



ISSN: 2447-3359

REVISTA DE GEOCIÊNCIAS DO NORDESTE

*Northeast Geosciences Journal*

v. 11, nº 1 (2025)

<https://doi.org/10.21680/2447-3359.2025v11n1ID38147>



## Modelos preditivos para análise da variação da Altitude da Superfície do Mar utilizando leituras maregráficas

### *Predictive models for analyzing sea surface height variation using tide gauge records*

Paulo Leoncio da Silva de Melo<sup>1</sup>; Évelyn Monteiro Muniz<sup>2</sup>; Alessandra Svonka Palmeiro<sup>3</sup>; Paula Debiasi<sup>4</sup>

<sup>1</sup> UFRRJ, Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária, Seropédica/RJ, Brasil. Email: pauloleoncio@ufrj.br

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2166-9953>

<sup>2</sup> UFRRJ, Instituto de Tecnologia/Departamento de Engenharia, Seropédica/RJ, Brasil. Email: evymuniz95@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0008-4477-7600>

<sup>3</sup> UFRRJ, Programa de Pós-Graduação em Modelagem e Evolução Geológica, Seropédica/RJ, Brasil. Email: aspalmeyro@ufrj.br

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2575-6720>

<sup>4</sup> UFRJ, Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária, Seropédica/RJ, Brasil. Email: pauladebiasi@ufrj.br

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9518-7960>

**Resumo:** Avaliar a Altitude da Superfície do Mar (ASM) é fundamental para a predição das consequências que o aquecimento global pode ocasionar nas cidades litorâneas, além de poder ser utilizada para a determinação de um referencial altimétrico. O monitoramento desse componente altimétrico pode ser realizado por meio de maregrafos ou pela Altimetria por Satélites (ALTSAT). O objetivo desta pesquisa foi analisar as leituras do mareógrafo de Fortaleza/CE para determinar a ASM e gerar modelos preditivos para a variação desse componente, a fim de realizar uma análise geral da variação da ASM no período considerado. Com base em uma amostra de cinco anos de leituras, foi realizada uma regressão linear utilizando o *software* estatístico R. A partir de 2020, houve uma mudança no padrão de medição das leituras, que pode ter sido causada por uma alteração na posição da origem dos sensores ou em decorrência do Reajustamento da Rede Altimétrica com Números Geopotenciais (REALT-2018). Essa mudança no padrão de medição impactou significativamente a validação dos modelos. A variação média da ASM foi de 1,02 cm  $\pm$  0,09 cm, sugerindo, portanto, uma elevação da ASM no local.

**Palavras-chave:** Leituras maregráficas; Altitude da superfície do mar (ASH); Modelos preditivos.

**Abstract:** Evaluating Sea Surface Height (SSH) is fundamental for predicting the consequences that global warming may cause in coastal cities, in addition to being used for establishing an altimetric reference. Monitoring this altimetric component can be carried out through tide gauges or via Satellite Altimetry (ALTSAT). The objective of this research was to analyze the readings from the tide gauge in Fortaleza/CE to determine SSH and generate predictive models for the variation of this component, thereby conducting a general analysis of SSH variation over the period considered. Based on a sample of five years of readings, a linear regression was performed using the statistical software R. Starting in 2020, there was a change in the measurement pattern of the readings, which may have been caused by a change in the sensors' origin position or because of the Adjustment of the Altimetric Network with Geopotential Numbers (REALT-2018). This change in the measurement pattern significantly impacted the validation of the models. The average variation in SSH was 1.02 cm  $\pm$  0.09 cm, thus suggesting a rise in the local SSH.

**Keywords:** Tide gauge readings; Sea surface height (SSH); Predictive models.

Recebido: 03/11/2024; Aceito: 10/01/2025; Publicado: 24/03/2025.

## 1. Introdução

Atualmente, as causas, a dimensão e os impactos do aquecimento global e da elevação do nível dos oceanos são temas de grande preocupação para o futuro da humanidade e constituem objeto de estudo de diversas pesquisas (FU *et al.*, 2024; MANSOURMOGHADDAM *et al.*, 2024; MCCULLOCH *et al.*, 2024; ZAMRSKY, ESSINK, BIERKENS, 2024). Para as ciências cartográficas, uma das aplicabilidades dos estudos sobre a variação do nível dos oceanos é a utilização destas análises para a definição de um referencial altimétrico (TORGE, 2001).

