coleta. As estações tiveram suas posições definitivas devidamente georreferenciadas por meio de um receptor GPS Garmin Etrex, constantes da Tabela 1, nas quais podem ser visualizados os nomes das estações, suas latitudes e longitudes, as profundidades na baixamar e a distância de cada ponto até a foz do rio.

Os dados do correntógrafo e da estação meteorológica foram registrados em fichas de papel no momento da coleta, cujas planilhas foram escaneadas em escritório, em seguida digitalizadas em programa <sup>®</sup>Excel, usado para a elaboração das tabelas e figuras dos valores médios de cada parâmetro apresentados nos resultados do presente relatório. Os dados da sonda CTD foram armazenados na memória do próprio instrumento e, posteriormente, baixados para um computador através do software <sup>®</sup>Castway-CTD v. 15 no formato “.mat”. Utilizando-se a plataforma de processamento de dados <sup>®</sup>Matlab, os dados da sonda foram filtrados, tratados e, por meio de programação computacional, foram geradas as figuras longitudinais de temperatura e salinidade. Essas figuras representam a variação de salinidade e temperatura em relação à distância longitudinal de cada estação até a foz.



**Figura 4:** Instrumentos empregados na mensuração das variáveis meteorológicas e hidrológicas: CTD YSI CAstAway (A), correntômetro Aquadopp Current Meter (B) e mini-estação Kestrel (C).

**Tabela 1:** Nome, coordenadas, profundidade na baixamar e distância da foz de cada estação de coleta do monitoramento da cunha salina na foz do Rio São Francisco.

Estações	Latitude (S)	Longitude (O)	Profundidade (m)	Dist. da foz (m)
ESF_D1	-10,458	-36,423	5,02	6,13
ESF 10	-10,458	-36,410	6,97	5,54
ESF 14	-10,442	-36,420	2,97	7,54
ESF 18	-10,426	-36,428	4,27	9,57
ESF 21	-10,413	-36,433	9,01	11,12
ESF 22	-10,406	-36,439	5,71	12,1
ESF 23	-10,401	-36,442	8,59	12,79
ESF 25	-10,413	-36,452	2,58	12,1
ESF 26	-10,402	-36,456	5,35	14,26
ESF 27	-10,419	-36,463	3,67	13,63
ESF 28	-10,409	-36,464	7,13	15,45
ESF 30	-10,398	-36,486	5,35	17,67
ESF 31	-10,415	-36,471	6,81	16,46
ESF 32	-10,428	-36,470	3,43	14,9

## 4 Resultados

### Monitoramentos móveis (longitudinais)

#### *Ficha de Monitoramento dos Pontos de Controle*

Na Tabela 2, estão apresentados os valores de altura das marés de baixamar e preamar durante os dias de amostragem, nas duas fases lunares (nova e cheia) relativas às marés de sizígia. Os dados relativos às variáveis meteorológicas (velocidade e direção do vento e temperatura do ar) e suas respectivas médias constam das Tabelas 3 a 6 (lua nova) e das Tabelas 7 a 10 (lua cheia).

**Tabela 2:** Dados de altura da maré durante as fases de lua nova (13 e 14/04/2021) e lua cheia (28 e 29/04/2021) dados relativos ao Terminal Marítimo Inácio Barbosa - SE (DHN).

Campanhas móveis			
Lua	Datas	Hora	Alt. da Maré (m)
Lua Nova	13/04/2021	04:47	2
		11:00	0.2
		17:02	2
		23:13	0.3
	14/04/2021	05:11	2
		11:30	0.3
		17:30	2
Lua Cheia	28/04/2021	23:47	0.4
		04:11	2.2
		10:26	0
		16:34	2.3
	29/04/2021	22:51	0
		04:51	2.2
		11:06	0
		17:17	2.3
		23:30	0.1

**Tabela 3:** Dados da direção, velocidade do vento e temperatura atmosférica em cada estação de amostragem da cunha salina e médias de cada parâmetro, durante a baixamar da maré de sizígia (lua nova) do dia 13/04/2021, na foz do Rio São Francisco.

Data	Hora	Direção (°)	Vel. (m.s <sup>-1</sup> )	Temp. ar (°C)	
13/04/2021	10:45	136	2.6	29	
	11:00	180	3	30.5	
	11:11	173	3.8	30.6	
	11:20	165	2.3	30.1	
	11:32	172	2.5	33	
	11:50	154	3.6	32	
	12:01	159	2.1	32	
	12:15	150	2.4	31.2	
	12:25	160	4.5	32	
	12:37	120	2	32	
	12:45	188	0.5	32.6	
	13:00	230	1	30.2	
	13:15	160	1	29	
	Média		160	2.4	31.6

**Tabela 4:** Dados da direção e velocidade do vento e temperatura atmosférica em cada estação de amostragem da cunha salina e médias de cada parâmetro, durante a preamar da maré de sizígia (lua nova) do dia 13/04/2021, na foz do Rio São Francisco.

Data	Hora	Direção (°)	Vel. (m.s <sup>-1</sup> )	Temp. ar (°C)	
13/04/2021	15:40	148	3.9	29	
	15:55	136	3.4	29	
	16:10	122	3	28	
	16:20	146	3	28.5	
	16:33	126	3.1	28.5	
	16:43	119	3.4	28.5	
	16:58	126	3	28.5	
	17:11	127	3.5	28	
	17:21	111	2.7	28.2	
	17:31	101	2	27.8	
	17:48	90	9	27	
	18:00	93	1	27	
	Média		122	3	28.2

**Tabela 5:** Dados da direção e velocidade do vento e temperatura atmosférica em cada estação de amostragem da cunha salina e médias para cada parâmetro, durante a baixamar da maré de sizígia (lua nova) do dia 14/04/2021 na foz do Rio São Francisco.

Data	Hora	Direção (°)	Vel. (m.s <sup>-1</sup> )	Temp. ar (°C)
14/04/2021	10:00	112	3.4	28.6
	10:20	129	2	27.7
	10:30	12	1.9	27
	10:48	101	2.3	27
	11:00	98	1.6	28.5
	11:09	123	1.8	27
	11:09	166	3.4	27.5
	11:25	157	4	27.6
	11:45	260	3	26.9
	12:05	212	2	27.4
	12:10	212	3	27.7
	12:15	231	4	27.7
Média		143	2.45	27.55

**Tabela 6:** Dados da direção e velocidade do vento e temperatura atmosférica em cada estação de amostragem da cunha salina, durante a preamar da maré de sizígia (lua nova) do dia 14/04/2021, na foz do Rio São Francisco.

Data	Hora	Direção (°)	Vel. (m.s <sup>-1</sup> )	Temp. ar (°C)
14/04/2021	15:09	134	2.1	25
	15:10	137	2.1	25.3
	15:30	134	4.9	25.2
	15:40	158	34	25.6
	15:50	124	2.8	25.7
	15:58	138	3.2	25.8
	16:03	120	2.8	25.8
	16:11	171	171	3.5
	16:15	132	132	2.4
	16:25	180	180	2.4
	16:40	134	134	1
	16:50	145	145	2
Média		134	4.9	25

**Tabela 7:** Dados da direção e velocidade do vento e temperatura atmosférica em cada estação de amostragem da cunha salina e médias de cada parâmetro, durante a baixamar da maré de sizígia (lua cheia) do dia 28/04/2021, na foz do Rio São Francisco.

Data	Hora	Direção (°)	Vel. (m.s <sup>-1</sup> )	Temp. ar (°C)
28/04/2021	09:55	54	1.6	27
	10:08	336	1.2	27.7
	10:18	91	2.9	27
	10:28	74	2.4	28.1
	10:35	94	3.2	28
	10:48	64	1.9	28.6
	10:35	47	3.9	28.2
	16:48	95	1.2	28.3
	16:48	95	7.2	25
	04:48	98	3	25.5
	11:39	47	3.6	25.3
	11:39	28	1.7	25.2
	11:45	107	1.7	2.5
	Média		91	2.4

**Tabela 8:** Dados da direção e velocidade do vento e temperatura do ar em cada estação de amostragem da cunha salina e média de cada parâmetro, durante a preamar da maré de sizígia (lua cheia) do dia 28/04/2021, na foz do Rio São Francisco.

Data	Hora	Direção (°)	Vel. (m.s <sup>-1</sup> )	Temp. ar (°C)
28/042021	15:20	127	2.2	27
	15:35	137	1.4	26.5
	15:43	91	1.7	26.7
	15:51	110	1.9	26.3
	15:50	96	2.2	26.9
	16:05	122	2.2	26.8
	16:10	92	2.4	26.8
	16:16	75	27	27
	16:22	79	26.9	26.9
	16:28	83	27	26.7
	16:39	73	26.6	26.6
	16:45	62	26.7	26.7
	16:54	142	26.7	26.8
	Média		92	2.4

**Tabela 9:** Dados da direção e velocidade do vento e temperatura do ar em cada estação de amostragem da cunha salina e média de cada parâmetro, durante a baixamar da maré de sizígia (lua nova) do dia 29/04/2021, na foz do Rio São Francisco.

Data	Hora	Direção (°)	Vel. (m.s <sup>-1</sup> )	Temp. ar (°C)
29/04/2021	09:11	164	3.9	28.5
	09:21	162	3	28.2
	09:29	150	3.2	28.5
	09:42	162	4.7	28.7
	09:54	159	4.3	28.7
	10:01	142	2.6	28.8
	10:01	151	3.6	28.9
	10:13	163	3.7	28.8
	16:48	172	4.1	28
	10:28	150	4	29.1
	10:38	170	1.2	30.4
	10:44	129	1.6	30.6
	10:50	144	1.6	28.4
	Média		159	3.6

**Tabela 10:** Dados da direção e velocidade do vento e temperatura do ar em cada estação de amostragem da cunha salina e média de cada parâmetro, durante a preamar da maré de sizígia (lua nova) do dia 29/04/2021, na foz do Rio São Francisco.

Data	Hora	Direção (°)	Vel. (m.s <sup>-1</sup> )	Temp. ar (°C)	
29/04/2021	14:00	162	4.3	28.1	
	15:10	156	2.4	28.2	
	15:17	179	3.8	28.6	
	15:20	165	3.9	28.8	
	15:30	152	3.2	29.1	
	15:35	160	4.5	29	
	15:40	148	3.4	28.6	
	15:45	149	3.4	29.1	
	21:36	132	2.3	29.1	
	16:00	146	3	29.9	
	16:12	51	1.2	28.3	
	16:20	149	4.3	28.8	
	Média		149	3.4	28.8

Durante as marés de sizígia analisadas no presente relatório, a vazão média do rio São Francisco esteve  $1300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , com base nos dados de vazão da barragem de Xingó (Boletins da Sala de Situação da ANA). A altura da baixamar e preamar foi de, respectivamente, 0,2; 0,3; 2 e 2 m na lua nova, e aqueles de lua cheia, de 0; 0; 2,3 e 2,3 m (**Tabela 2**).

