



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**

**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA**

**BÁRBARA REGINA DOS SANTOS SOUZA**

**TENDÊNCIAS DE VARIAÇÃO DE LONGO PRAZO DA TEMPERATURA DA  
ÁGUA NA BAÍA DE TODOS OS SANTOS**

**SALVADOR**

2022

**BÁRBARA REGINA DOS SANTOS SOUZA**

**TENDÊNCIAS DE VARIAÇÃO DE LONGO PRAZO DA TEMPERATURA DA  
ÁGUA NA BAÍA DE TODOS OS SANTOS**

Monografia apresentada ao curso de graduação  
em Oceanografia, Instituto de Geociências,  
Universidade Federal da Bahia, como requisito  
parcial para obtenção do grau de Bacharel em  
Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Camargo Lessa.

SALVADOR

2022

**BÁRBARA REGINA DOS SANTOS SOUZA**

**TENDÊNCIAS DE VARIAÇÃO DE LONGO PRAZO DA TEMPERATURA DA  
ÁGUA NA BAÍA DE TODOS OS SANTOS**

Monografia apresentada ao curso de graduação em Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Camargo Lessa.

Aprovado em \_\_/\_\_/\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Guilherme Camargo Lessa

---

Prof. Dr. Clemente Augusto Tanajura

---

Prof. Dr. Ruy Kenji Papa de Kikuchi

## AGRADECIMENTOS

*“Mas que poderei retribuir ao Senhor por tudo o que Ele fez em meu favor?”* (Salmo 115). Inicio aqui agradecendo a Deus por tudo que Ele fez e faz por mim sempre e simplesmente por quem Ele é: o dono de toda sabedoria e ciência, que em sua infinita bondade se inclina para me alcançar e me dá um raio de sabedoria e pela intercessão de minha mãe Maria Santíssima. Ciente de que Deus também age por meio das pessoas para nos alcançar, estendo meus agradecimentos aqui a todos que fizeram parte da minha trajetória direta ou indiretamente:

Agradeço as minhas famílias: de sangue – minha mãe Adilza, meu pai Antonio Carlos e minha irmã Victória Marian – pela vida e que mesmo com os muitos percalços do caminho me apoiou a seguir estudando; e a de fé – Comunidade Católica Missão Redenção – por me ajudar a servir a Deus antes de tudo. Aos meus amigos por serem meus companheiros de caminhada na vida.

Ao meu queridíssimo orientador Guilherme Lessa que me ajudou desde o segundo ano da graduação, me aceitou pra trabalhar com ele e que sempre me ajudou nas dificuldades e ensinou de forma leve, compreensiva e entusiasmada, sempre benevolente as minhas demandas e dificuldades.

A todos os meus professores (decentes) por todo conhecimento adquirido e em especial aos que me deram carta de recomendação pra o mestrado e aos professores de geofísica da monitoria da disciplina Geologia Física.

Aos meus colegas da minha turma de 2018, especialmente a minha dupla de três (Sabrina Palma e Gabriella Freitas), Antoniwal Augusto, Paula Santiago, Tamires Tocchine, Lara Borges e Giullia Fernandes.

Aos meus colegas da pesquisa: galera do labcity (Laboratório de Modelagem e Observação Oceanográfica) Maria Luíza, George Oliveira, Gabriel Luca e Ilana Sampaio, por tornarem o ambiente de trabalho mais aconchegante e divertido, mesmo havendo uma “rixa” entre ar condicionado ligado vs. ar condicionado desligado; Lucas Fonseca pela paciência pra me ajudar e ensinar nas atividades da pesquisa, programação e campo; Felipe Moraes que é o cara dos mapas; e Alessandro Prantoni pela ajuda e conhecimento passado nos campos.

Aos meus veteranos, hoje formados, alguns distantes e outros mais próximos, que me inspiram como alunos e profissionais na área que são Maurício Andrade, Ana Carolina, Milena Nervino, Iasmin Gargur, Jarbas Farias e Jessica Cunha.

A CNPQ pelo fomento por 2 anos da minha pesquisa e a Petrobras, através do projeto “Avaliação e Pesquisa do Coral-Sol na Baía de Todos os Santos”, pelo fomento da minha pesquisa no último ano.

*“Por muito que estudes e aprendas, terás que referir tudo sempre ao único princípio. Sou eu que ensino ao homem a ciência, e dou aos pequeninos mais clara compreensão do que os homens são capazes de ensinar.” [...]*

*“Pois tudo que parece próprio para alcançar a paz e a felicidade nada é sem Vós, nem pode trazer-nos a verdadeira felicidade. Vós sois, pois, o remate de todos os bens, a plenitude da vida, o abismo da ciência; esperar em vós acima de tudo é a maior das consolações dos vossos servos. A vós, Senhor, levanto os meus olhos, em vós confio, Deus meu, Pai de misericórdia!”*

(Tómas de Kempis, Imitação de Cristo)

## RESUMO

O campo de temperatura, no oceano e em estuários como a Baía de Todos os Santos, é importante regulador de diversos processos físicos, geoquímicos e biológicos, que por sua vez têm reflexos socioeconômicos. Mudanças no clima têm sido registradas em várias regiões do mundo e estudos recentes verificaram uma tendência de aridificação no nordeste brasileiro. A diminuição da precipitação e descargas fluviais causaram um aumento da salinidade da baía, sendo também provável que a temperatura da água tenha sido afetada. Séries históricas de dados meteo-oceanográficos de 2012 a 2015 e 2019 a 2022, foram correlacionadas com séries históricas de vazão fluvial, precipitação, e temperatura do ar para, através de modelo de regressão múltipla, estimar as variações de temperatura nas últimas 6 décadas e tentar identificar tendências de longo prazo. Os resultados evidenciam uma tendência de redução da vazão fluvial defluente a represa Pedra do Cavalo e precipitação a uma taxa de  $-14,00 \text{ m}^3/\text{s}/\text{década}$  e  $-93,40 \text{ mm}/\text{década}$ , respectivamente. A temperatura do ar, ao contrário das outras variáveis, aumentou a uma taxa de  $+0,10 \text{ }^\circ\text{C}/\text{década}$ . O modelo de regressão linear apresenta uma maior importância da temperatura do ar em todas as estações na determinação da temperatura da água, com coeficiente de 0,39 na estação da plataforma continental (ST1f), 0,46 e 0,72 nas estações da entrada da baía no fundo e na superfície (ST2f e ST2s, respectivamente), e 0,77 e 0,87 na estação mais interna da baía no fundo e na superfície (ST3f e ST3s, respectivamente), com erro quadrático médio da regressão de  $0,75 \text{ }^\circ\text{C}$  (ST1f)  $0,69 \text{ }^\circ\text{C}$  (ST2f)  $0,91 \text{ }^\circ\text{C}$  (ST2s)  $0,86 \text{ }^\circ\text{C}$  (ST3f)  $0,83 \text{ }^\circ\text{C}$  (ST3s). A temperatura da água aumentou, sobretudo nas estações internas, alcançando uma taxa de  $+0,11 \text{ }^\circ\text{C}/\text{década}$  ( $+0,7 \text{ }^\circ\text{C}$  em 6 décadas) em ST3f. O aumento da temperatura da água nos meses de verão foi ainda mais expressivo, alcançando uma taxa de  $+0,19 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $+1,14 \text{ }^\circ\text{C}$  em 6 décadas) também em ST3f. A maior taxa de aumento da temperatura na estação na estação mais interna próxima ao fundo sugere a influência de outros processos influenciando as tendências no interior da baía, que não foi captado pelo modelo. As tendências de longo prazo no aporte hídrico refletem a tendência de aridificação regional identificada em estudos anteriores e as tendências observadas na temperatura da água são consistentes com esse fato, especialmente com relação a temperatura do ar.

Palavras-chave: Temperatura da água. Estuário tropical. Mudanças climáticas.

## ABSTRACT

The temperature field, in the ocean and in estuaries similar to Baía de Todos os Santos, is an important regulator of several physical, geochemical and biological processes, which also have socioeconomic consequences. Climate changes have been recorded in several regions of the world and recent studies have verified a tendency towards aridification in northeastern Brazil. The decrease in precipitation and river discharges caused an increase in salinity in the bay, and it is also likely that the water temperature was affected. Historical series of meteorological and oceanographic data from 2012 to 2015 and 2019 to 2022 were correlated with historical series of river flow, precipitation, and air temperature to, through a multiple regression model, estimate temperature variations in 6 decades and try to identify long-term trends. The results show a trend towards a reduction in river flow from the Pedra do Cavalo dam and precipitation at a rate of  $-14.00 \text{ m}^3/\text{s}/\text{decade}$  and  $-93.40 \text{ mm}/\text{decade}$ , respectively. The air temperature, unlike the other variables, increased at a rate of  $+0.10 \text{ }^\circ\text{C}/\text{decade}$ . The linear regression model shows a greater importance of air temperature at all stations in determining water temperature, with coefficient of 0.39 at the continental shelf station (ST1f), 0.46 and 0.72 at the bay entrance bottom and surface stations (ST2f and ST2s, respectively), and 0.77 and 0.87 at the innermost bay station at the bottom and surface (ST3f and ST3s, respectively), with a root mean square error of the regression of  $0.75 \text{ }^\circ\text{C}$  (ST1f)  $0.69 \text{ }^\circ\text{C}$  (ST2f)  $0.91 \text{ }^\circ\text{C}$  (ST2s)  $0.86 \text{ }^\circ\text{C}$  (ST3f)  $0.83 \text{ }^\circ\text{C}$  (ST3s). The water temperature increased, mainly in the indoor stations, reaching a rate of  $+0.11 \text{ }^\circ\text{C}/\text{decade}$  ( $+0.7 \text{ }^\circ\text{C}$  in 6 decades) in ST3f. The increase in water temperature in the summer months was even more expressive, reaching a rate of  $+0.19 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $+1.14 \text{ }^\circ\text{C}$  in 6 decades) also in ST3f. The higher rate of station temperature increase at the innermost station near the bottom suggests the influence of other processes influencing trends in the interior of the bay, which was not captured by the model. Long-term trends in water supply reflect the regional aridification trend identified in previous studies, and observed trends in water temperature are consistent with this fact, especially with respect to air temperature.