Determinar a variação do nível dos oceanos é de grande importância global, principalmente, após a observação do aumento deste nível ao longo dos anos (NICHOLLS E CAZENAVE, 2010). Isso implica a necessidade de governos e países tomarem decisões sobre medidas para mitigar as futuras consequências.

Um dos principais motivos dessa variação no nível dos oceanos é o degelo polar (FREDERIKSE *et al.*, 2020), além de outros fatores, como os efeitos astronômicos e meteorológicos (MESQUITA, 1997) e os efeitos de origem geofísica (ABREU, 2019). Para quantificar essa variação, pode-se utilizar uma componente altimétrica associada a uma superfície geodésica, denominada de Altitude da Superfície do Mar (ASM) (MELO, 2024).

O nível dos oceanos, ou ainda Nível do Mar (NM), é um tipo de altura associada à origem do sensor, ou da régua de maré, e a superfície oceânica (MESQUITA, 1997). O NM pode ser local, quando é obtido por meio de leituras associadas a um conjunto de equipamentos que formam os marégrafos (leituras maregráficas), ou global, quando associado a variáveis oriundas de satélites altimétricos.

O NM local também pode ser determinado por satélites altimétricos, porém serão dados provenientes de um processo de extrapolação dos dados globais para uma determinada região. Isso dependerá dos objetivos do estudo.

Os equipamentos que formam os marégrafos, dependendo do intervalo de tempo para o qual foram programados, realizam leituras da altura da superfície do mar (leituras maregráficas) e as enviam para algum local de armazenamento e processamento (GIEHL, 2020). Esses equipamentos podem apresentar falhas técnicas, o que pode ocasionar uma lacuna no registro diário dessas leituras.

A concepção de modelos de regressão capazes de prever valores para o preenchimento de lacunas geradas por falhas técnicas nos marégrafos é uma alternativa que viabiliza a utilização desses dados. Essas falhas podem ser causadas por queda de energia elétrica, ausência de conexão com a internet ou panes nos equipamentos ou sensores (IBGE, 2021).

Este artigo tem por objetivo determinar dois modelos preditivos: um capaz de prever a variação média da ASM entre os anos de 2018 e 2022 e outro capaz de prever a variação média diária da ASM. Ambos os modelos, desenvolvidos com as leituras corrigidas das influências da costa terrestre.

Esta pesquisa analisou a variação da ASM entre os anos de 2018 e 2022. Consideraram-se as leituras oriundas do sensor Encoder do marégrafo de Fortaleza/CE (EMFOR), uma vez que a estação de Fortaleza não disponibilizou as leituras feitas pelo sensor Radar no intervalo considerado.

Foram desenvolvidas rotinas que facilitaram a etapa de *download*, processamento e manipulação desses dados, sendo a parte estatística realizada no *software* R. Os modelos de regressão linear foram implementados aplicando o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) e analisados quanto à qualidade por meio do *R-squared* e da validação cruzada.

Observou-se uma mudança na localização da origem do sensor Encoder entre 2019 e 2020, o que afetou o padrão das leituras maregráficas e influenciou os modelos de regressão. Apesar de inconformidades estatísticas nos modelos, a validação cruzada dos dados demonstrou erros dentro do desvio padrão ( $\pm 23,36$  cm). Foi possível obter um valor médio da ASM de 21,93 metros em valores absolutos e uma variação média diária da ASM de 1,02 centímetros.

## 2. Procedimentos metodológicos

As leituras provenientes do marégrafo de Fortaleza/CE foram escolhidas por não apresentarem ausência de registros, ou seja, todas as leituras maregráficas foram disponibilizadas pelo banco de dados durante o intervalo considerado, apenas para o sensor Encoder. Isso é de suma importância, pois os dados precisavam ser consistentes e íntegros para possibilitar as simulações analisadas.

A Figura 1 apresenta o fluxograma das etapas realizadas.