O período analisado no presente relatório, os ventos sopraram predominantemente da direção de  $122^\circ$ , com velocidade média de  $2,84 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Os ventos mais intensos foram registrados no período de lua nova, apresentando máxima de  $7,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , enquanto a média da temperatura atmosférica média foi de  $28^\circ\text{C}$  (Tabela 11).

Na fase de lua nova, a direção predominante do vento foi sudeste ( $121^\circ$ ), com velocidade média de  $2,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  e temperatura média do ar de  $28,2^\circ\text{C}$  (Tabela 11). Na fase de lua cheia, o vento apresentou direção predominante sudeste ( $123,3^\circ$ ), com velocidade média de  $2,9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  e temperatura média do ar de  $27,8^\circ\text{C}$  (Tabela 11).

**Tabela 11:** Médias gerais dos dados de vento para as medições referentes às luas nova e cheia do mês de abril de 2021.

	Médias gerais dos dados de vento								
	Direção ( $^\circ$ )			Velocidade ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )			Temperatura do ar ( $^\circ\text{C}$ )		
	Mín	Méd	Máx	Mín	Méd	Máx	Mín	Méd	Máx
Lua Nova'	0.00	121.13	230.00	0.50	2.79	9.00	24.00	28.20	33.00
Lua Cheia	28.00	123.25	336.00	1.20	2.90	7.20	25.00	27.80	30.60
Média	14.00	122.19	283.00	0.85	2.84	8.10	24.50	28.00	31.80

### Dados hidrodinâmicos

As Tabelas 12 a 20 contêm os valores médios de velocidade e direção da água na coluna d'água de cada estação de monitoramento da cunha salina, nas marés de baixamar e de preamar, amostradas nas luas cheia e nova. A variação espacial dos valores da velocidade média e direção média da água consta nas Figuras 5 a 8.

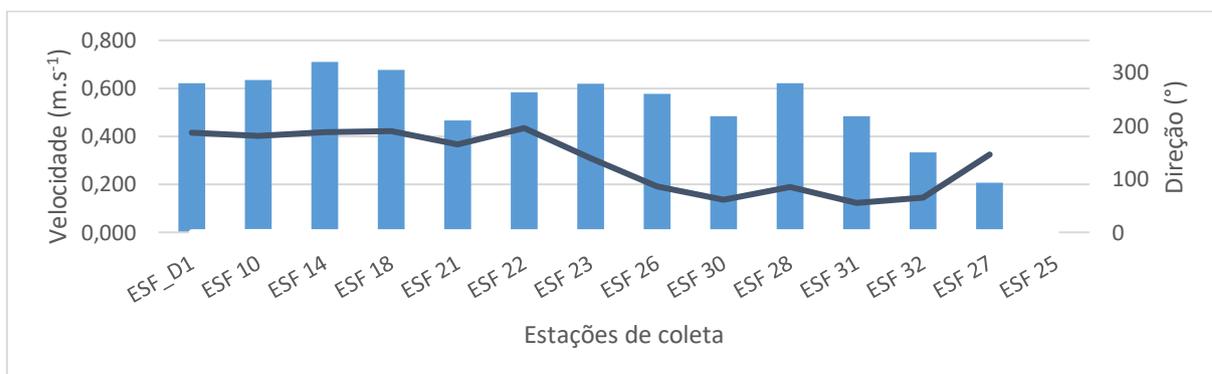
Na fase de lua nova, a velocidade da coluna d'água apresentou média de  $0,44 \text{ m.s}^{-1}$ , a estação amostral que apresentou a maior intensidade de corrente foi a estação ESF 23, no dia 14 de abril apresentou velocidade de  $0.88 \text{ m.s}^{-1}$ . Nas duas luas, a direção da corrente na baixamar estiveram predominantes no quadrante entre sudeste- sudoeste ( $185^\circ$ ), exceto nas estações ESF 26, 27, 28, 31 e 32, as quais apresentaram suas correntes nas direções entre nordeste e leste ( $60^\circ - 75^\circ$ ). A geomorfologia dessas estações possibilita o deslocamento de massas d'água nas direções nordeste-leste e sudoeste-oeste diferentemente do canal principal, que possibilita o deslocamento de água nas direções sudeste-sul e noroeste-norte.

Como esperado, a velocidade das correntes foi menor nas preamares, apresentando média de  $0.37 \text{ m.s}^{-1}$ , já na baixamar a média foi de  $0.5 \text{ m.s}^{-1}$ .

### Campanhas móveis realizadas nos dias 13 e 14 de abril de 2021

**Tabela 12:** Dados médio de velocidade e direção da coluna d'água em cada estação de amostragem da cunha salina, durante a baixamar da maré de sizígia (lua nova) do dia 13 de abril de 2021, na foz do Rio São Francisco.

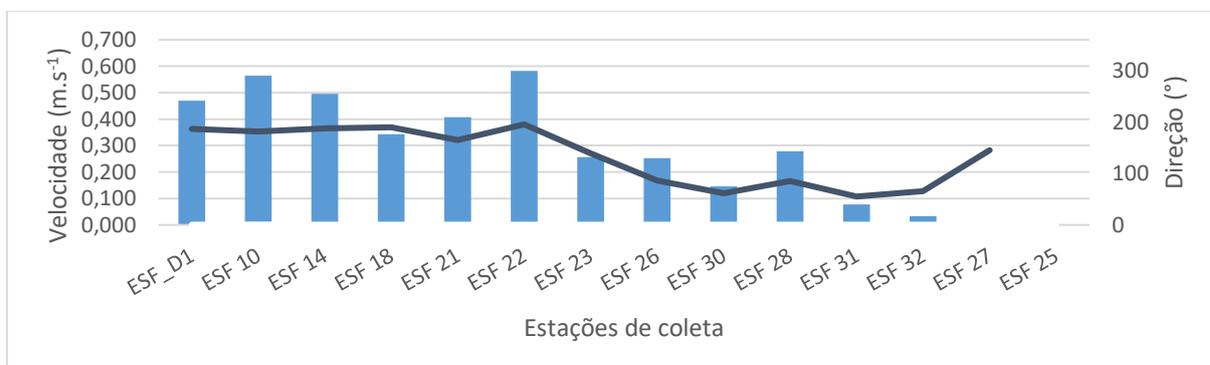
Data	Hora	Vel. (m.s <sup>-1</sup> )	Direção (°)
13/04/2021	10:45	0.623	187
	11:00	0.634	181
	11:11	0.710	188
	11:20	0.677	190
	11:32	0.466	165
	11:50	0.583	196
	12:01	0.620	139
	12:15	0.578	86
	12:25	0.485	61
	12:37	0.622	85
	12:45	0.485	55
	13:00	0.333	66
	13:15	0.208	145.8



**Figura 5:** Variação média da velocidade (barras azuis) e da direção (linha azul escuro) das correntes na coluna entre pelas estações de amostragem da cunha salina da foz do Rio São Francisco, durante a Baixamar da maré de sizígia (lua nova) do dia 13/04/2021.

**Tabela 13:** Dados médio de velocidade e direção da coluna d'água em cada estação de amostragem da cunha salina, durante a preamar da maré de sizígia (lua nova) do dia 13/04/2021, na foz do Rio São Francisco.

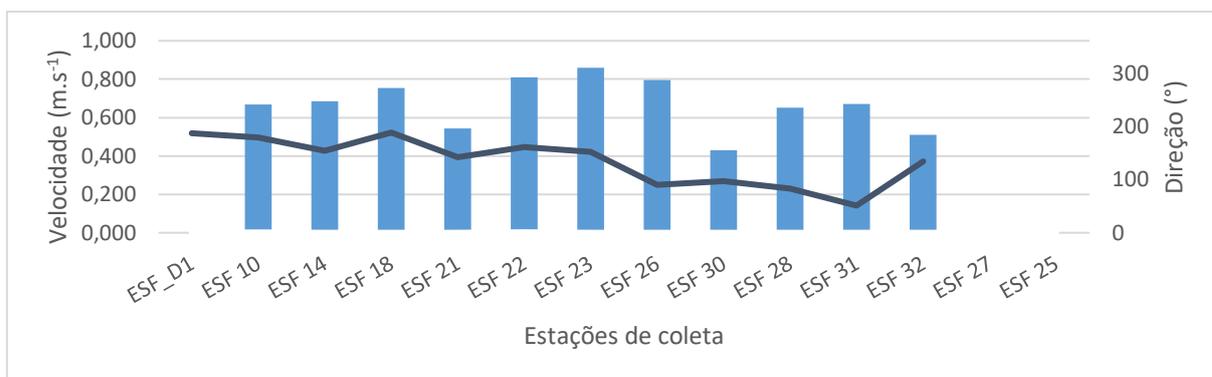
Data	Hora	Vel. (m.s <sup>-1</sup> )	Direção (°)
13/04/2021	15:40	0.469	352
	15:55	0.564	235
	16:10	0.496	339
	16:20	0.344	238
	16:33	0.407	337
	16:43	0.582	341
	16:58	0.257	315
	17:11	0.253	271
	17:21	0.146	267
	17:31	0.279	256
	17:48	0.076	246
	18:00	0.034	260



**Figura 6:** Variação média da velocidade (barras azuis) e da direção (linha azul escuro) das correntes na coluna entre pelas estações de amostragem da cunha salina da foz do Rio São Francisco, durante a preamar da maré de sizígia (lua nova) do dia 13/04/2021.

**Tabela 14:** Dados médio de velocidade e direção da coluna d'água em cada estação de amostragem da cunha salina, durante a baixamar da maré de sizígia (lua nova) do dia 14/04/2021, na foz do Rio São Francisco.