Keywords: Water temperature. Tropical estuary. Climate changes.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>1.1 Área de estudo .....</b>	<b>10</b>
<b>2 METODOLOGIA .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 Dados de temperatura .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2 Dados secundários .....</b>	<b>14</b>
<b>2.3 Modelo de regressão múltipla .....</b>	<b>16</b>
<i>2.3.1 Validação do modelo .....</i>	<i>17</i>
<b>3 RESULTADOS .....</b>	<b>19</b>
<b>3.1 Temperatura do ar, precipitação e vazão fluvial .....</b>	<b>19</b>
<b>3.2 Validação do modelo de regressão múltipla .....</b>	<b>20</b>
<b>3.3 Temperatura pretérita .....</b>	<b>24</b>
<b>4 DISCUSSÃO .....</b>	<b>29</b>
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>32</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>33</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A temperatura em ambientes estuarinos é importante em diversos processos físicos, geoquímicos e biológicos. Variações de temperatura podem influenciar na abundância de fitoplâncton (Wang et al., 2021b) e zooplâncton (Wooldridge e Deyzel, 2012), na distribuição de bivalves (Kamenev e Nekrasov, 2012) e também na distribuição e ocorrência de peixes (Harrison e Whitfield, 2006) e no seu sucesso reprodutivo, provocando potencialmente mudanças na abundância (Greenwood et al., 2002). Além disso, a temperatura tem efeito sobre as reservas de energia em moluscos e seu aumento induz a diminuição dos níveis de enzimas como a catalase e resulta em danos oxidativos nestes organismos (Pokhrel et al., 2021). A temperatura ainda influencia na floculação e deposição de partículas de lama (Jiang et al., 2004) e na saturação de oxigênio dissolvido (Liu et al., 2020; Iriarte et al., 2010).

A temperatura dos oceanos é controlada pela radiação solar na superfície, que por sua vez é modulada pelo tipo de clima, o que inclui sazonalidade e balanço de água (precipitação – evaporação), sobretudo nas camadas mais superficiais (Aken, 2008). Em frequências maiores de tempo, a mistura de diferentes massas d'água na região costeira por processos difusivos de maré e advectivos da circulação média também causam variações importantes na temperatura da água (Aken, 2008).

Como consequência do aquecimento global, mudanças do clima atual em várias regiões do mundo têm provocado alterações na temperatura da água do mar (Wang et al., 2021a; Shellenbarger e Schoellhamer, 2011). No nordeste brasileiro, foram verificadas tendências de aumento da aridez, com a diminuição da precipitação (Marengo et al., 2017; Lacerda et al., 2015) e aumento da temperatura do ar (Marengo e Camargo, 2008). Dubreuil et al. (2018) relatam, inclusive, a ocorrência de alterações dos tipos de clima na maior parte da região. Na região da Baía de Todos os Santos (BTS) Lessa et al. (2018, 2019) e Mariani et al. (2021) também verificaram tendências de aumento da aridificação, com aumento da temperatura de 0,1 °C por década e diminuição no aporte fluvial e precipitação atmosférica a taxas de -6,05 m<sup>3</sup>/s e -83 mm por década, respectivamente. Estas alterações recentes do clima causaram um aumento da salinidade da BTS, identificada por Mariani et al. 2021, sendo também provável que a temperatura da água tenha sido afetada.

Estudos recentes (Thévenin et al., 2019; Santos et al., 2015) relatam a existência de eventos de ressurgência na plataforma continental em frente à BTS, os quais são importantes na regulação do campo de temperatura, e estão presumivelmente ocorrendo com maior intensidade, em virtude do aumento da frequência e intensidade dos ventos provenientes de leste-nordeste, sugerido por Lessa et al. (2018). Assim sendo, o gradiente térmico médio entre a plataforma e o interior da baía pode ter aumentado ao longo das últimas décadas. Thévenin et al (2019) relatam que a ressurgência de quebra de plataforma, isto é, junto ao fundo na borda da plataforma continental, é mais frequente e intensa do que aquela documentada junto à superfície por Santos et al. (2015). Os registros do campo termohalino da BTS utilizados por Lessa et al. (2019) mostram que a água ressurgida é advectada para dentro da BTS pela circulação gravitacional, alcançando a parte central da baía após 3 a 4 dias.

O campo termohalino da BTS e plataforma continental é monitorado desde 2012 com sensores fundeados, perfilagens verticais com CTD e através de sensores orbitais. Séries temporais relativamente extensas permitem agora correlacionar as variações de temperatura da água com as variáveis atmosféricas. Desta forma, o objetivo do presente trabalho é investigar tendências de longo prazo (décadas) da temperatura da água da Baía de Todos os Santos, através de modelo de regressão linear múltipla, considerando séries de temperatura da água *in situ* obtidas ao longo de 6 anos e séries históricas de dados meteorológicos e fluviométricos para estimar a temperatura a partir da década de 1960.

## 1.1 Área de estudo

A Baía de Todos os Santos é um grande estuário do nordeste brasileiro geomorfologicamente classificado como tectônico (Lessa et al., 2000), e oceanograficamente classificado como positivo e bem misturado (Cirano e Lessa, 2007). A plataforma continental à frente da BTS é a mais estreita do Brasil, com largura média em torno de 17 km (Lessa et al., 2019) e quebra situada a aproximadamente 50 m de profundidade (Campos e Dominguez, 2010).

A profundidade média da baía é de 9,8 m com algumas regiões alcançando mais de 50 m como no Canal de Salvador (Cirano e Lessa, 2007). O regime mareal da BTS é classificado como semi-diurno, e ao adentrar a baía, a onda de maré tem sua altura amplificada e distorcida, com período de enchente superior ao período de vazante e tem um regime de mesomaré, com altura máxima de sizígia de 1,84 m na plataforma e 2,94 m na Baía de Iguape (Cirano e Lessa,

2007). O aporte fluvial é proveniente principalmente das bacias de drenagem dos rios Paraguaçu, Jaguaripe e Subaé, além de outras 91 bacias de menor porte (Lessa et al., 2009). O Rio Paraguaçu é o de maior descarga e, segundo Lessa et al. (2009), drena uma área de cerca de 56.000 km<sup>2</sup>, que corresponde a aproximadamente 92% da bacia drenagem afluenta à baía. A descarga fluvial do Rio Paraguaçu teve seu regime modificado a partir da construção da represa Pedra do Cavalo, em funcionamento desde 1986, que causou uma redução de aproximadamente 20% da média histórica da descarga (Lessa et al., 2018). O volume de água fluvial que deságua na BTS é fortemente influenciado pela sazonalidade do regime de chuvas sob a baía e bacias de drenagem periféricas, com máximo de precipitação entre os meses de abril e agosto, quando ocorre 59% do total anual (Lessa et al., 2018).

Segundo a climatologia (1986-2015) do INMET, o clima da BTS é descrito como sendo tropical úmido, com 25,6 °C de média anual de temperatura do ar e 1861 mm de média anual de precipitação (Mariani et al., 2021).

Na plataforma adjacente à baía, eventos de ressurgência ocorrem nos meses de primavera e verão (Thévenin et al., 2019; Lessa et al., 2018) e causam anomalias negativas de temperatura de até 2,8 °C (Thévenin et al., 2019).

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Dados de temperatura

Entre os anos de 2012 e 2015, dados de temperatura foram obtidos em intervalos de 1h através de sensores HOBO fundeados ao longo do eixo longitudinal da BTS em duas estações: uma com sensor no fundo a -30 m (TS2f) na entrada da BTS (Figura 1 – Tabela 1) e outra próximo à Ilha dos Frades com sensores no fundo a -30 m e na superfície a -4 m (TS3f e TS3s, respectivamente (Figura 1 – Tabela 1). O sensor HOBO é do modelo U24 com resolução de 0,01°C e 2  $\mu$ S/cm, acurácia de 5% da leitura.

Um novo conjunto de dados passou a ser obtido a partir de outubro de 2019 junto com o Projeto Avaliação e Pesquisa do Coral-Sol na Baía de Todos os Santos, quando foram instaladas 3 estações de monitoramento fixas: ST1 (fundo), ST2 (superfície e fundo) e ST3 (superfície e fundo) (Figura 1 – Tabela 1). Registros de temperatura foram obtidos com sondas hidrográficas multiparamétricas da marca *SeaBird*, modelo *Hydrocat-EP* e com correntômetros Doppler (*Acoustic Doppler Current Profiler – ADCP*), nas estações ST1f (20 m de profundidade) e ST3f (30 m de profundidade). As estações ST2 e ST3 se localizam próximo às estações de fundeio do período 2012-2015 (Figura 1). Os dados de temperatura do ADCP (sondas) foram obtidos com a promediação de 2 minutos (40 s) de leituras a frequência de 1 Hz, em intervalos de 10 min. Os dados das estações TS2 e TS3 do período mais antigo foram unidos aos das estações ST2 e ST3, de profundidade correspondente, constituindo uma única série temporal. Na estação ST2s, em superfície, os dados foram obtidos em intervalos de 3 minutos (médias de 40 s de leitura) a partir de uma boia *AXYS WatchKeeper* do projeto SiMCosta (Sistema de Monitoramento da Costa Brasileira) mantida pela Universidade Federal da Bahia (UFBA), equipada com sensor *SBE 37-SMP-ODO Micro CAT* da *Seabird* com resolução de 0,001 ° e acurácia de 0,002 °.

As estações de monitoramento foram dispostas de modo a compartimentar a área de estudo de forma a captar processos externos e internos a baía, com **i**) uma estação na plataforma continental (ST1 fundo), capaz de captar as influências externas como a ressurgência de quebra de plataforma, **ii**) estações intermediárias na entrada da baía (ST2 fundo e superfície), que captam bem as influências externas e internas, e **iii**) estações na parte central da baía (ST3 fundo e superfície), que são mais influenciadas por processos locais.

Campanhas mensais para a extração dos dados e limpeza dos instrumentos fundeados ocorreram até março de 2020, quando estas campanhas passaram a ocorrer em intervalos de 45 dias. Os dados da boia SiMCosta foram obtidos no site do projeto ([simcosta.furg.br](http://simcosta.furg.br)).