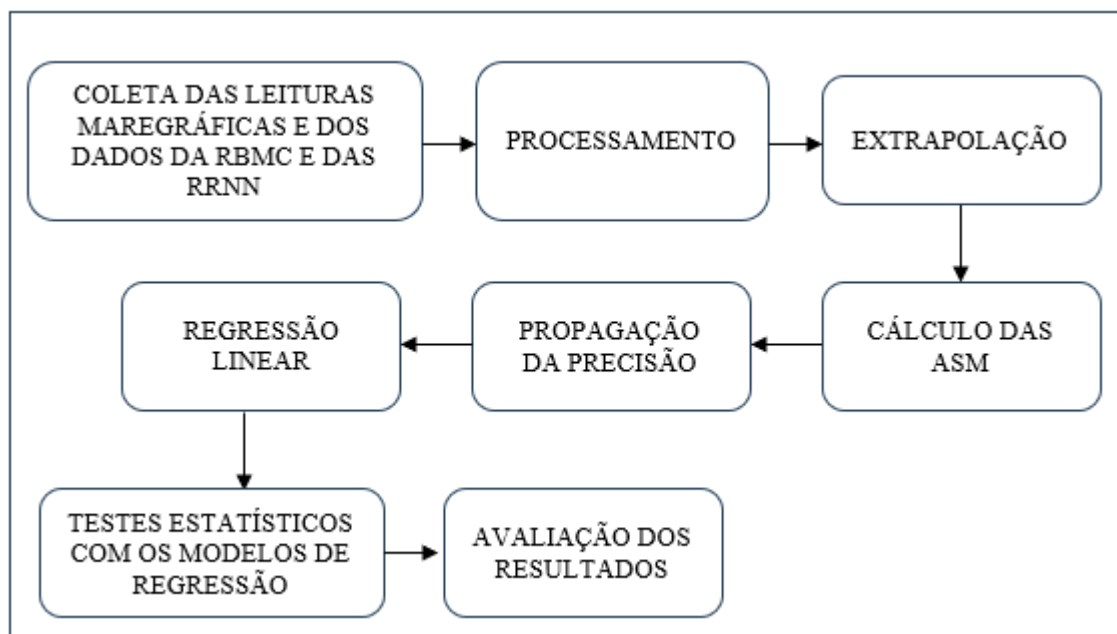


Figura 1 – Fluxograma das etapas.  
Fonte: Autores (2025).

A obtenção das leituras foi realizada por meio de um cadastro e acesso ao Banco de Dados Geodésicos (BDG) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Foram coletadas todas as leituras do marégrafo de Fortaleza – CE, entre janeiro de 2018 e dezembro de 2022, em um arquivo único compactado. A verificação da consistência dos dados foi realizada com base na presença de falhas técnicas.

Utilizando toda a população de dados disponível entre 2018 e 2022, foi realizada uma amostragem sistemática com intervalo de quinze dias, a contar de 01/01/2018, totalizando 122 dias. Essa amostragem foi importante, pois simulou-se a ausência de leituras maregráficas por falhas técnicas e baseado nisso, fez-se a regressão linear para modelar essas leituras ausentes.

Os dados da estação da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) e das Referências de Nivel (RRNN) foram obtidos por meio do BDG nos mesmos dias da realização das leituras maregráficas, mantendo assim a correspondência temporal entre os dados. Os dados da RBMC disponibilizados foram um arquivo com extensão RINEX e o descritivo de cada estação, que incluíram as informações técnicas sobre a antena e o receptor *Global Navigation Satellite System* (GNSS) utilizados, necessários para o pós-processamento.

Os dados das RRNN foram obtidos do BDG e consistiram em relatórios com as informações geodésicas da referência de nível. As estações RRNN utilizadas para realizar o transporte da precisão foram 4336T, 4336L e 4336A. Essas RRNN foram selecionadas, pois apresentavam a menor distância entre a estação maregráfica e a estação da RBMC, com relação às outras distâncias, combinando as RRNN no entorno da estação maregráfica.

O processo de filtragem dos dados foi realizado com o auxílio do *software* R nos arquivos .txt. Foi desenvolvida uma rotina para selecionar apenas as colunas de interesse de cada arquivo oriundo da estação maregráfica, no caso, somente a coluna de datas e as leituras do sensor Encoder. Os valores registrados pelo sensor foram utilizados para calcular a média diária das leituras maregráficas. Considerou-se eliminar os dados com espaços vazios ou tabulação errada no cálculo das médias, assim como os diferentes arranjos de tabulação.

O pós-processamento dos arquivos obtidos pela RBMC foi realizado no portal do IBGE, através do serviço online para pós-processamento de dados do GNSS (Posicionamento por Ponto Preciso - PPP). Para esta pesquisa, foram utilizadas somente informações sobre os valores das coordenadas elipsoidais referentes ao SIRGAS2000 e as suas incertezas.