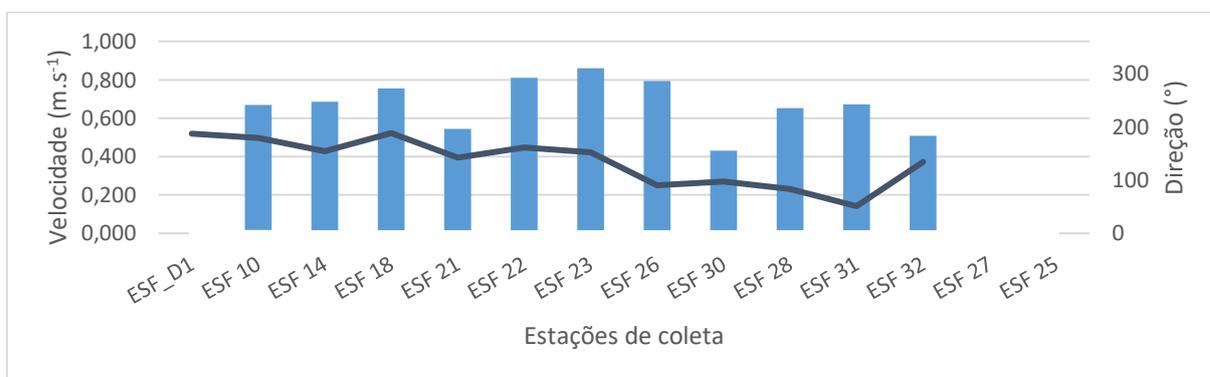
Data	Hora	Vel. (m.s <sup>-1</sup> )	Direção (°)
14/04/2021	10:00		187
	10:20	0.669	179
	10:30	0.686	154
	10:48	0.755	188
	11:00	0.544	142
	11:09	0.809	161
	11:09	0.860	152
	11:25	0.795	90
	11:45	0.431	97
	12:05	0.652	83
	12:10	0.671	51
	12:15	0.509	134



**Figura 7:** Variação média da velocidade (barras azuis) e da direção (linha azul escuro) das correntes na coluna entre pelas estações de amostragem da cunha salina da foz do Rio São Francisco, durante baixamar da maré de sizígia (lua nova) do dia 14/04/2021.

**Tabela 15:** Dados médio de velocidade e direção da coluna d'água em cada estação de amostragem da cunha salina, durante a preamar da maré de sizígia (lua nova) do dia 14/04/2021, na foz do Rio São Francisco.

Data	Hora	Vel. (m.s <sup>-1</sup> )	Direção (°)
14/04/2021	10:P5:00	1.032	187
	10:20	0.669	179
	10:30	0.686	154
	10:48	0.755	188
	11:00	0.544	142
	11:09	0.809	161
	11:09	0.860	152
	11:25	0.795	90
	11:45	0.431	97
	12:05	0.652	83
	12:10	0.671	51
	12:15	0.509	134



**Figura 8:** Variação média da velocidade (barras azuis) e da direção (linha azul escuro) das correntes na coluna entre pelas estações de amostragem da cunha salina da foz do Rio São Francisco, durante a preamar da maré de sizígia (lua nova) do dia 14/04/2021.

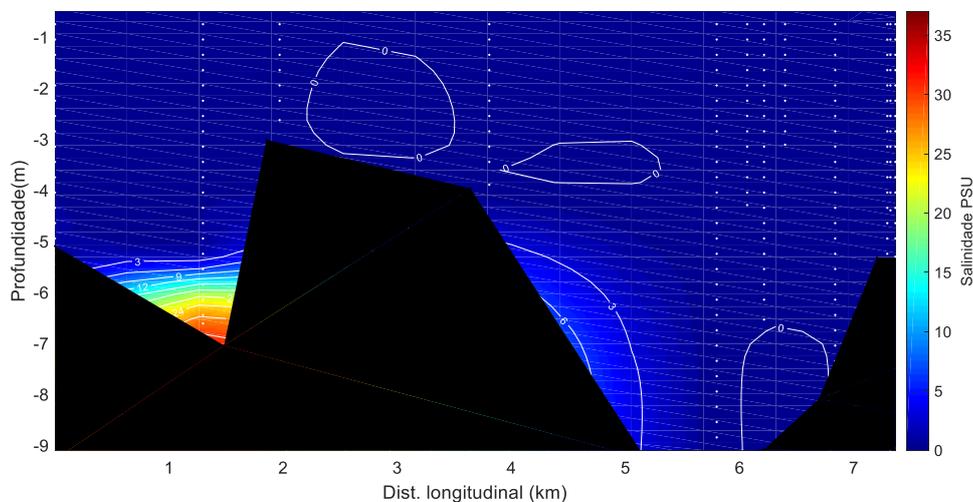
## Resultados do CTD

### *Salinidade*

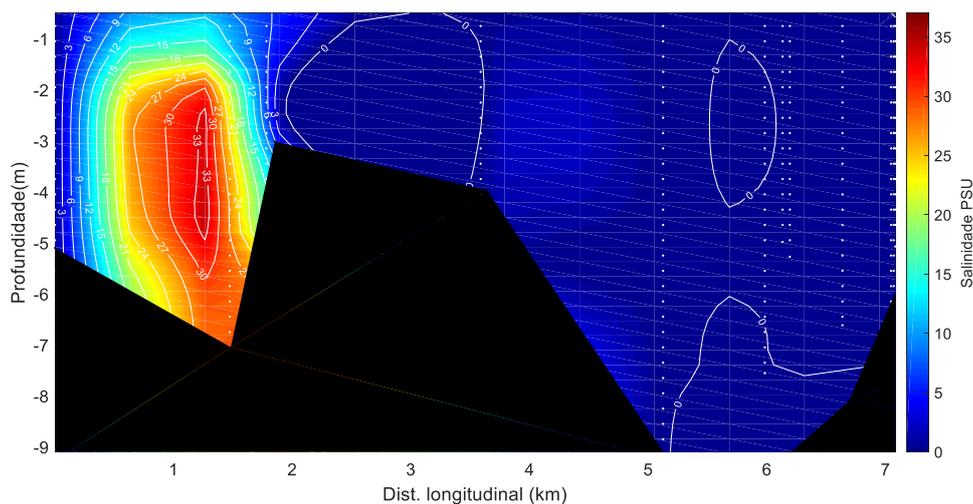
As Figuras 9 a 16 demonstram a penetração da cunha salina na baixamar e preamar dos dois períodos de sizígia analisados referentes a Abril de 2021. As figuras representam a distribuição longitudinal da salinidade na foz do rio São Francisco, cuja análise foi baseada na distância longitudinal de cada estação de monitoramento ao ponto de coleta mais próximo da foz (ESF 10) à estação mais distante longitudinalmente do rio, localizada na localidade de Penedinho – AL (ESF 30). Através das figuras, é possível afirmar que no mês de Abril de 2021, no geral a cunha salina penetrou de forma significativa com valores superiores a 0,5 PSU na foz do rio São Francisco até a região próxima à estação ESF 18 (distante 9,57 km da foz), como pode se ver na Figura 10, a qual representa a coleta realizada no dia 13 de Abril de 2021. Através dos gráficos gerados foi possível verificar que a cunha salina penetrou menos nos períodos de baixamar.

Os registros realizados nas baixamares e preamares consecutivas demonstram um comportamento similar entre si, onde a intrusão salina foi percebida com maior intensidade nos momentos de preamar.

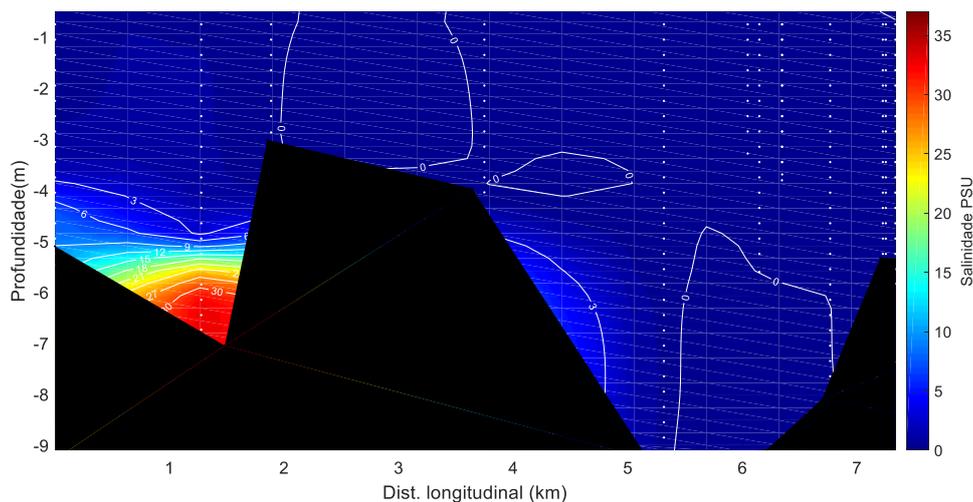
*Baixamar e preamar dos dias 13 e 14 de Abril de 2021.*



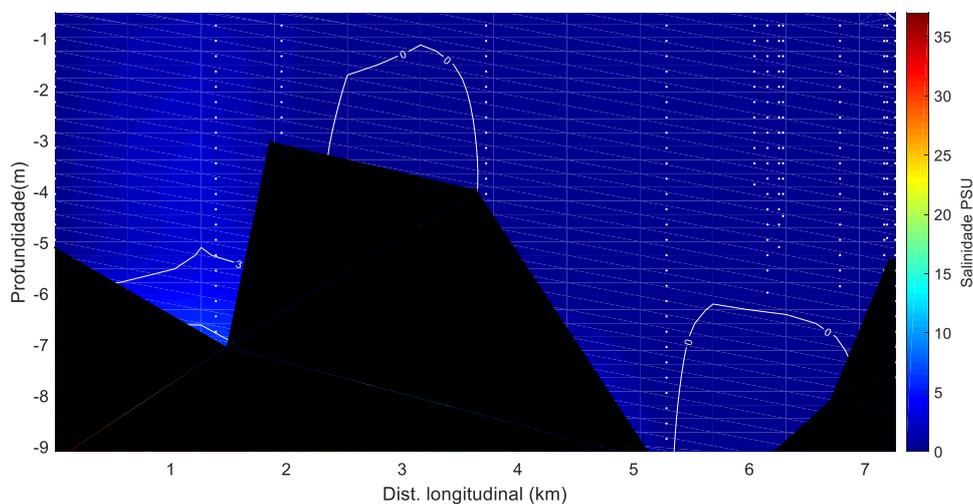
**Figura 9:** Distribuição longitudinal da salinidade na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à ESF 30 (ponto mais distante da foz), no período de baixamar do dia 13 de Abril de 2021. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.



**Figura 9:** Distribuição longitudinal da salinidade na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à ESF 30 (ponto mais distante da foz), no período de preamar do dia 13 de Abril de 2021. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.