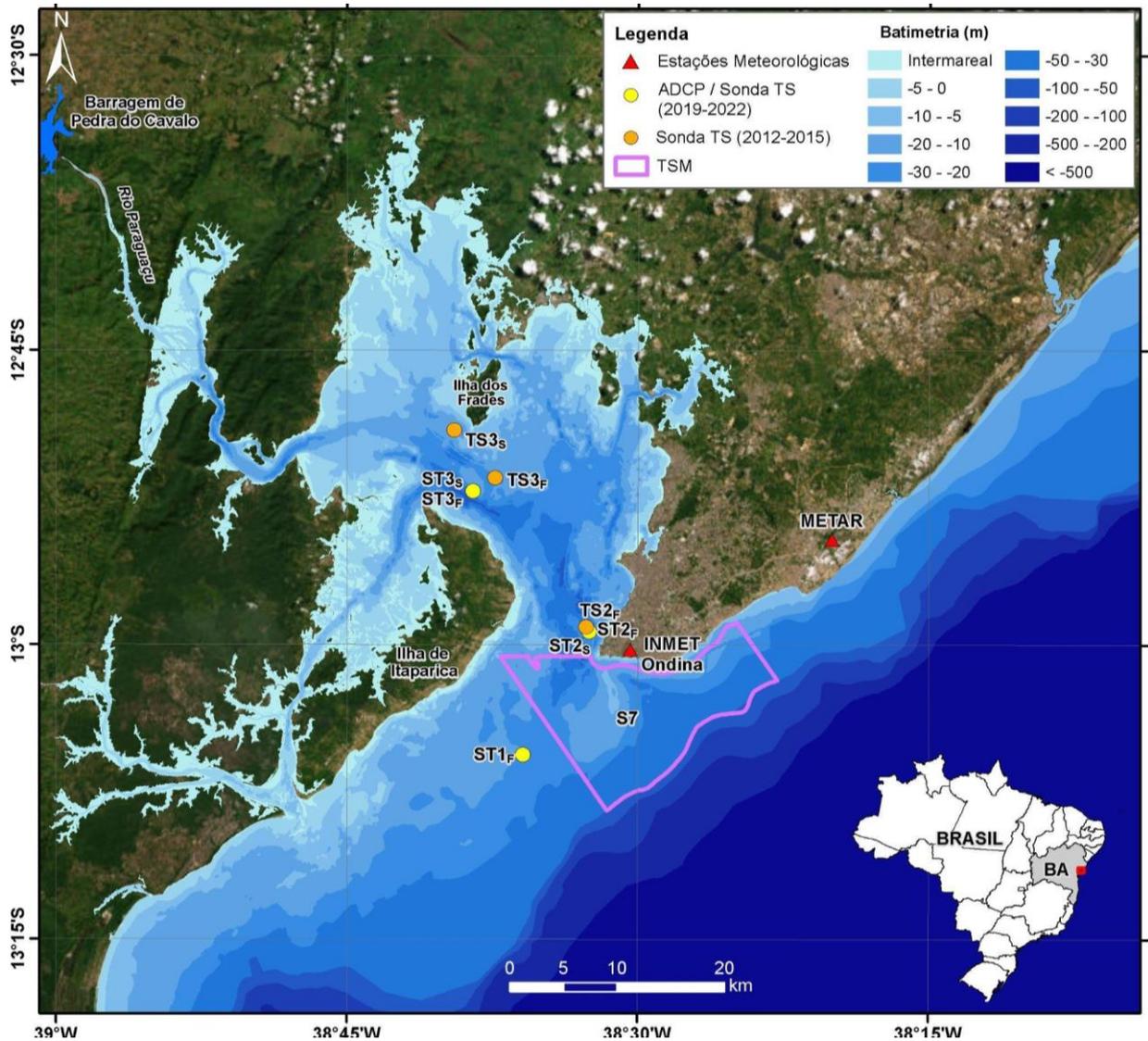


Figura 1: Localização da Baía de Todos os Santos com a localização das estações hidrográficas e meteorológicas, área relativa a TSM e Barragem Pedra do Cavallo.

Os dados passaram por análise de consistência para eliminação de dados espúrios potencialmente causados por incrustação biológica, deslocamento irregular da sonda, sedimentação sobre os sensores, preenchimento de lacunas de dados e cálculo de médias

mensais e tendências. As tendências lineares das séries temporais foram calculadas no software *MatLab*.

Tabela 1: Resumo dos dados das estações hidrográficas.

<b>Estação</b>	<b>Profundidade (m)</b>	<b>Equipamento</b>	<b>Período</b>	<b>Frequência de amostragem</b>
ST1f	-21	ADCP	2019-2020	10 min
TS2f	-30	Sensor HOBO;	2012-2015	Horária
ST2f	-30	Sonda hidrográfica	2019-2022	10 min
ST2s	0,30	Boia SiMCosta	2019-2022	30 min
TS3f	-30	Sensor HOBO	2012-2015	Horária
ST3f	-30	ADCP	2019-2022	10 min
TS3s	-4	Sensor HOBO	2012-2015	Horária
ST3s	-4	Sonda hidrográfica	2019-2021	10 min

## 2.2 Dados secundários

Séries temporais de abril de 2012 a março de 2022 foram obtidas para a Temperatura da Superfície do Mar (TSM), radiação solar e componente do vento longitudinal a costa, e de abril de 1964 a março de 2022 para a temperatura do ar, precipitação e vazão fluvial. A localização das estações meteorológicas, da represa Pedra do Cavalo e da área relativa a TSM está exposta na Figura 1. Na

Tabela 2 se encontra o resumo dos dados.

Dados de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) foram extraídos da plataforma MUR (*Multi-scale Ultra-high Resolution*) via JPL (*Jet Propulsion Laboratory*) da NASA (<https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/MUR-JPL-L4-GLOB-v4.1>). Os dados correspondem a médias diárias com precisão de 0,01° em coordenadas de latitude-longitude e com resolução espacial de 1 km.

Séries históricas em frequência horária de temperatura do ar, radiação solar e precipitação foram obtidas através do portal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para a estação localizada no bairro de Ondina em Salvador.

Os dados de vazão fluvial do Rio Paraguaçu são médias diárias e foram obtidos no site da Agência Nacional de Águas (ANA) para a estação Argoim na cidade de Rafael Jambeiro – BA, de abril de 1964 até outubro de 1986, quando a Represa Pedra do Cavalo começou a operar. A partir de então os dados de vazão do rio Paraguaçu foram disponibilizados pelo Grupo Votorantim, que administra a represa.

Os dados de vento foram obtidos na plataforma METAR (*METEorological Aerodrome Reports*), localizada no Aeroporto Internacional de Salvador. Os dados são disponibilizados em intervalos de 3 horas no site <http://bancodedados.cptec.inpe.br/downloadBDM/>. Os vetores de vento foram inicialmente rotacionados em 180° para ajuste a referencial oceanográfico de direção. Estes vetores foram então projetados contra a linha de costa (rotação de 40 °) para extração da componente do vento longitudinal à costa.

Os dados passaram por análise de consistência para eliminação de dados espúrios, preenchimento de lacunas e cálculo de médias mensais e anuais. Para o cálculo das médias anuais, foi considerado o ano hidrológico da região, que começa no início da estação úmida (abril) e termina ao final da estação seca (março). O ano hidrológico de descarga do rio Paraguaçu, se inicia em outubro e termina em setembro do ano seguinte (Genz e Lessa 2015), entretanto, foi utilizado no cálculo o ano hidrológico da região, como nos demais dados.

Tabela 2: Resumo dos dados meteorológicos, fluviométricos e de TSM.

<b>Parâmetro</b>	<b>Localização</b>	<b>Fonte</b>	<b>Período</b>	<b>Frequência de amostragem</b>
TSM	Parte externa em frente à BTS	MUR	2012-2022	Diária
Temperatura do ar	Ondina	INMET	1964-2022	Horária
Radiação solar	Ondina	INMET	2012-2022	Horária
Precipitação	Ondina	INMET	1964-2022	Horária
Componente do vento longitudinal a costa	Aeroporto	METAR	2012-2022	3 horas
Vazão fluvial	Argoim; Pedra do Cavalo	ANA; Grupo Votorantim	1964-1986; 1986-2022	Diária

### 2.3 Modelo de regressão múltipla

A temperatura da água no período de 1964 a 2022 foi estimada a partir de um modelo de regressão linear múltipla, utilizando os valores médios mensais meteorológicos, fluviométricos e Temperatura da Superfície do Mar (TSM) como variáveis contínuas preditoras. A regressão múltipla oferece um coeficiente para cada variável preditora, estimados a partir dos dados amostrais, que se combinam em uma equação da seguinte forma:

$$y = C_0 + C_1 \cdot Vp_1 + C_2 \cdot Vp_2 + \dots$$

Diagrama de anotações para a equação de regressão linear múltipla:
 

- Uma linha horizontal aponta de  $C_0$  para o texto "coeficiente linear".
- Uma linha horizontal aponta de  $C_1 \cdot Vp_1$  para o texto "valor amostral variável 1".
- Uma linha horizontal aponta de  $C_2 \cdot Vp_2$  para o texto "ao longo da série temporal".
- Uma linha vertical aponta de  $y$  para o texto "temperatura simulada".
- Uma linha vertical aponta de  $C_1$  para o texto "coeficiente angular variável 1".

Inicialmente foi feita a regressão no período de 2012 a 2022, utilizando dados de TSM (importante para os processos advectivos entre a baía e a plataforma), temperatura do ar e radiação solar, precipitação (atua principalmente nas camadas superficiais), descarga fluvial defluente da represa Pedra do Cavalo (associada aos processos advectivos na interação rio-baía) e a componente da velocidade do vento longitudinal a costa, que atua como principal forçante nos eventos de ressurgência de quebra de plataforma em frente à BTS. Esta primeira regressão resultou no Modelo 1.

Posteriormente foram utilizados apenas os dados de temperatura do ar, precipitação e vazão fluvial, também no período de 2012 a 2022, para avaliar o comprometimento da performance do modelo com um número menor de variáveis, já que estas relacionadas são aquelas para as quais existe uma série histórica de várias décadas, iniciando em 1960. Uma vez avaliada a margem de erros deste segundo modelo, este foi empregado para estimar a variação da temperatura da água nestas últimas 6 décadas e identificar tendências de longo prazo. Esta nova regressão resultou no Modelo 2.