A Equação 1 demonstra a conversão entre as superfícies de referência altimétrica (IBGE, 2023).

$$H^N = h \pm \xi \quad (1)$$

Em que:  $H^N$  é a altitude normal;  $h$  é a altitude geométrica e  $\xi$  é o fator de correção, composto pela anomalia de altura somadas as influências intrínsecas. Para isso, foi utilizado o modelo de conversão de altitudes hgeoHNOR2020 do IBGE.

As médias diárias das leituras maregráficas foram vinculadas ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), utilizando o elipsoide GRS80, base do SIRGAS2000, de acordo com as considerações do IBGE (2021) e Giehl et al. (2022), conforme demonstrado nas Equações 2 e 3.

$$ASM_{\text{marégrafo}} = L_{\text{maregráfica}} - S \quad (2)$$

$$S = A + B + C + J - T \quad (3)$$

Em que:  $ASM_{\text{marégrafo}}$  é a altitude observada da superfície do mar em relação ao elipsoide de referência;  $L_{\text{maregráfica}}$  é a altura observada da superfície do mar em relação ao zero do sensor;  $A$  é o desnível entre os zeros do marégrafo e dos sensores;  $B$  é a leitura nominal do pino da régua;  $C$  é o desnível entre o pino da régua e a referência de nível;  $J$  é a estabilidade das Referências de Nível - RRNN da estação;  $T$  é a altitude elipsoidal da RN vizinha.

A Tabela 1 mostra os valores das constantes a serem subtraídas para referenciar as observações do marégrafo de Fortaleza - CE ao SIRGAS2000. Nesta pesquisa, foram utilizados valores para um sistema de maré média. Esse sistema foi escolhido, pois o mesmo considera os efeitos das marés (IBGE, 2023).

Tabela 1 – Correlação dos níveis de referência para a estação maregráfica em Fortaleza/CE.

Tipo de maré / Sensor	Valor da constante S (m)
Maré Média / Sensor Radar	15,096 ± 0,036
Livre de maré / Sensor Radar	15,028 ± 0,036
Maré Média / Sensor Encoder	13,849 ± 0,061
Livre de maré / Sensor Encoder	13,781 ± 0,061

Fonte: IBGE (2023).

Após a conversão das leituras maregráficas em altitudes geométricas, considerou-se o modelo de ondulação geoidal MAPGEO2015, descrito na Equação 4, utilizando os valores de latitude e longitude disponibilizados para a estação maregráfica EMFOR. Essa foi uma alternativa adotada, visto que, não há informações de altitudes geométricas na EMFOR e por inviabilidade financeira, não foi possível realizar o posicionamento por GNSS no local do marégrafo. O modelo informa a ondulação geoidal e, teoricamente, no marégrafo, a mesma é nula (IBGE, 2015).

$$H = h - N \quad (4)$$

Em que:  $H$  é a altitude ortométrica,  $h$  é a altitude geométrica e  $N$  é a ondulação geoidal.

A variação da ASM foi calculada pela diferença entre as altitudes geométricas oriundas das leituras maregráficas e a altitude geométrica do marégrafo. Com isso, é possível obter os valores para variação diária e variação total, considerando toda a amostra de dias de coleta das leituras maregráficas.

As atividades tectônicas modificam a morfologia e a estrutura da superfície terrestre. “A construção e destruição da crosta terrestre é determinada por processos tectônicos que promovem atividade sísmica, vulcânica, metamórfica, orogênica e movimentos isostáticos” (FAUSTINON et al., 2016). De acordo com Albarici et al., (2019), a carga da maré é a alteração da crosta terrestre causada pela movimentação da massa oceânica sobre ela, causando deslocamentos verticais, podendo provocar até dez centímetros na vertical, no posicionamento de uma estação.

O soerguimento crustal e o afundamento crustal são dois movimentos verticais que a crosta realiza. Com isso, fez-se necessário proceder com a propagação da precisão da RBMC até o marégrafo, para analisar os efeitos no Nível do Mar.