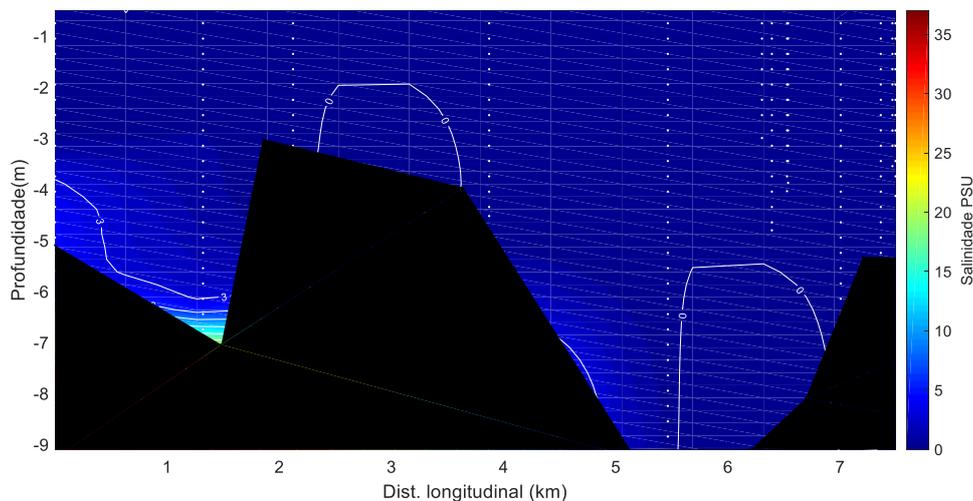


**Figura 11:** Distribuição longitudinal da salinidade na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à ESF 30 (ponto mais distante da foz), no período de baixamar do dia 14 de Abril de 2021. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.

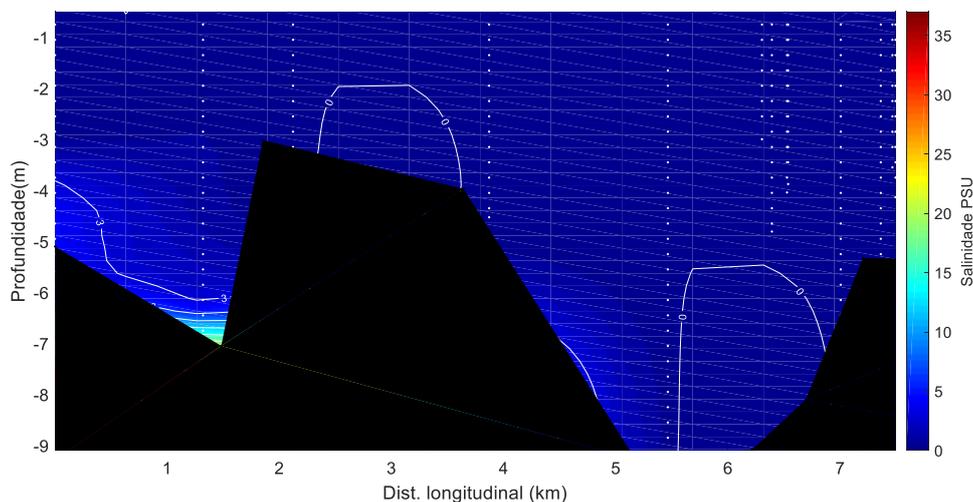


**Figura 10:** Distribuição longitudinal da salinidade na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à ESF 30 (ponto mais distante da foz), no período de preamar do dia 14 de Abril de 2021. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.

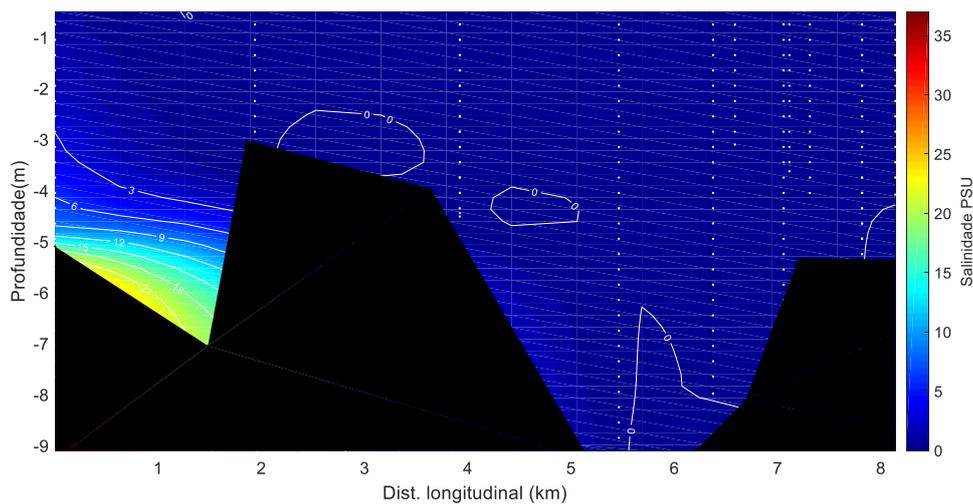
*Baixamar e preamar dos dias 28 e 29 de Abril de 2021.*



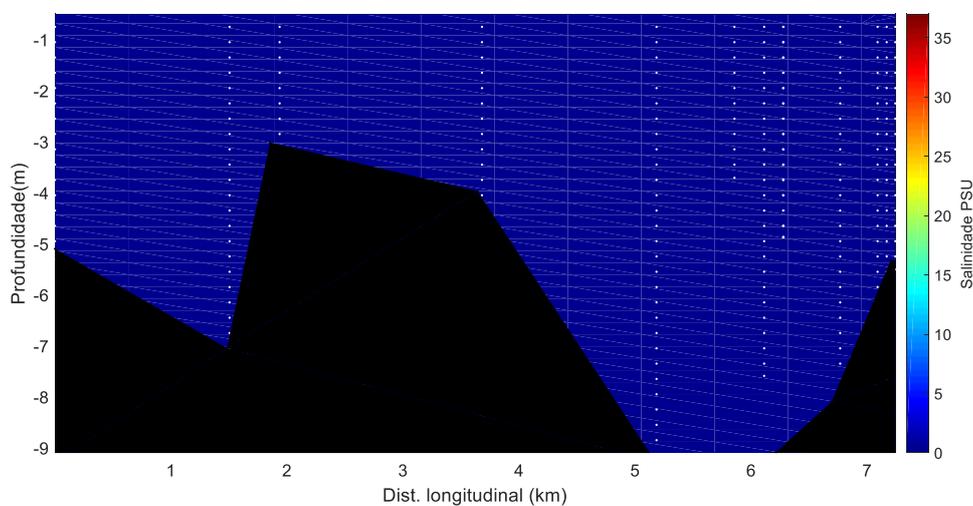
**Figura 11:** Distribuição longitudinal da salinidade na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à ESF 30 (ponto mais distante da foz), no período de baixamar do dia 28 de Abril de 2021. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.



**Figura 12:** Distribuição longitudinal da salinidade na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à ESF 30 (ponto mais distante da foz), no período de preamar do dia 28 de Abril de 2021. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.



**Figura 13:** Distribuição longitudinal da salinidade na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à ESF 30 (ponto mais distante da foz), no período de baixamar do dia 29 de Abril de 2021. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.

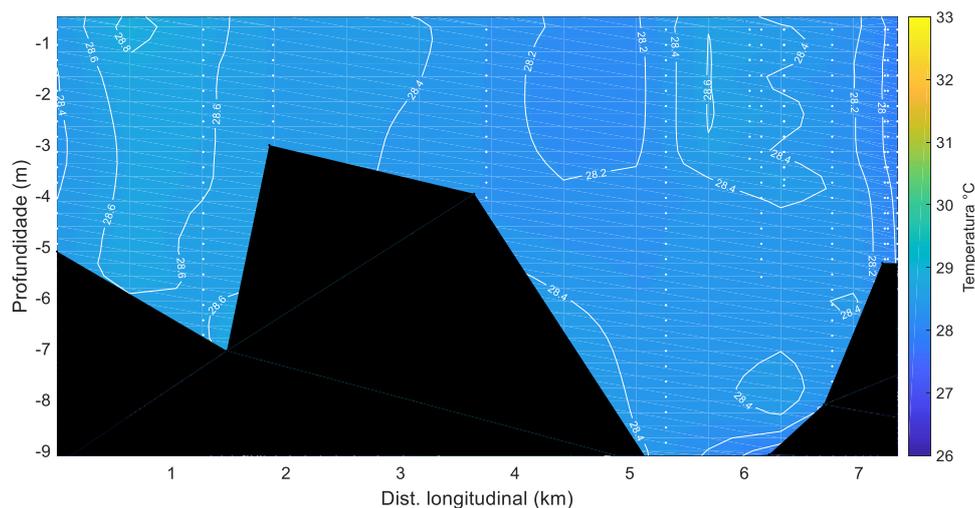


**Figura 16:** Distribuição longitudinal da salinidade na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à ESF 30 (ponto mais distante da foz), no período de preamar do dia 29 de Abril de 2021. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.

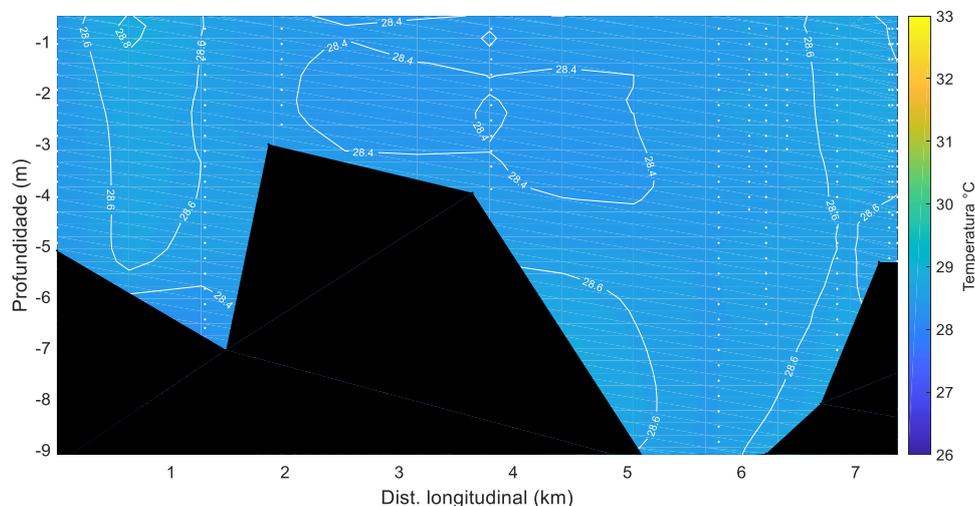
### ***Temperatura***

Para a análise da temperatura da água, também foi utilizada a variação longitudinal deste parâmetro no trecho monitorado. As temperaturas da água na foz do rio São Francisco, nas marés de sizígia (lua nova e lua cheia) no mês de Abril de 2021, a temperatura registrada nas coletas estiveram predominantemente entre 28 e 29°C. Nos períodos de preamar, as temperaturas em geral foram mais altas, todas as campanhas de preamar foram coletadas no período vespertino o que está associado com o momento do dia em que as águas expostas ao sol acumulam o calor adquirido durante todo o dia além do acúmulo de água que ocorre na foz, onde vamos ter a entrada de água do continente pela vazão do rio assim como a entrada de água do mar devido à maré. As temperaturas mais baixas registradas estiveram próximo de 26°C, foram registradas na região próximo ao ponto ESF 28. De maneira geral, a temperatura esteve entre 28,0 e 29,5 °C, como mostram as Figuras 17 a 24.