Para avaliar um possível enviesamento dos dados do Modelo 2, devido a uma pequena inversão nas tendências das variáveis que ocorreu a partir de 2018, foi feita uma terceira regressão, considerando apenas o período 1963-2017 para as estações ST2f, ST3f e ST3s, que possuem dados anteriores a 2018, que resultou no Modelo 3.

### 2.3.1 Validação do modelo

A qualidade dos resultados dos modelo de regressão linear múltipla foi avaliada utilizando o coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) e o raiz do erro quadrático médio (*Root Mean Squared Error - RMSE*), calculados de acordo com as seguintes equações:

$$r = \frac{cov(TEMPmod, TEMPobs)}{\sqrt{var(TEMPmod) \cdot var(TEMPobs)}}$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\text{TEMP}_{\text{mod}} - \text{TEMP}_{\text{obs}})^2}$$

onde  $\text{TEMP}_{\text{mod}}$  é a temperatura modelada e  $\text{TEMP}_{\text{obs}}$  é a temperatura observada.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Temperatura do ar, precipitação e vazão fluvial

As variações mensais e anuais de temperatura do ar média, total de precipitação e vazão fluvial são apresentadas na Figura 2. As variações nestes parâmetros mostram claras tendências de longo período. A temperatura do ar aumentou a uma taxa linear de  $0,10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{década}$ . A maior temperatura mensal (anual) foi registrada em fevereiro de 2019 (1999), alcançando  $28,57\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $26,16\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). A menor temperatura mensal (anual) foi registrada em junho de 1968 (1969), alcançando  $22,53\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $24,56\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). A precipitação anual diminuiu linearmente a uma taxa de  $-93,40\text{ mm}/\text{década}$ , bem como a vazão fluvial anual, que diminuiu a uma taxa de  $-14,00\text{ m}^3/\text{s}/\text{década}$ . A precipitação acumulada registrou o maior valor mensal (anual) em abril de 1996 (1974) com  $757,80\text{ mm}$  ( $2872,8\text{ mm}$ ). O menor acumulado mensal (anual) de precipitação ocorreu em fevereiro de 2019 (2009) com  $1,50\text{ mm}$  ( $1173,3\text{ mm}$ ). A maior média mensal (anual) de vazão fluvial ocorreu em dezembro de 1989 (1990) com  $1.876,30\text{ m}^3/\text{s}$  ( $209,96\text{ m}^3/\text{s}$ ). As menores médias mensais (anuais) ocorreram em abril e maio de 1993 e em fevereiro de 1994 (1994) com vazão nula ( $2,49\text{ m}^3/\text{s}$ ).

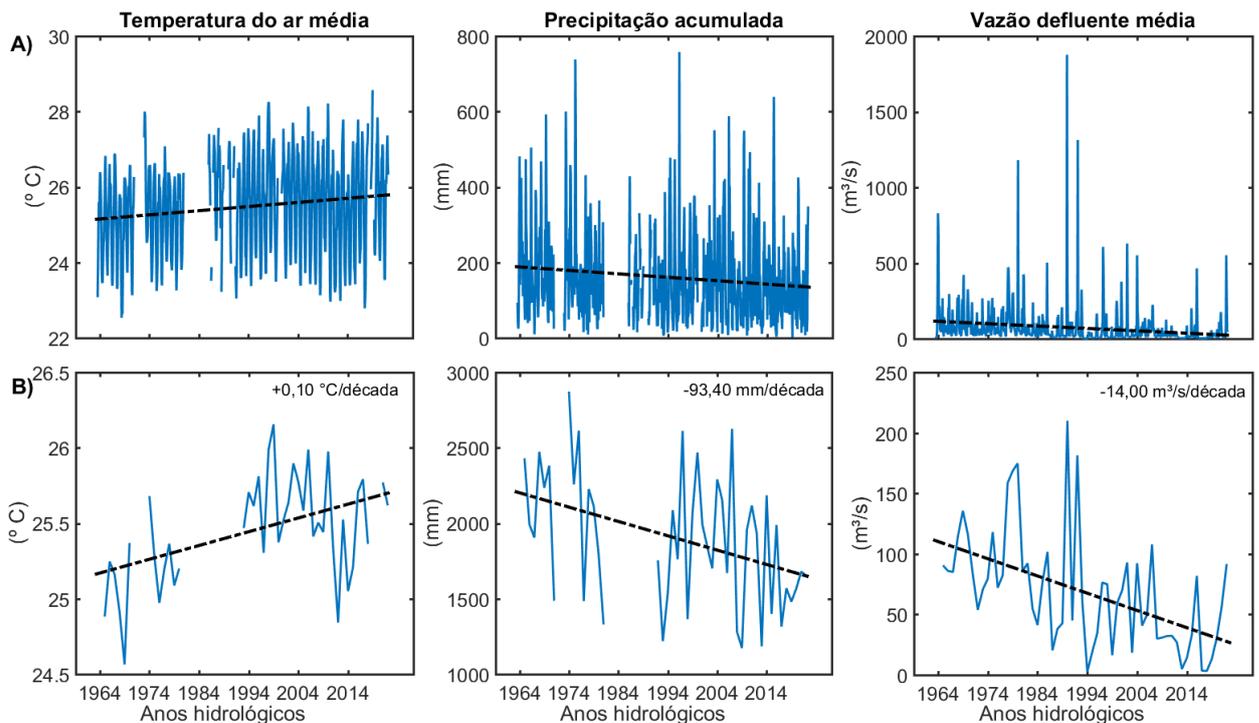


Figura 2: Valores mensais (A) e anuais (B) da temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), precipitação acumulada (mm) e vazão defluente média de Pedra do Cavalo ( $\text{m}^3/\text{s}$ ). Em preto, linhas de tendência.

No período de 2018 a 2022 os parâmetros apresentaram tendência diferente a tendência de longo prazo, quando a temperatura do ar diminui a taxa de  $-0,24\text{ }^{\circ}\text{C/ano}$  e a precipitação e a vazão fluvial aumentaram a taxas de  $+4,67\text{ mm/ano}$  e  $+26,93\text{ m}^3\text{/s/ano}$ , respectivamente (Figura 3).

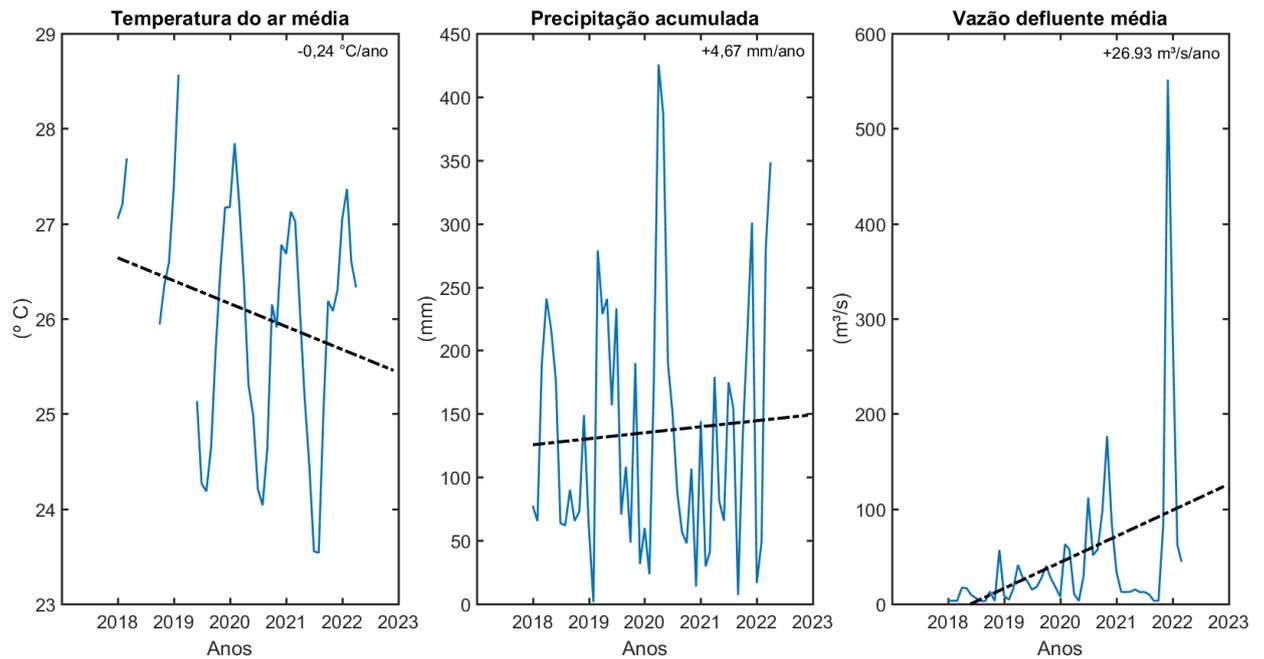


Figura 3: Valores mensais da temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), precipitação acumulada (mm) e vazão defluente média de Pedra do Cavallo ( $\text{m}^3\text{/s}$ ) para o período 2018-2022. Em preto, linhas de tendência.

### 3.2 Validação do modelo de regressão múltipla

A estrutura dos modelos de regressão múltipla 1 e 2 para cada estação, com os coeficientes relacionados a cada parâmetro, está exposta na Tabela 3, onde também se encontram relacionados os valores para o coeficiente de correlação e as raízes dos erros quadráticos médios. A TSM é a variável independente de maior peso no Modelo 1 e a temperatura do ar é a variável com maior peso no Modelo 2. O modelo de regressão 1 apresentou melhor resultado em todas as estações (menores erros e maiores coeficientes de correlação). Os erros variaram de  $0,11\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $0,34\text{ }^{\circ}\text{C}$  e a correlação ficou acima de 0,9 em todas as estações. Os resultados do modelo de regressão 2 apresentaram erros variando entre  $0,40\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $0,66\text{ }^{\circ}\text{C}$  e coeficientes de correlação acima de 0,69. As estações ST2s e ST3s apresentaram as

maiores correlações ( $r > 0,9$ ) no Modelo 2. Os maiores erros associados ao Modelo 2 são devido ao uso de um número menor de variáveis, já que nem todas as séries temporais se estendem à década de 1960.

Tabela 3: Coeficientes e valores médios e erros das regressões múltiplas 1 e 2 para valores mensais.