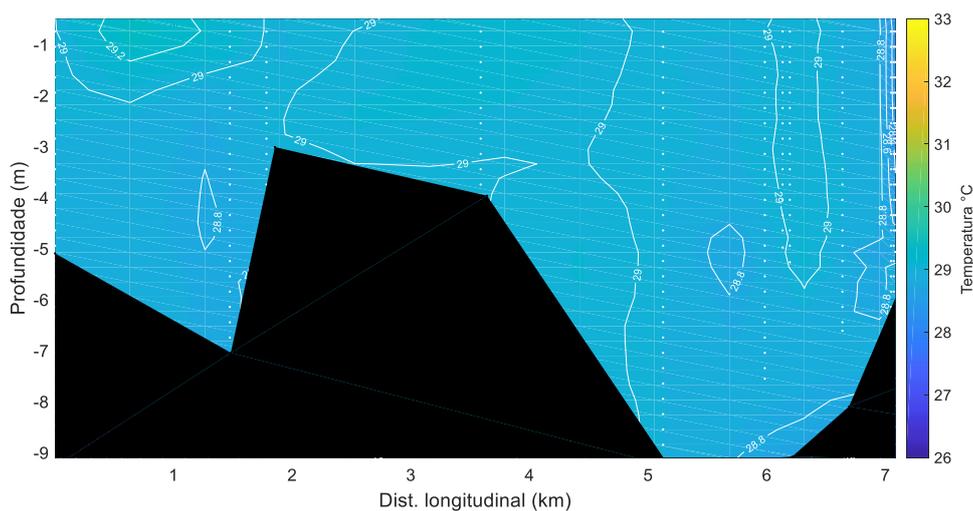
*Baixamar e preamar do dia 13 e 14 de Abril de 2021*



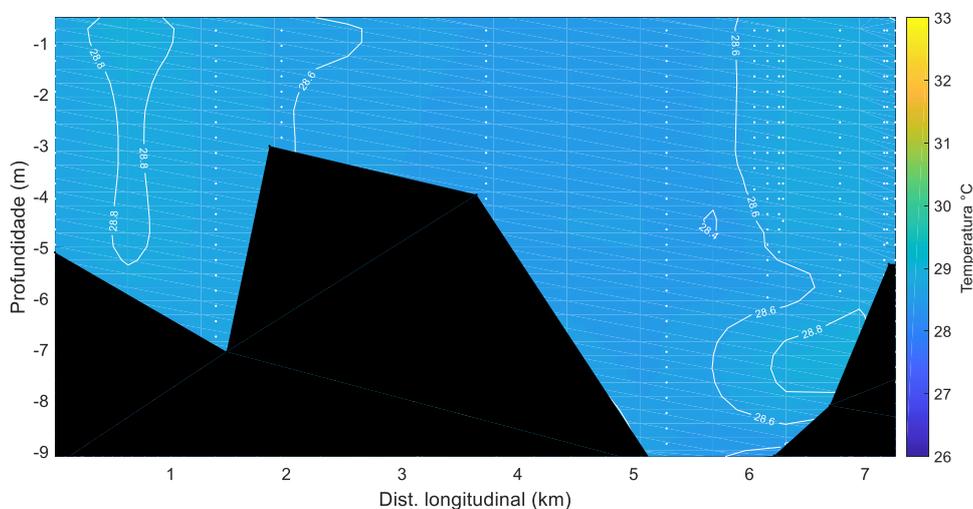
**Figura 17:** Distribuição longitudinal da temperatura da água na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à estação ESF 30 (ponto mais distante da foz,) no período de baixamar do dia 13 Abril de 2021. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.



**Figura 18:** Distribuição longitudinal da temperatura da água na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à estação ESF 30 (ponto mais distante da foz,) no período de preamar do dia 13 de Abril de 2021. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.

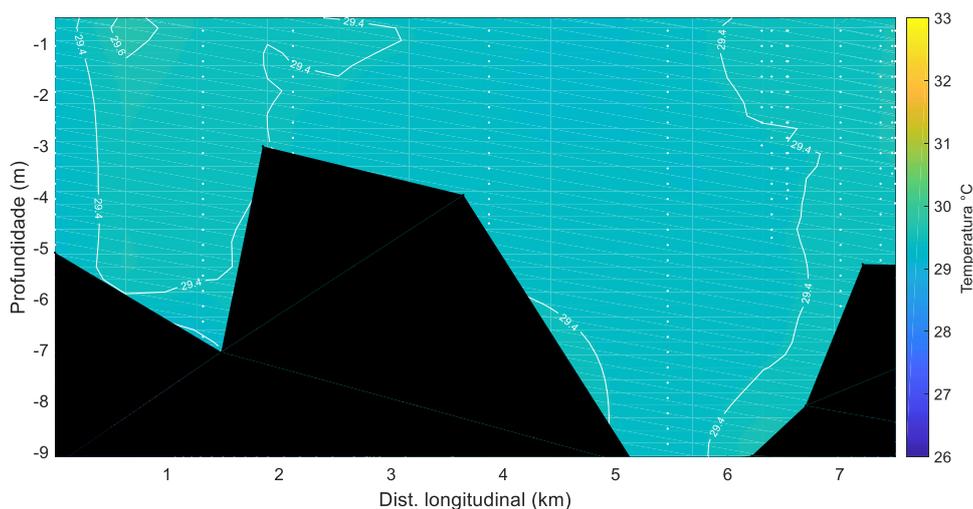


**Figura 19:** Distribuição longitudinal da temperatura da água na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à estação ESF 30 (ponto mais distante da foz,) no período de baixamar do dia 14 de Abril de 2021. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.

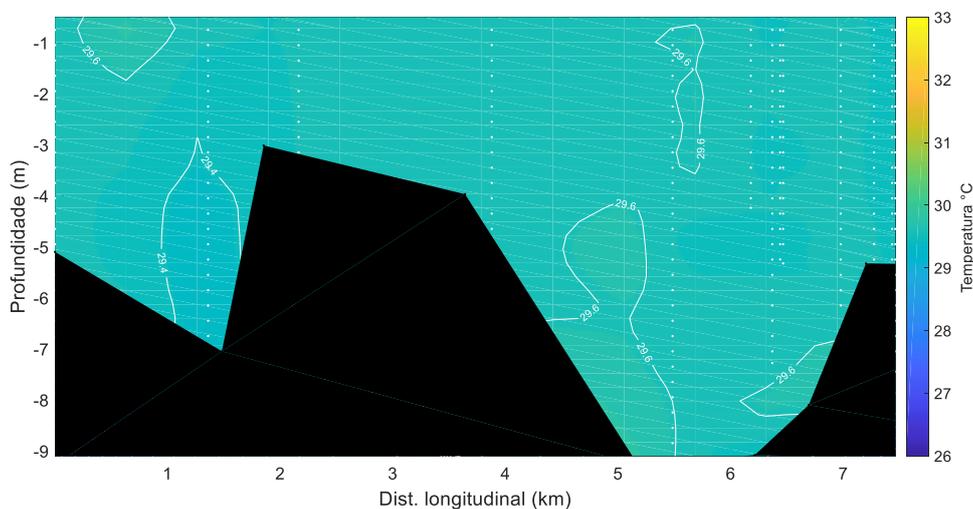


**Figura 20:** Distribuição longitudinal da temperatura da água na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à estação ESF 30 (ponto mais distante da foz,) no período de preamar do dia 14 de Abril de 2021. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.

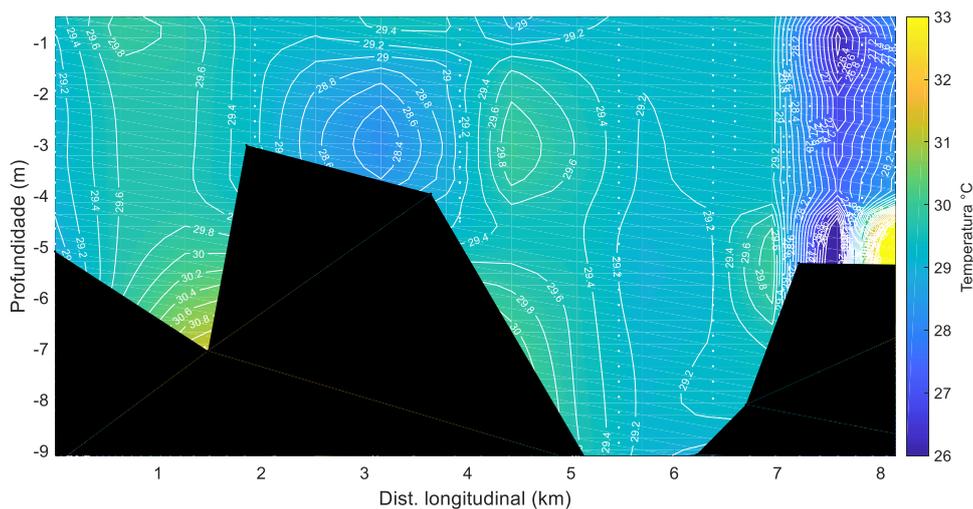
Baixamar e preamar do dia 28 e 29 de Abril de 2021.



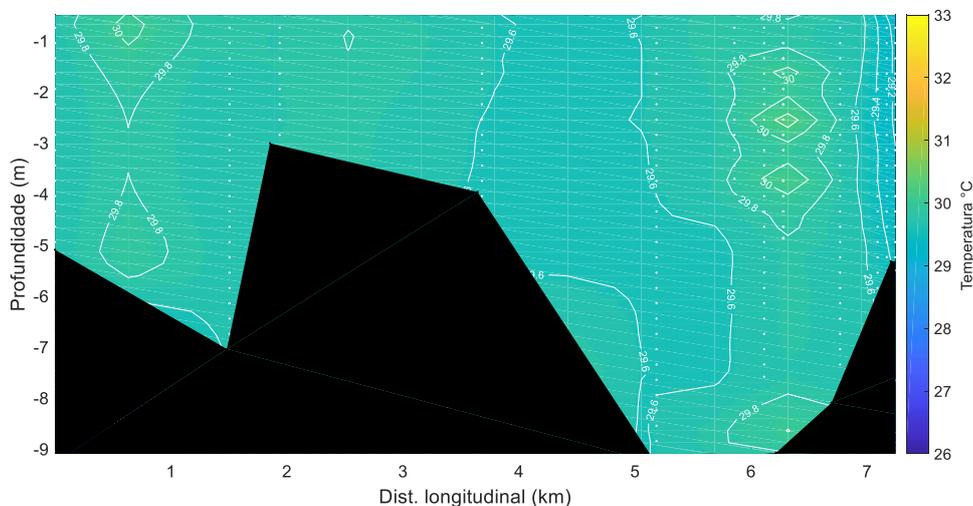
**Figura 14:** Distribuição longitudinal da temperatura da água na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à estação ESF 30 (ponto mais distante da foz,) no período de baixamar do dia 28 de Abril de 2021. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.



**Figura 22:** Distribuição longitudinal da temperatura da água na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à estação ESF 30 (ponto mais distante da foz,) no período de preamar do dia 28 de Abril de 2021. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.



**Figura 23:** Distribuição longitudinal da temperatura da água na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à estação ESF 30 (ponto mais distante da foz,) no período de baixamar do dia 29 de Abril de 2021. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.



**Figura 24** Distribuição longitudinal da temperatura da água na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à estação ESF 30 (ponto mais distante da foz,) no período de preamar do dia 29 de Abril de 2021. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.

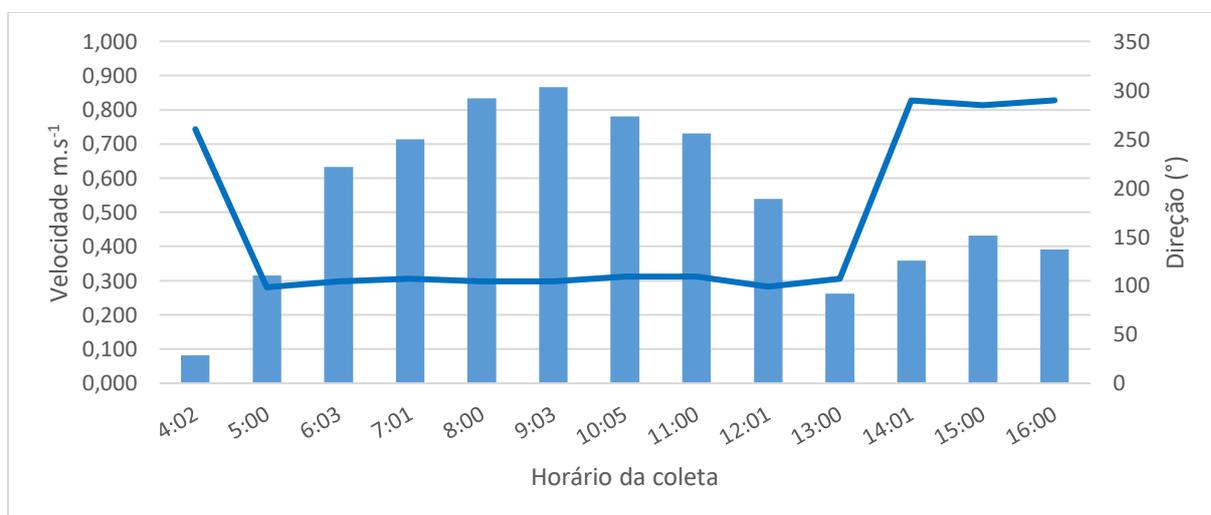
## MONITORAMENTO FIXO

As Tabelas 16 e 17 apresentam os dados relativos ao horário das coletas, direção e velocidade dos ventos no monitoramento fixo nas estações de captação em Brejo Grande – SE e Piaçabuçu – Al (localidade de Penedinho), cujos dados podem ser visualizados nas Figuras 25 e 26.

### Dados hidrodinâmicos, campanhas fixas realizadas nos dias 14 e 15 de Abril de 2021

**Tabela 16:** Dados médio de velocidade e direção da coluna d'água durante o monitoramento fixo na bomba de captação de água de Penedinho (ESF 30), no dia 14 de Abril de 2021.

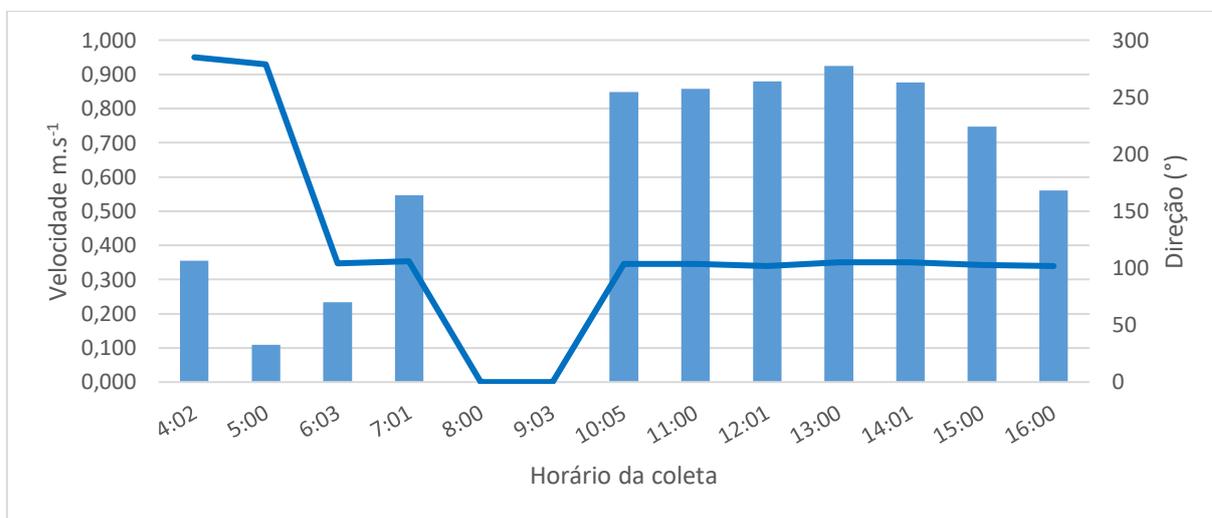
Data	Hora	Vel. (m.s <sup>-1</sup> )	Direção (°)
14/04/2021	18:00	0.081	260
	18:55	0.314	98
	19:50	0.633	105
	20:45	0.714	107
	21:40	0.833	104
	22:35	0.867	104
	23:30	0.781	109
	00:25	0.731	109
	01:20	0.539	99
	02:15	0.262	107
	03:10	0.359	290
	04:00	0.433	285
	05:00	0.391	290



**Figura 25:** Dados hidrodinâmicos coletados durante a campanha fixa em Penedinho (ESF 30) no dia 14 de Abril de 2021. As barras azuis representam a velocidade da corrente e a linha laranja a direção.

**Tabela 17:** Dados médio de velocidade e direção da coluna d'água durante o monitoramento fixo na bomba de captação de água da cidade de Brejo Grande (ESF 32) no dia 15 de Abril de 2021

Data	Hora	Vel. (m.s <sup>-1</sup> )	Direção (°)
15/04/2021	19:00	0.356	285
	20:00	0.110	279
	21:00	0.234	104
	22:00	0.547	106
	23:00	---	----
	00:00	----	---
	01:00	0.848	104
	02:00	0.857	104
	03:00	0.880	102
	04:00	0.925	105
	05:00	0.877	105
	06:00	0.748	103
	07:00	0.560	102



**Figura 26:** Dados hidrodinâmicos coletados durante a campanha fixa na bomba de captação de água da cidade de Brejo Grande, SE (ESF 32), no dia 15 de Abril de 2021. As barras azuis representam a velocidade da corrente e a linha laranja a direção.

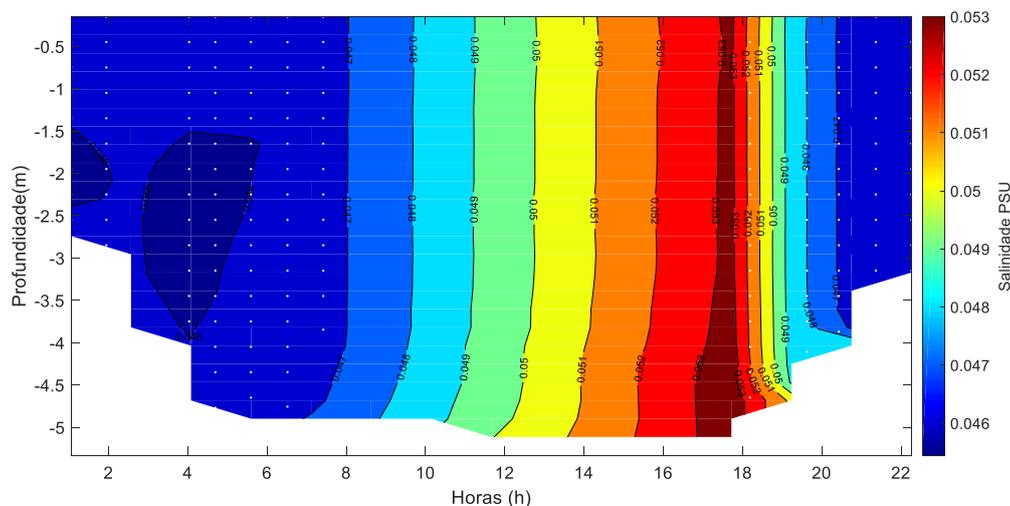
As Figuras 27 a 30 representam a distribuição temporal de salinidade da água das campanhas fixas de 12 horas, realizadas nos dias 13-14, 14-15, 27-28 e 28-29 de Abril de 2021. A salinidade nas campanhas fixas de Brejo Grande e Penedinho se mantiveram abaixo de 0.5 PSU, limite para classificação de água doce segundo a Resolução nº. 357 do CONAMA, os valores mais elevados estiveram próximo de 0.1 PSU, desta forma os parâmetros de salinidade para todas as medições estiveram dentro dos parâmetros seguros para o uso doméstico.