	Modelo 1					Modelo 2				
	ST1f	ST2f	ST2s	ST3f	ST3s	ST1f	ST2f	ST2s	ST3f	ST3s
Coeficiente linear	1,66	2,82	0,25	-2,39	-0,41	15,6 7	14,3 7	8,14	7,05	5,13
[1] TSM (°C)	<b>1,56</b>	<b>0,96</b>	<b>1,01</b>	<b>0,87</b>	<b>0,62</b>					
[2] Temperatura do ar (°C)	-0,77	-0,11	-0,03	0,16	0,37	<b>0,39</b>	<b>0,46</b>	<b>0,72</b>	<b>0,77</b>	<b>0,87</b>
[3] Precipitação (mm/h * 10 <sup>-3</sup> )	1,67	0,50	0,17	1,16	1,10	4,86	5,09	2,76	3,42	2,68
[4] Radiação (kJ/m <sup>2</sup> * 10 <sup>-3</sup> )	1,40	1,21	0,28	1,62	1,72					
[5] Descarga fluvial defluente Pedra do Cavallo (m <sup>3</sup> /s * 10 <sup>-3</sup> )	0,75	-0,63	-0,80	-2,38	1,59	-1,95	-2,88	-0,98	- 3,43	0,73
[6] Componente do vento longitudinal a costa (m/s)	0,11	0,09	-0,06	-0,01	-0,03					
<b>R</b>	<b>0,96</b>	<b>0,93</b>	<b>0,99</b>	<b>0,96</b>	<b>0,96</b>	<b>0,75</b>	<b>0,69</b>	<b>0,91</b>	<b>0,86</b>	<b>0,93</b>
RMSE (° C)	0,25	0,32	0,11	0,28	0,34	0,58	0,66	0,40	0,55	0,48

A estrutura dos modelos de regressão 2 e 3 para as estações ST2f, ST3f e ST3s é apresentada na Tabela 4, para fins de comparação. Os coeficientes para as variáveis independentes nos Modelos 2 e 3 tem valores diferentes. A temperatura do ar foi mais expressiva no Modelo 3, com diferença de 0,03 °C (ST2f), 0,14 °C (ST3f) e 0,09 °C (ST3s). A

precipitação também foi mais expressiva no Modelo 3 nas estações ST2f e ST3f, com uma diferença de 1,41 mm/h e 1,58 mm/h, respectivamente, enquanto na estação ST3s foi um pouco menos expressiva, com uma diferença de 0,58 mm/h. Ao contrário da precipitação, a vazão fluvial foi menos expressiva em ST2f e ST3f, com diferença de 0,18 m<sup>3</sup>/s e 0,33 m<sup>3</sup>/s, respectivamente. Em ST3s, foi mais expressivo, com diferença de 1,27 m<sup>3</sup>/s.

Tabela 4: Coeficientes e valores médios e erros das regressões múltiplas 2 e 3 para valores mensais.

	Modelo 2			Modelo 3		
	ST2f	ST3f	ST3s	ST2f	ST3f	ST3s
Coeficiente linear	2,82	-2,39	-0,41	13,40	3,79	3,15
[1] Temperatura do ar (°C)	0,46	0,77	0,87	0,49	0,91	0,96
[2] Precipitação (mm/h * 10 <sup>-3</sup> )	5,09	3,42	2,68	6,50	5,00	2,10
[3] Descarga fluvial defluente Pedra do Cavalo (m <sup>3</sup> /s * 10 <sup>-3</sup> )	-2,88	-3,43	0,73	-2,70	-3,10	2,00
R	0,75	0,69	0,91	0,42	0,84	0,93
RMSE (°C)	0,58	0,66	0,40	0,68	0,45	0,35

A Figura 4 mostra a comparação da temperatura da água observada vs. temperatura da água simulada pelo Modelo 1 (Figura 4A) e Modelo 2 (Figura 4B). É evidente os maiores erros do Modelo 2, onde ocorre uma maior dispersão dos dados. O ajuste linear indica maior exatidão para valores mais baixos de temperatura no Modelo 1. Para o Modelo 2, o ajuste linear indica superestimativa das menores temperaturas e subestimativa das maiores temperaturas.

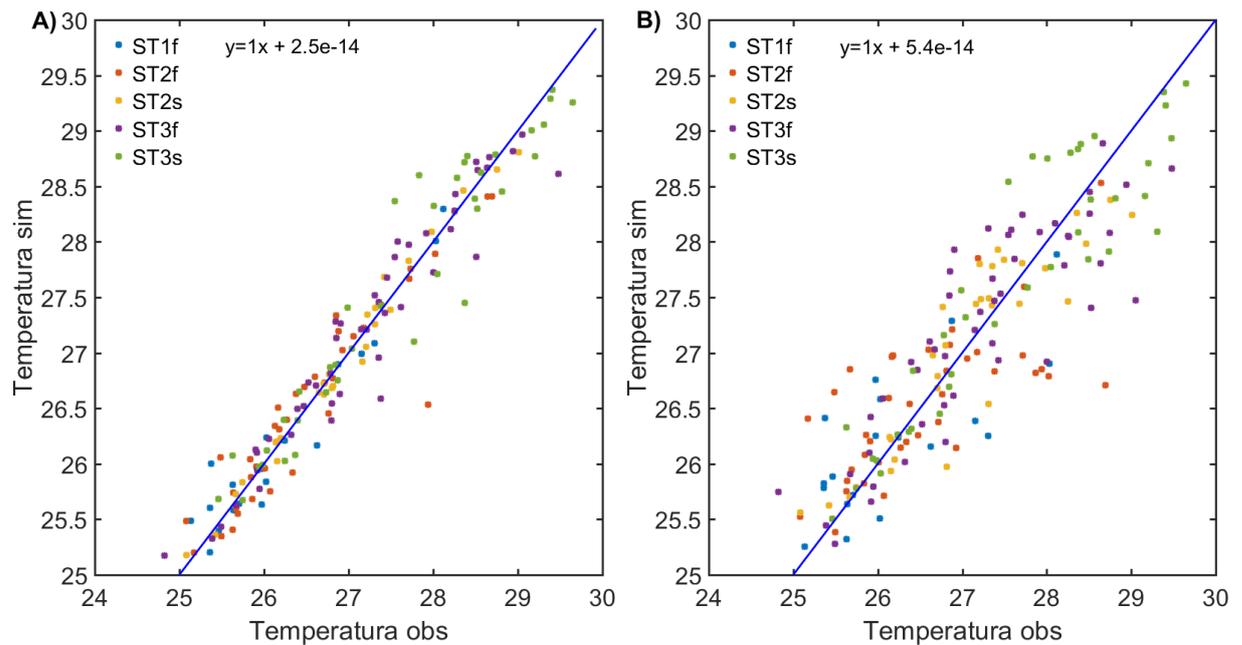


Figura 4: Gráfico de dispersão para temperatura da água observada (°C) vs. temperatura da água simulada (°C) no Modelo 1 (A) e Modelo 2 (B). Em azul, ajuste linear.

Ambos os modelos conseguem reproduzir bem a sazonalidade anual da temperatura da água, com valores máximos e mínimos em fase com os valores observados (Figura 5). A amplitude da temperatura calculada se aproximou da amplitude observada, com exceção de 2021 (ST1f) e 2014 (ST2f e ST3f), quando a amplitude foi subestimada. O Modelo 1, que tem um melhor ajuste com os valores observados, apresentou uma maior discrepância em relação ao Modelo 2 na estação ST1f, sobretudo até o ano de 2020. Isso ocorre devido à remoção da TSM como variável independente.

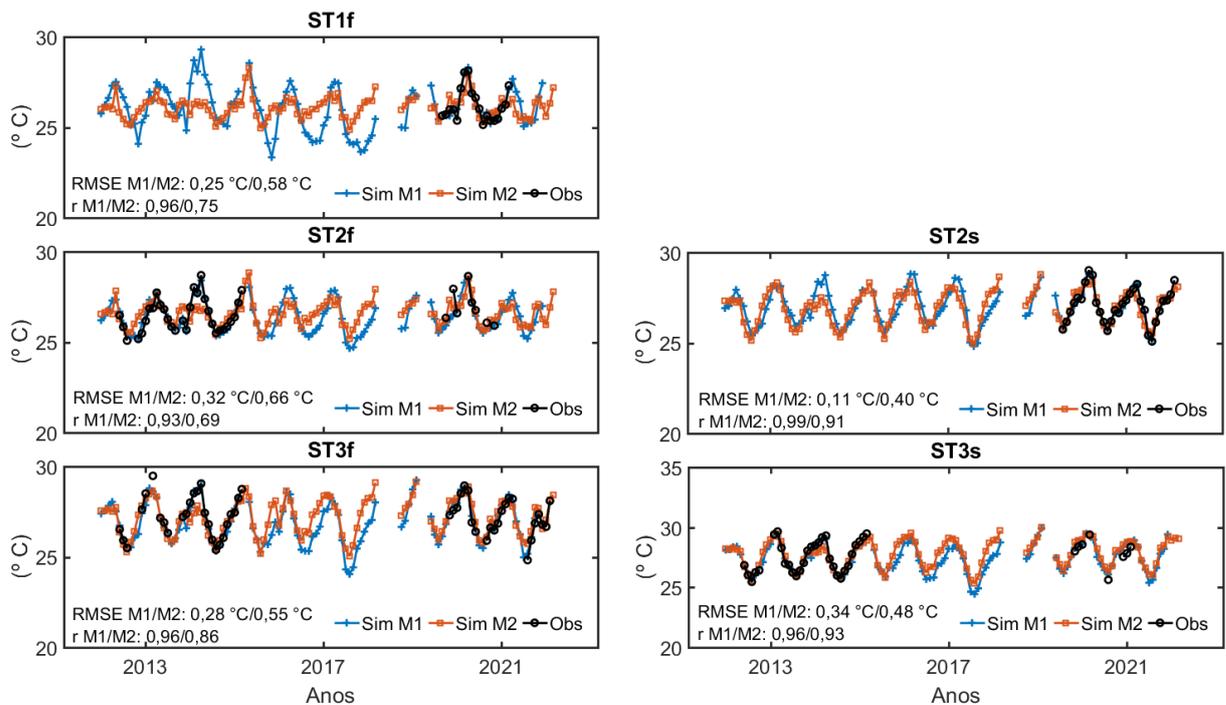


Figura 5: Médias de temperatura da água mensais ( $^{\circ}\text{C}$ ) observadas e simuladas para o Modelo 1 (M1) e Modelo 2 (M2).