Para temperatura (Figuras 30 a 34) foi observado um padrão temporal similar de variação da temperatura no ciclo diurno, evidenciando uma elevação gradual da temperatura das massas de água ao longo do dia, com uma amplitude média em torno 0,4°C entre a primeira e a última medição, com valores mais elevados no final do dia, em todas as quatro campanhas realizadas.

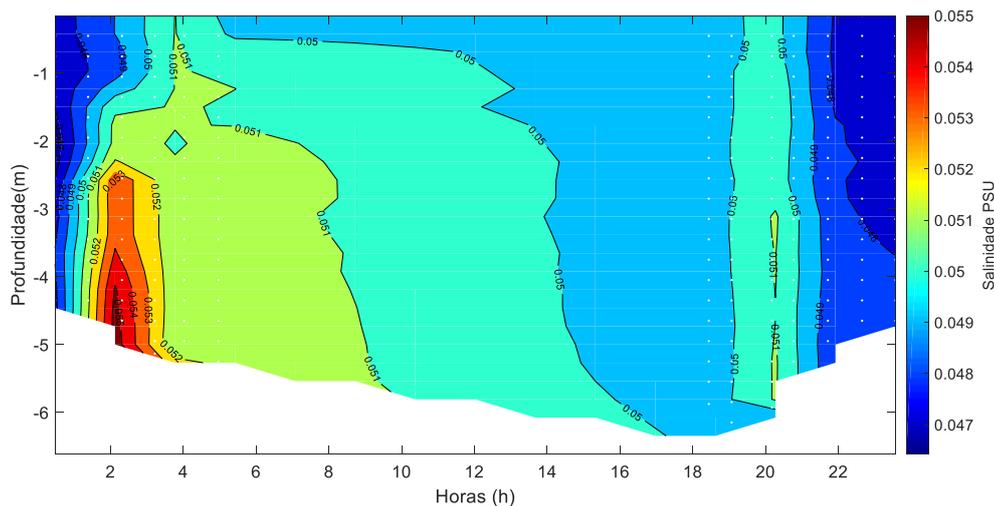
Nas análises de salinidade e temperatura para os pontos fixos os gráficos ficaram dispostos de forma diferente, devido as campanhas terem sido feitas iniciando de noite e continuando na madrugada do dia seguinte o script de programação no matlab gerou os gráficos invertidos, mas ressaltamos que as campanhas iniciaram em torno das 18 horas, parte mais à direita dos gráficos finalizando em torno das 06 horas da manhã do dia seguinte como mostram as linhas pontilhadas na cor branca que representa o momento na escala de tempo do dia da coleta, na região central do gráfico ocorre uma interpolação entre a última coleta e a primeira dados gerados automaticamente pelo programa. Isto ocorreu por que este programa estava elaborado para análises feitas durante o dia, mas nos próximos relatórios os gráficos serão apresentados na escala temporal contínua como anteriormente.

## Resultados de salinidade e temperatura pontos fixos

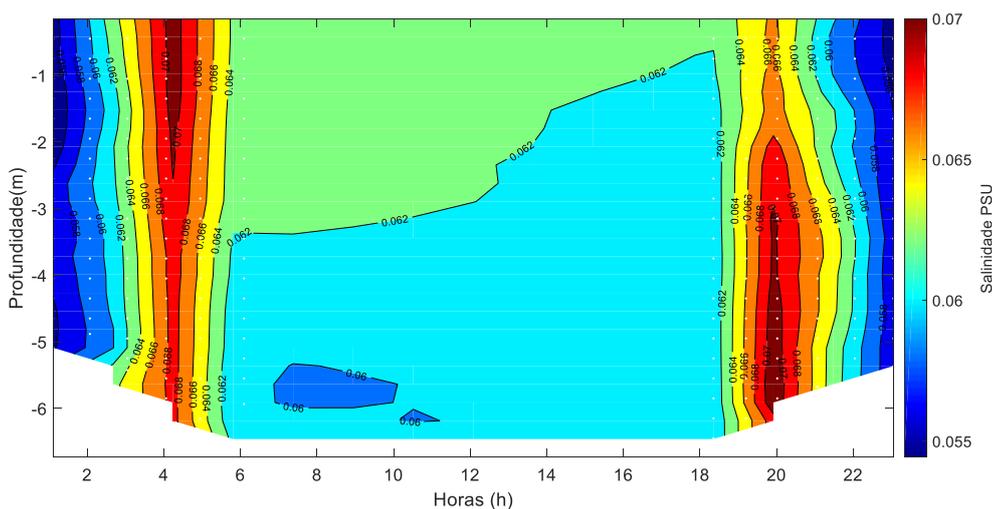
### Salinidade



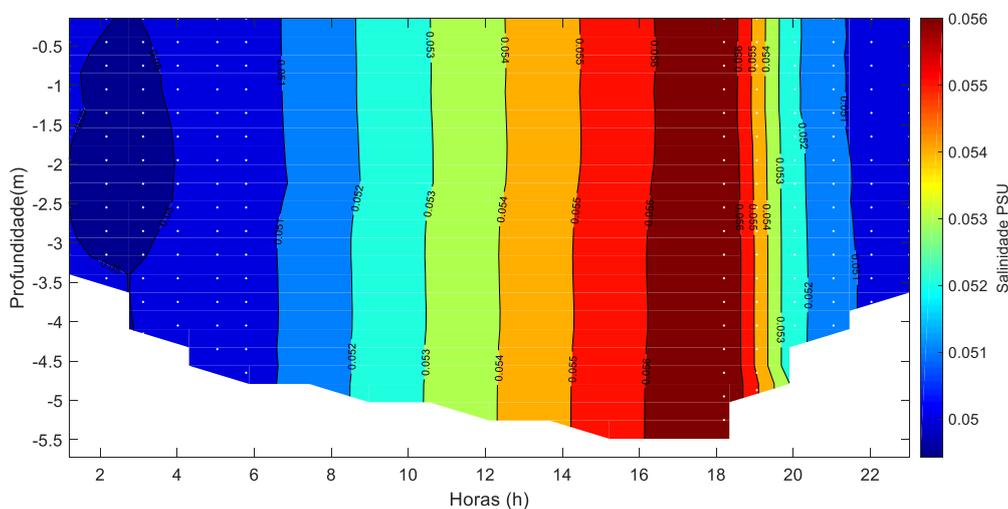
**Figura 27:** Distribuição temporal da salinidade da água durante o monitoramento fixo da cunha salina, realizado no dia 13-14 de Abril de 2021, nas proximidades da bomba de captação de água da cidade de Brejo Grande- SE. Os pontos brancos representam o momento do dia da campanha quando os perfis foram realizados e o formato do fundo corresponde à variação do nível da coluna d'água ou o ponto máximo de alcance do CTD.



**Figura 28:** Distribuição temporal da salinidade da água durante o monitoramento fixo da cunha salina, realizado no dia 14-15 de Abril de 2021, nas proximidades da bomba de captação de água da cidade de Penedinho (ESF 30), ESF 32. Os pontos brancos representam o momento do dia da campanha quando os perfis foram realizados e o formato do fundo corresponde à variação do nível da coluna d'água ou o ponto máximo de alcance do CTD.

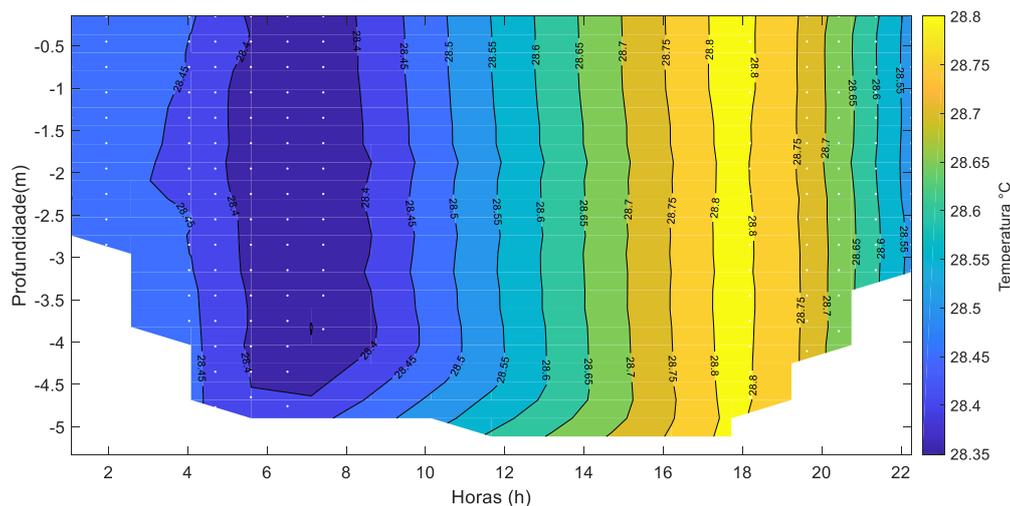


**Figura 29:** Distribuição temporal da salinidade da água durante o monitoramento fixo da cunha salina, realizado no dia 28-29 de Abril de 2021, nas proximidades da bomba de captação de água da cidade de Brejo Grande, ESF 32. Os pontos brancos representam o momento do dia da campanha quando os perfis foram realizados e o formato do fundo corresponde à variação do nível da coluna d'água ou o ponto máximo de alcance do CTD.

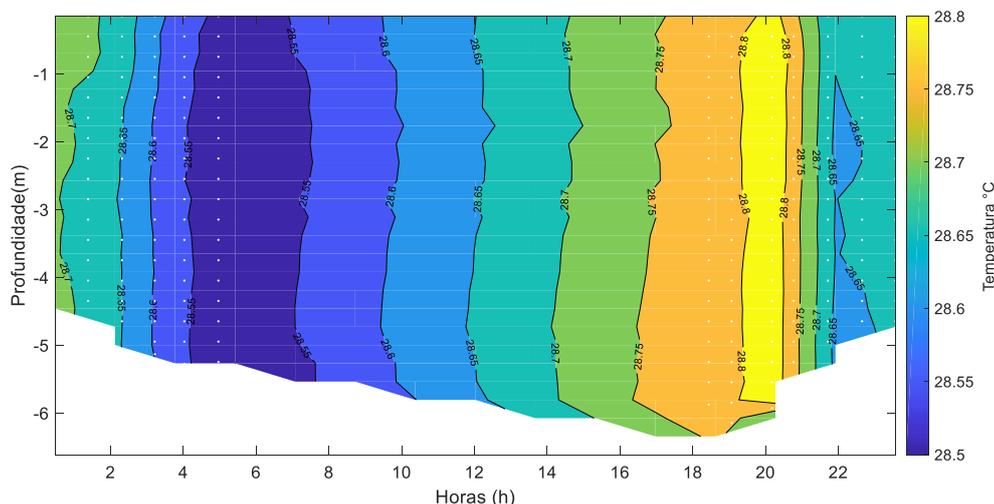


**Figura 30:** Distribuição temporal da salinidade da água durante o monitoramento fixo da cunha salina, realizado no dia 27-28 de Abril de 2021, nas proximidades da bomba de captação de água de Penedinho (ESF 30). Os pontos brancos representam o momento do dia da campanha quando os perfis foram realizados e o formato do fundo corresponde à variação do nível da coluna d'água ou o ponto máximo de alcance do CTD.