### 3.3 Temperatura pretérita da água

A temperatura média mensal calculada para o período de 1963 a 2022 (Modelo 2) é apresentada na Figura 6. Uma tendência de aumento da temperatura é observada em todas as estações, com uma taxa por década de  $0,03^{\circ}\text{C}$  (ST1f),  $0,05^{\circ}\text{C}$  (ST2f),  $0,07^{\circ}\text{C}$  (ST2s),  $0,11^{\circ}\text{C}$  (ST3f) e  $0,06^{\circ}\text{C}$  (ST3s). Os cálculos indicam que o máximo de temperatura ocorreu em abril de 1996 em todas as estações com  $29,43^{\circ}\text{C}$  (ST1f),  $30,14^{\circ}\text{C}$  (ST2f),  $29,15^{\circ}\text{C}$  (ST2s) e  $29,88^{\circ}\text{C}$  (ST3f). Exceção ocorreu em ST3s, quando a temperatura máxima foi em março de 1998 com  $30,01^{\circ}\text{C}$ . Os mínimos ocorreram em fevereiro de 1992 com  $23,98^{\circ}\text{C}$  (ST1f),  $23,29^{\circ}\text{C}$  (ST2f) e  $22,99^{\circ}\text{C}$  (ST3f). As exceções ocorreram em ST2s e ST3s, quando o mínimo de temperatura ocorreu em agosto de 1968 com  $24,75^{\circ}\text{C}$  e  $25,12^{\circ}\text{C}$ , respectivamente.

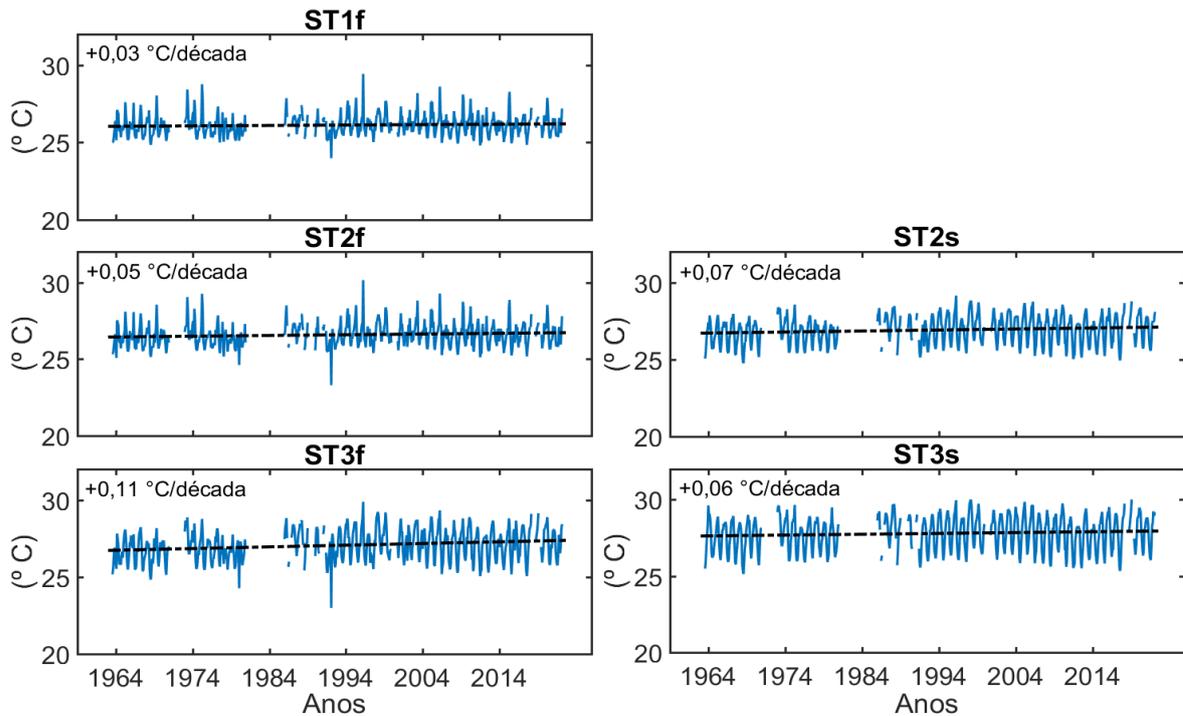


Figura 6: Temperatura média mensal da água (°C) calculada por modelo de regressão linear múltipla de 1963 a 2022 (Modelo 2). Em preto, linhas de tendência.

A temperatura média calculada para o verão a partir das médias mensais do Modelo 2 é apresentada na Figura 7. Os cálculos indicam a média de verão mais quente no ano de 1998 na maioria das estações com 27,30 °C (ST2f), 28,45 °C (ST2s), 28,77 °C (ST3f) e 29,60 °C (ST3s). A estação ST1f foi exceção, tendo o ano de 2005 o verão mais quente com 26,64 °C. O verão menos quente ocorreu em 1992 na maioria das estações com 25,20 °C (ST1f), 25,26 °C (ST2f), 26,77 °C (ST2s) e 25,76 °C (ST3f). O inverno menos quente em ST3s ocorreu em 2014, com 27,95 °C, ano que a temperatura da água foi subestimada pelo Modelo 2. A taxa de aumento por década é de 0,06 °C (ST1f), 0,10 °C (ST2f), 0,12 °C (ST2s), 0,19 °C (ST3f) e 0,10 °C (ST3s).

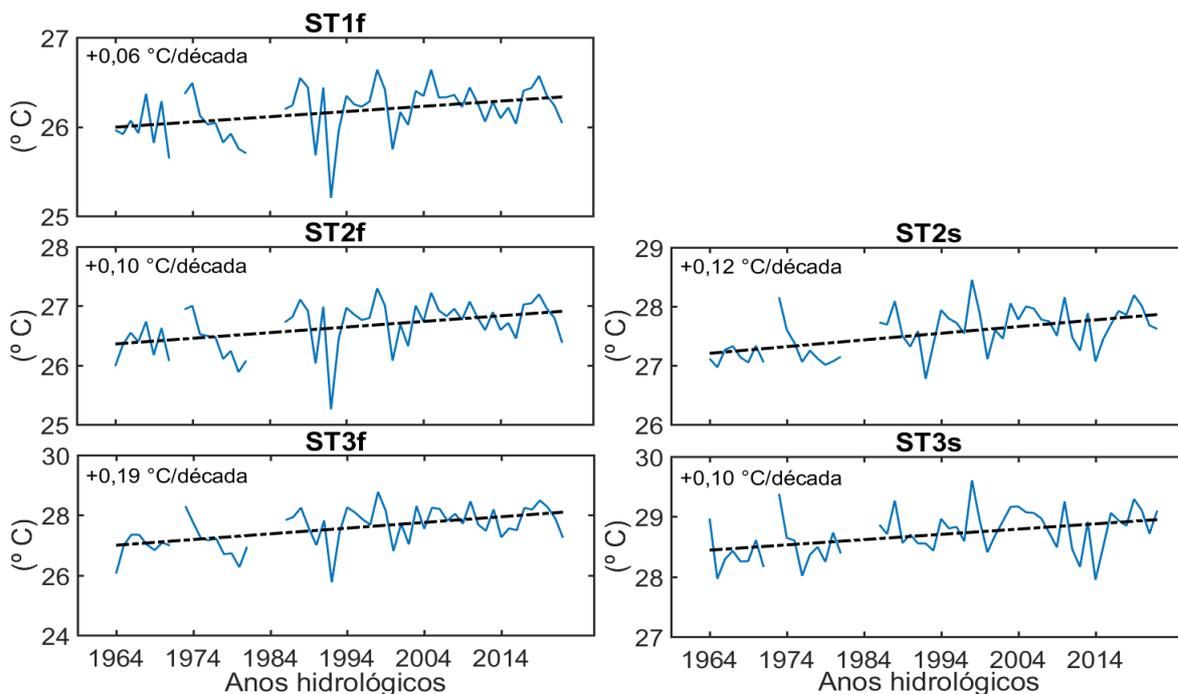


Figura 7: Temperatura média de verão da água ( $^{\circ}\text{C}$ ) calculada a partir do modelo de regressão linear múltipla de 1963 a 2022 (Modelo 2). Em preto, linhas de tendência.

A temperatura média calculada para o inverno a partir das médias mensais do Modelo 2 é apresentada na Figura 8. Os cálculos indicam a média de inverno mais frio em 1964 nas estações ST1f e ST2f com  $24,98^{\circ}\text{C}$  (ST1f) e  $25,31^{\circ}\text{C}$  (ST2f). Nas demais estações o inverno mais frio ocorreu em 1969 com  $25,02^{\circ}\text{C}$  (ST2s),  $25,14^{\circ}\text{C}$  (ST3f),  $25,41^{\circ}\text{C}$  e (ST3s). O inverno menos frio ocorreu em 1995 nas estações ST1f e ST2f, com  $26,49^{\circ}\text{C}$  e  $26,93^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. Nas demais estações o inverno menos frio ocorreu no ano 1974, com  $26,70^{\circ}\text{C}$  (ST2s),  $26,93^{\circ}\text{C}$  (ST3f),  $27,42^{\circ}\text{C}$  (ST3s). Há uma taxa de aumento da temperatura por década de  $0,02^{\circ}\text{C}$  (ST1f),  $0,02^{\circ}\text{C}$  (ST2f),  $0,04^{\circ}\text{C}$  (ST2s),  $0,03^{\circ}\text{C}$  (ST3f) e  $0,02^{\circ}\text{C}$  (ST3s).

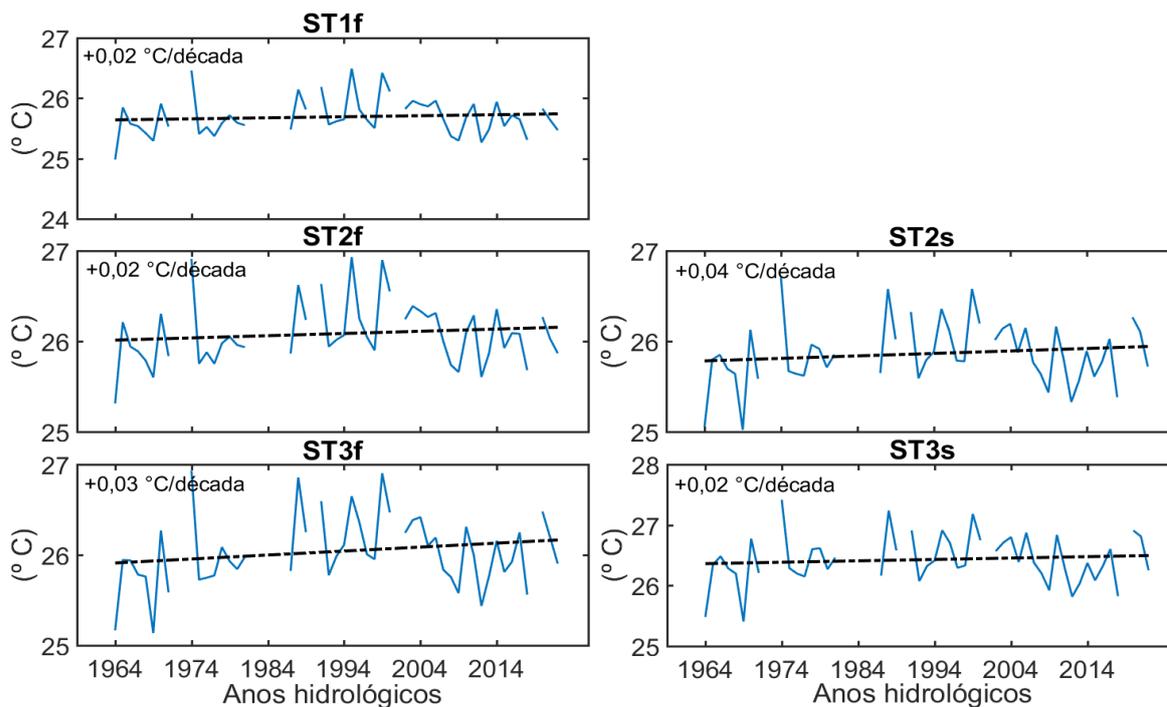


Figura 8: Temperatura média de inverno da água (°C) calculada a partir do modelo de regressão linear múltipla de 1963 a 2022 (Modelo 2). Em preto, linhas de tendência.

A temperatura média mensal calculada para o período de 1963 a 2017 (Modelo 3) é apresentada na Figura 9. Os cálculos indicam que a temperatura da água aumentou por década a uma taxa de 0,04 °C (ST2f), 0,09 ° (ST3f) e 0,03 °C (ST3s). Essa taxa é ligeiramente inferior à calculada pelo Modelo 2 em 0,01 °C (ST2f), 0,02 (ST3f) e em 0,03 °C (ST3s).

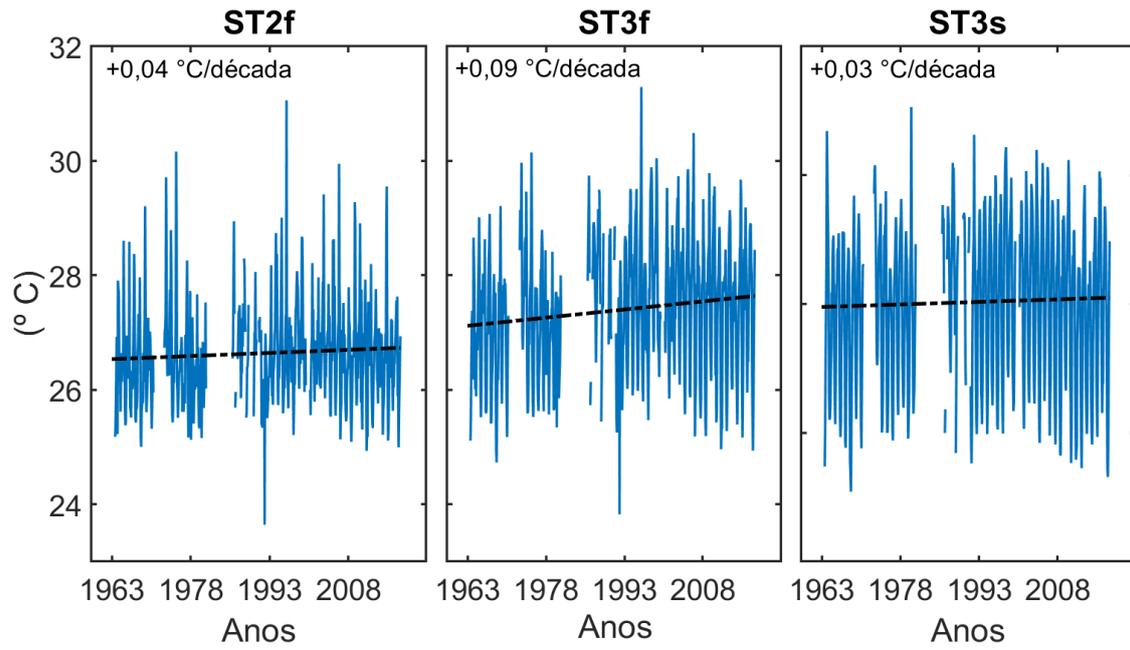


Figura 9: Temperatura média mensal da água (°C) calculada por modelo de regressão linear múltipla de 1963 a 2018 (Modelo 3). Em preto, linhas de tendência.

## 4 DISCUSSÃO

O estudo da variabilidade da temperatura da água por meio de modelagem estatística permitiu uma melhor compreensão das tendências de longo prazo da temperatura da água na Baía de Todos os Santos, devido à ampla extensão temporal obtida. As tendências observadas na temperatura da água neste trabalho são consistentes com o aumento da aridez na região nordeste, identificada por autores como Mariani et al., (2021), Lessa et al. (2018, 2019), Dubreuil et al. (2018), Marengo et al., (2017), Lacerda et al., (2015). O aumento da temperatura da água na BTS se associa bem às expressivas taxas de diminuição da precipitação e da vazão fluvial, bem como o aumento da salinidade média identificado por Mariani et al. (2021). As estações internas da BTS apresentaram maior taxa de aumento da temperatura da água, chegando a 0,7 °C (ST3f) em 6 décadas, superior à tendência da temperatura do ar de 0,6 °C em 6 décadas. Próximo ao fundo, na estação mais interna (ST3f) os cálculos mostram que a temperatura da água aumentou a uma taxa superior à da superfície. Isso sugere a influência de outros processos influenciando as tendências no interior da baía, que não foram captados pelo modelo. Na entrada da BTS o contrário ocorreu, com a taxa de aumento na superfície (ST2s) superior à taxa na estação de fundo (ST2f). Embora tenha ocorrido um aumento desigual em ambas estações, a diferença entre as taxas de fundo e superfície nas estações ST3 foi superior, chegando à diferença de 0,05 °C. A partir de 2018 houve uma pequena inversão nas tendências do clima, quando os valores mensais de temperatura do ar passaram a diminuir e de precipitação e vazão fluvial passaram a aumentar. Esse fato poderia provocar um enviesamento dos cálculos e alterações nas tendências de aumento da temperatura da água, o que não ocorreu. Embora tenha ocorrido pequenas alterações nos coeficientes relacionados aos parâmetros, a taxa de aumento da temperatura da água só variou, com uma redução da taxa, em até 0,03 °C/década (ST3s) quando comparado com a regressão considerando apenas o período 1964-2017. A temperatura da água no verão aumentou a uma taxa superior à da temperatura média anual da água, alcançando um aumento de 1,14 °C (ST3f) em 6 décadas. A temperatura média da água também aumentou nos meses de inverno, que se tornaram menos frios, com uma taxa de aumento de 0,24 °C (ST2s) em 6 décadas. Assim como nas médias mensais, as taxas de aumento de verão e inverno tiveram um aumento diferente nas estações de fundo e superfície e seguiram o mesmo padrão, com o fundo em ST3 aquecendo mais e a superfície em ST2 aquecendo mais. Em ST3, a diferença foi um pouco mais expressiva na diferença vertical das médias de verão em relação a diferença vertical das médias de inverno, chegando a uma diferença de 0,09 °C;

as médias de inverno tiveram uma ligeira diferença, mas menos expressiva, chegando à diferença vertical de  $0,02\text{ }^{\circ}\text{C}$  em ST2.

As marés que se propagam para dentro da baía causam uma modulação das tendências de temperatura da água na baía (Modelo 1). A análise até a década de 60 (Modelo 2), no entanto, permite inferir que a variabilidade da temperatura da água sofre especial influência dos processos locais de balanço de calor com a atmosfera como também é documentado em alguns estudos de outras regiões como Padilla et al. (2016) e Wang et al. (2021). Os efeitos da descarga de água doce do Rio Paraguçu e da precipitação na região da BTS parecem ter pouca influência na variabilidade da temperatura da água (Modelos 1 e 2), embora as tendências se relacionem bem com os resultados obtidos.

Em diversas regiões do globo têm sido identificadas tendências na variabilidade da temperatura da água associadas a tendências climáticas. Wang et al. (2021) identificou o aumento da temperatura da água a uma taxa de  $0,48\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{década}$  no estuário do Yangtze, Preston (2004) identificou tendência de aquecimento da Baía de Chesapeake de  $+0,16\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{década}$  (superfície) e  $+0,21\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{década}$  (subsuperfície) e Bashevkin e Mahardja (2022) identificou aquecimento do alto estuário São Francisco de  $+0,17\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{década}$ . A associação das tendências na temperatura da água a tendências climáticas deve ser vista com cautela. Apesar deste aumento estar em concordância com as tendências globais de aumento da temperatura do ar (influência antropogênica), a extensão da série temporal pode não ser longa o suficiente para captar tendências multidecenais. Há estudos também que detectaram tendência contrária ao aumento da temperatura do ar global, como na Baía de Mirs, no nordeste de Hong Kong, onde foi identificado por Kong et al. (2015) um resfriamento da água nos últimos séculos como consequência do aumento das monções de verão do leste asiático, que impulsionam os eventos de ressurgência na região. Na BTS, a ressurgência de quebra de plataforma, identificada por Santos et al. (2015) e Thévenin et al. (2019) é favorecida por ventos longitudinais à costa sobretudo nos meses de verão. A diminuição da intensidade média dos ventos nos últimos três anos (não mostrado) favoreceu o aumento da temperatura da água na estação ST1f, o que ocorreu simultaneamente ao aumento da temperatura da água nas demais estações.