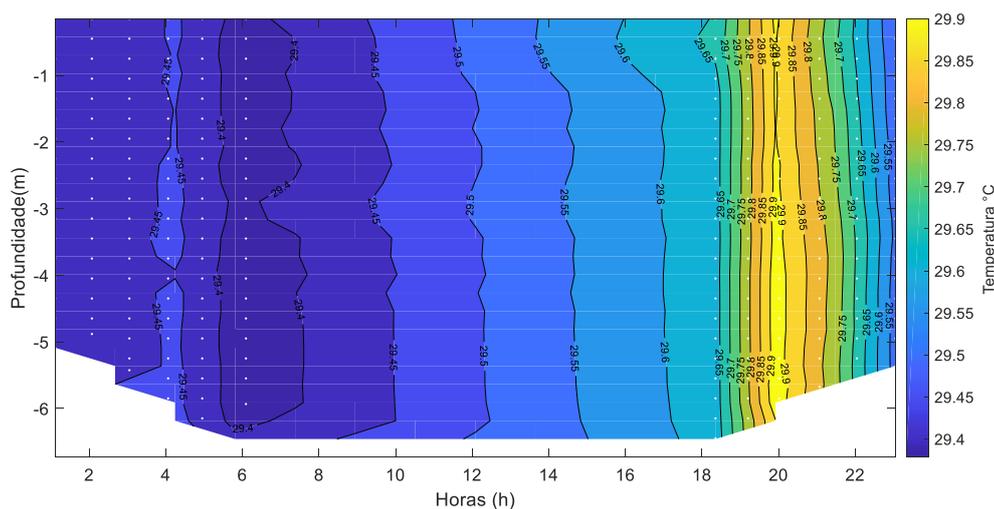
## Temperatura



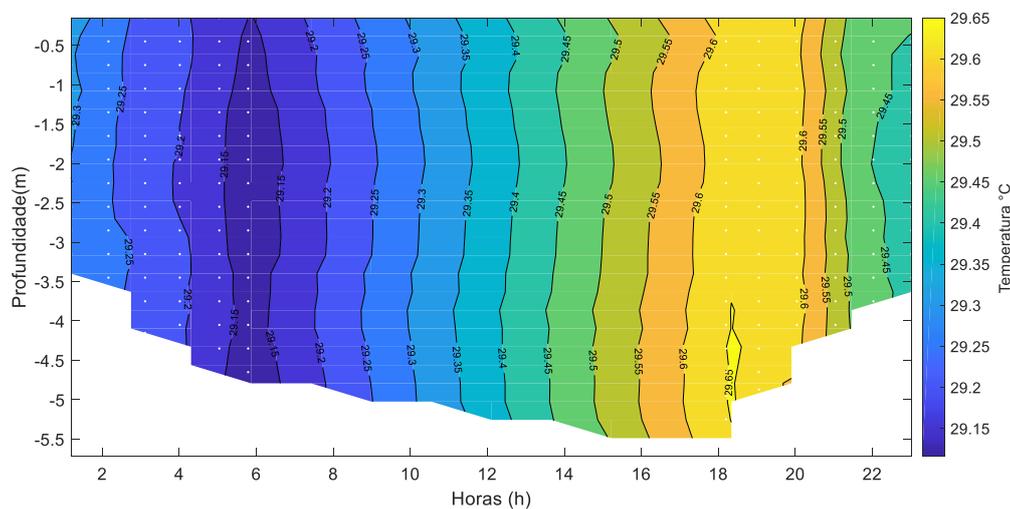
**Figura 31:** Distribuição temporal da temperatura da água durante o monitoramento fixo realizado no dia 13-14 de Abril de 2021, nas proximidades da bomba de captação de água da cidade de Brejo Grande (ESF 32). Os pontos brancos representam o momento do dia da campanha quando os perfis foram realizados e o formato do fundo corresponde à variação do nível da coluna d'água ou o ponto máximo de alcance do CTD.



**Figura 32:** Distribuição temporal da temperatura para o monitoramento fixo de 12 horas da cunha salina, realizado no dia 14-15 de Abril de 2021 nas proximidades da bomba de captação de água da cidade de Brejo Grande (ESF 32). Os pontos brancos representam o momento do dia da campanha quando os perfis foram realizados e o formato do fundo corresponde à variação do nível da coluna d'água ou o ponto máximo de alcance do CTD.



**Figura 33:** Distribuição temporal da temperatura para o monitoramento fixo de 12 horas da cunha salina, realizado no dia 27-28 de Abril de 2021 nas proximidades da bomba de captação de água da cidade de Piaçabuçu (Penedinho, ESF 30). Os pontos brancos representam o momento do dia da campanha quando os perfis foram realizados e o formato do fundo corresponde à variação do nível da coluna d'água ou o ponto máximo de alcance do CTD.



**Figura 34:** Distribuição temporal da temperatura para o monitoramento fixo de 12 horas da cunha salina, realizado no dia 28-29 de Abril de 2021 nas proximidades da bomba de captação de água da cidade Brejo Grande-SE (ESF 32). Os pontos brancos representam o momento do dia da campanha quando os perfis foram realizados e o formato do fundo corresponde à variação do nível da coluna d'água ou o ponto máximo de alcance do CTD.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As marés durante as campanhas de coleta variaram entre a altura mínima de 0,0 m nos dias 27 e 28 de Abril de 2021 e a máxima de 2,3 m no dia 27 e 28 de Abril de 2021. Os ventos sopraram de forma predominantes da direção sudeste  $122^\circ$ , com velocidades média de  $3,8 \text{ m.s}^{-1}$ , e a temperatura atmosférica média foi de  $27,7^\circ\text{C}$  para o período de lua nova e  $27,7^\circ\text{C}$  para o período de lua cheia.

As correntes apresentaram seu deslocamento de forma bidirecional, de acordo com a disposição geomorfológica de cada estação, tendo 8 delas (ESF D1, ESF 10, ESF 14, ESF 18, ESF 21, ESF 22, ESF 23 e ESF 25) apresentado variação entre o eixo de  $120^\circ - 300^\circ$  (sudeste-noroeste), e as estações ESF, 26, ESF 27, ESF 28, ESF 30, ESF 31 e ESF 32 se deslocado no eixo nordeste-sudoeste. A correntes mais intensas foram registradas nos momentos de vazante da maré nas estações localizadas no eixo sudeste-noroeste (ESF D1, ESF 10, ESF 14, ESF 18, ESF 21, ESF 22 e ESF 23); onde a velocidade média das correntes foi de  $0,43 \text{ m.s}^{-1}$ . As correntes mais fortes foram registradas na superfície da coluna d'água, tendo decrescido com o aprofundamento ao longo da coluna d'água.

A temperatura da água do rio não demonstrou um padrão definido longitudinalmente nas campanhas móveis, tendo a distribuição de temperatura estando aparentemente relacionada diretamente com as condições do tempo, no caso das campanhas fixas a distribuição de temperatura está relacionada com o ciclo diurno. De forma geral, apresentou uma distribuição homogênea em torno de  $28,8^\circ\text{C}$ .

E, por fim e mais importante, foi o comportamento da salinidade no Baixo São Francisco onde foi registrado nas campanhas móveis, a penetração da cunha salina durante a preamar que alcançou o ponto ESF 18, distante aproximadamente 9,5 km da boca da barra do rio. A presença de água salgada na região mais próxima da foz esteve homogeneamente distribuída por toda a coluna d'água no período de preamar, atingindo picos chegando a 33 PSU, diferente dos momentos de baixamar, quando a salinidade se concentrou no fundo dos perfis entre os pontos ESF\_D1 e ESF 10, distantes entre aproximadamente 5,54 e 6,13 km da foz do rio, atingindo picos de 30 PSU.

Nas campanhas fixas, tanto em Brejo Grande quanto em Penedinho, a salinidade se manteve constante durante as 12 horas de monitoramento, em todas as quatro campanhas

referentes ao mês de abril/2021. De maneira geral, os perfis de salinidade para as campanhas nos pontos fixos estiveram inferiores a 0,1 PSU, o que demonstra níveis seguros em relação à salinidade para a captação de água doce nos pontos ESF 32 (Brejo Grande - SE) e ESF 30 (Penedinho - AL). De acordo com a resolução do CONAMA 357 de 2015, a água é considerada doce até salinidade de 0,5 PSU, salobra de 0,5 a 30 PSU e salina a partir de 30 PSU.

## REFERÊNCIAS CONSULTADAS

ANA- Agência Nacional de Águas 2020, acessado em 28 de Agosto de, 2020, no site <http://ana.gov.br>

ANA- Agência Nacional de Águas 2017, Resolução N° 2.081, de 04 de Junho de 2017. Condições de operação do sistema hídrico do Rio São Francisco.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução no 357, de 17 de Junho de 2005. Brasília. 2005.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Variáveis de Qualidade das Águas. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp#serie>. Acessado

Domingues, E. C; Schettini, C. A. F; Truccolo, E. C. Filho, J. C. O., 2017. Hydrography and current on the Pernambuco Continental Shelf, Brazilian Journal of Water Resources, Porto Alegre v. 22, e. 43,

Schettini, C.A.F., Miranda, J.B., Valle-Levinson, A., Truccolo, E.C., Domingues, E.C., 2016. The circulation of the lower Capibaribe estuary (Brazil) and its implications in the transport of scalars. Brazilian Journal of Oceanography. 64 (3), 263-276. (a)

Valle-Levinson, A. & Schettini, C.A.F 2015., Fortnightly switching of residual flow drivers in tropical semiarid estuary. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 1-10.