As variações observadas na temperatura da água na BTS não são isoladas. Estudo anterior (Mariani et al., 2019) verificou o aumento da salinidade e de condições de hipersalinidade na baía como consequência do aumento da aridez na região, que sugerem o enfraquecimento da circulação gravitacional e aumento do tempo de residência. Essas

observações junto com as tendências observadas neste estudo têm potencial para promover diversas alterações no ambiente, haja vista a grande influência do campo termohalino em processos físicos, geoquímicos e biológicos. O aumento contínuo da temperatura da água em longo prazo pode aumentar a toxicidade por microplásticos e diminuir o crescimento em crustáceos (Guilhermino et al., 2021), aumentar a eutrofização (Wang et al., 2021), aumentar o sucesso reprodutivo em peixes (Greenwood et al., 2002), aumentar a taxa de floculação e sedimentação (Zhang et al., 2019; Jiang et al., 2004) e também pode se associar a saturação de oxigênio dissolvido na água (Iriarte et al., 2010; Liu et al., 2020).

## 5 CONCLUSÕES

Neste trabalho, modelos de regressão linear múltipla foram aplicados para verificar tendências de longo prazo da temperatura da água na Baía de Todos os Santos.

Nas últimas 6 décadas houve uma tendência de gradativo aumento da temperatura da água, sobretudo nas médias de verão, como resultado do aumento da aridez no nordeste do Brasil, que implica no aumento da temperatura do ar e diminuição da precipitação e vazão fluvial. A temperatura do ar foi a variável mais significativa no modelo de regressão. A precipitação e a vazão fluvial, embora com menos peso, são importantes em processos advectivos na baía. A temperatura da água na plataforma apresentou a menor taxa ao longo das décadas, o que indica a maior interferência dos processos climáticos locais no interior da baía. Na estação mais interna estudada, a temperatura da água no fundo foi a que apresentou o maior aumento ao longo das décadas, provavelmente resultado de outros processos, não abrangidos neste estudo.

As tendências encontradas se correlacionam bem com as tendências climáticas globais e podem ter implicações físicas, geoquímicas e biológicas na baía, área ainda não explorada. Porém seguem-se ainda incertezas a respeito da influência antropogênica nas tendências identificadas neste trabalho, bem como os efeitos da variabilidade da temperatura da água no ecossistema e estrutura da Baía de Todos os Santos, que pode instigar o desenvolvimento de futuros trabalhos na região, bem como a ampliação dos horizontes desta pesquisa com a correlacionamento com outros índices climáticos, modelagem numérica e reanálises multidecenais e exploração das variáveis do Modelo 1, que não foram abordadas devido a menor extensão temporal.

## REFERÊNCIAS

- BASHEVKIN, Samuel M.; MAHARDJA, Brian. Seasonally variable relationships between surface water temperature and inflow in the upper San Francisco Estuary. *Limnology and Oceanography*, v. 67, n. 3, p. 684-702, 2022.
- CAMPOS, Raissa Helena Simões; DOMINGUEZ, José Maria Landim. Mobility of sediments due to wave action on the continental shelf of the northern coast of the state of Bahia. *Brazilian Journal of Oceanography*, v. 58, p. 57-63, 2010.
- CIRANO, Mauro; LESSA, Guilherme Camargo. Oceanographic characteristics of Baía de Todos os Santos, Brazil. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 25, n. 4, p. 363-387, 2007.
- DUBREUIL, V. et al. Climate change evidence in Brazil from Köppen's climate annual types frequency. *International Journal of Climatology*, v. 39, n. 3, p. 1446-1456, 2019.
- GENZ, F.; LESSA, G. C. Twenty-six years of uneven changes in low flows due to different uses and operation of a large dam in a semiarid river. *Rev Bras Recur Hídric*, v. 20, n. 2, p. 523-32, 2015.
- GREENWOOD, M. F. D.; HILL, A. S.; MCLUSKY, D. S. Trends in abundance of benthic and demersal fish populations of the lower Forth Estuary, East Scotland, from 1982–2001. *Journal of fish biology*, v. 61, p. 90-104, 2002.
- GUILHERMINO, Lúcia et al. Long-term adverse effects of microplastics on *Daphnia magna* reproduction and population growth rate at increased water temperature and light intensity: Combined effects of stressors and interactions. *Science of The Total Environment*, v. 784, p. 147082, 2021.
- HARRISON, T. D.; WHITFIELD, A. K. Temperature and salinity as primary determinants influencing the biogeography of fishes in South African estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 66, n. 1-2, p. 335-345, 2006.
- IRIARTE, Arantza et al. Dissolved oxygen in contrasting estuaries of the Bay of Biscay: effects of temperature, river discharge and chlorophyll a. *Marine Ecology Progress Series*, v. 418, p. 57-71, 2010.
- JIANG, Guojun et al. Influence of water temperature on mud particle deposition—Laboratory tests. *Journal of Coastal Research*, p. 59-66, 2004.
- KAMENEV, Gennady M.; NEKRASOV, Dmitry A. Bivalve fauna and distribution in the Amur River estuary—a warm-water ecosystem in the cold-water Pacific region. *Marine Ecology Progress Series*, v. 455, p. 195-210, 2012.
- KONG, Deming et al. Cooling trend over the past 4 centuries in northeastern Hong Kong waters as revealed by alkenone-derived SST records. *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 114, p. 497-503, 2015.
- LACERDA, F. F. et al. Long-term temperature and rainfall trends over Northeast Brazil and Cape Verde. *Embrapa Informática Agropecuária-Artigo em periódico indexado (ALICE)*, 2015.

LESSA, Guilherme C.; MARIANI, Rafael; FONSECA, Lucas. Variability of the Thermohaline Field in a Large Tropical, Well-Mixed Estuary: the Influence of an Extreme Draught Event. *Estuaries and Coasts*, v. 42, n. 8, p. 2020-2037, 2019.

LESSA, Guilherme C. et al. Oceanografia Física. In: Vanessa Hatje; Lys Maria Vinhaes Dantas; Jailson B. de Andrade. (Org.). Baía de Todos os Santos: Avanços nos estudos de longo prazo. Salvador: EDUFBA, 2018, v. 1, p. 155-192.

Lessa, G.C., Cirano, M., Genz, F., Tanajura, C.A.S0 & Silva, R.R. (2009). Oceanografia Física. In: Hatje, V, Andrade, JB. (Org.) Baía de Todos os Santos: Aspectos Oceanográficos. Salvador: EDUFBA, p. 71-119.

LESSA, Guilherme C. et al. A reevaluation of the late quaternary sedimentation in Todos os Santos Bay (BA), Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 72, p. 573-590, 2000.

LIU, Guangping; HE, Weihong; CAI, Shuqun. Seasonal variation of dissolved oxygen in the Southeast of the Pearl River Estuary. *Water*, v. 12, n. 9, p. 2475, 2020.

MARENGO, Jose A.; TORRES, Roger Rodrigues; ALVES, Lincoln Muniz. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 129, n. 3, p. 1189-1200, 2017.

MARENGO, Jose A.; CAMARGO, Claudia C. Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960–2002. *International Journal of Climatology: a Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 28, n. 7, p. 893-904, 2008.

MARIANI, Rafael; LESSA, Guilherme C.; MARTA-ALMEIDA, Martinho. Long-term Variability of the Salinity Field in a Large Tropical, Well-Mixed Estuary: the Influence of Climatic Trends. *Estuaries and Coasts*, p. 1-16, 2021.

PADILLA, Enrique M. et al. A subtidal model of temperature for a well-mixed narrow estuary: The Guadalquivir river estuary (SW Spain). *Estuaries and coasts*, v. 39, n. 3, p. 605-620, 2016.

POKHREL, Preeti et al. Physiological and biochemical responses of brackish-water clam *Corbicula japonica* under global-warming conditions: Water temperature, salinity, and food availability. *Ecological Indicators*, v. 129, p. 107866, 2021.

PRESTON, Benjamin L. Observed winter warming of the Chesapeake Bay estuary (1949–2002): implications for ecosystem management. *Environmental Management*, v. 34, n. 1, p. 125-139, 2004.

SANTOS, Felipe Moraes et al. Localized coastal upwelling at the Brazil Current formation zone (13 S). *Proceedings of 17th Physics of Estuaries and Coastal Seas*, p. 4535-4542, 2014.

SHELLENBARGER, Gregory G.; SCHOELLHAMER, David H. Continuous salinity and temperature data from San Francisco Estuary, 1982–2002: Trends and the salinity–freshwater inflow relationship. *Journal of Coastal Research*, v. 27, n. 6, p. 1191-1201, 2011.

THÉVENIN, M. R.; PEREIRA, J.; LESSA, G. C. Shelf-break upwelling on a very narrow continental shelf adjacent to a western boundary current formation zone. *Journal of Marine Systems*, v. 194, p. 52-65, 2019.

VAN AKEN, Hendrik M. Variability of the water temperature in the western Wadden Sea on tidal to centennial time scales. *Journal of Sea Research*, v. 60, n. 4, p. 227-234, 2008.

WANG, Jie et al. Seasonal and interannual variations of sea surface temperature and influencing factors in the Yangtze River Estuary. *Regional Studies in Marine Science*, v. 45, p. 101827, 2021a.

WANG, Yanna; XU, Hao; LI, Maotian. Long-term changes in phytoplankton communities in China's Yangtze Estuary driven by altered riverine fluxes and rising sea surface temperature. *Geomorphology*, v. 376, p. 107566, 2021b.

WOOLDRIDGE, T. H.; DEYZEL, S. H. P. Variability in estuarine water temperature gradients and influence on the distribution of zooplankton: a biogeographical perspective. *African Journal of Marine Science*, v. 34, n. 4, p. 465-477, 2012.

ZHANG, Jinfeng et al. Effects of Temperature on the Flocculation Processes of Kaolinite in the Quiescent Water. In: *International Conference on Asian and Pacific Coasts*. Springer, Singapore, 2019. p. 517-520.