A importação dos dados da RBMC para o *software* R foi realizada de forma similar à importação das leituras maregráficas. Foi criado um vetor que armazenava os valores de altitude geométrica estimada e seu respectivo Erro Médio Quadrático (EMQ). Essa pesquisa propôs a seguinte metodologia para a propagação da precisão, considerando as Equações 5 a 7.

$$h_{maregrafo} = h_{RBMC} + \xi_{RBMC} + DN_{(RBMC-RN_1)} + DN_{(RN_1-RN_2)} + DN_{(RN_2-RN_3)} + DN_{(RN_3-maregrafo)} + \xi_{maregrafo} \quad (5)$$

Em que:  $h_{maregrafo}$  é a altitude geométrica do marégrafo;  $h_{RBMC}$  é a altitude geométrica da estação RBMC determinado por meio do PPP; DN é a diferença de nível determinada através do nivelamento geométrico;  $\xi_{RBMC}$  e  $\xi_{maregrafo}$  é a anomalia de altura na estação RBMC e no marégrafo respectivamente, determinada através do modelo de conversão de altitudes hgeoHNOR2020.

A propagação das precisões para obter a incerteza do  $h_{maregrafo}$ , considerou a precisão do desnível determinado pelo nivelamento geométrico desprezível, diante da precisão da altitude geométrica da RBMC e da anomalia de altura ( $\xi$ ).

$$EMQ_{DN_{(RBMC-RN_1)}} = EMQ_{DN_{(RN_1-RN_2)}} = EMQ_{DN_{(RN_2-RN_3)}} = EMQ_{DN_{(RN_3-maregrafo)}} \cong 0 \quad (6)$$

$$EMQ_{h_{maregrafo}} = \sqrt{(EMQ_{h_{RBMC}})^2 + (EMQ_{\xi_{RBMC}})^2 + (EMQ_{\xi_{maregrafo}})^2} \quad (7)$$

Em que:  $EMQ_{h_{maregrafo}}$  é a precisão da altitude geométrica do marégrafo obtida através da propagação de precisão no transporte de altitude geométrica da RBMC até o marégrafo;  $EMQ_{DN}$  é a precisão do nivelamento geométrico entre as seções de nivelamento;  $EMQ_{h_{RBMC}}$  é precisão da altitude geométrica determinada através do PPP;  $EMQ_{\xi_{RBMC}}$  e  $EMQ_{\xi_{maregrafo}}$  é a precisão da anomalia de altura devido a incerteza do modelo de conversão de altitudes hgeoHNOR2020 na estação da RBMC e do marégrafo respectivamente.

Em modelos de regressão linear, o cerne está na dependência entre as variáveis analisadas. As variáveis devem ser aleatórias e possuir distribuição de probabilidade. O modelo de regressão linear simples, segue a forma da equação paramétrica, mostrada pela Equação 8 (CHEIN, 2019):

$$Y_i = \beta_0 + (\beta_1 * x_i) + \varepsilon_i \quad (8)$$

Em que:  $Y_i$  é a variável resposta;  $\beta_0$  é o intercepto da reta;  $\beta_1$  é o coeficiente angular da reta;  $\varepsilon_i$  é o erro cometido ao estimar Y em função de x e  $x_i$  é a variável regressora.

O erro associado ao estimar Y através de X pode ser descrito como a diferença entre o valor observado e o predito pelo modelo. O objetivo do Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) é estabelecer os melhores parâmetros para o modelo de regressão, o que implica na redução do valor do erro ( $\varepsilon$ ) cometido.

Os testes estatísticos utilizados para avaliar os modelos de regressão foram: o teste de Shapiro-Wilk, para avaliar a normalidade; o teste T de Student, para avaliar a linearidade; o teste de Breusch-Godfrey, para avaliar a autocorrelação; o teste de Breusch-Pagan, para avaliar a homoscedasticidade e o teste do R quadrado, para avaliar a qualidade dos modelos.

### 3. Resultados e discussão

As altitudes normais foram convertidas para altitudes geométricas (Tabela 2). Como os valores de anomalias de altura dependem da latitude e longitude das RRNN, esperava-se que as variações ocorreriam, pois, a forma da superfície terrestre não é uniforme, mesmo entre distâncias menores, como é o caso das RRNN 4336T, 4336L e 4336A. A conversão para obtenção da altitude geométrica no marégrafo EMFOR (03°42'52,55"S e 38°28'36,54"O) resultou em uma ondulação geoidal de -8,94m.

Tabela 2 – Altitudes geométricas para RRNN 4336T, 4336L e 4336A.

Estações	Latitude	Longitude	Alt. Geométrica (m)	Alt. Normal (m)	n(m)	Incerteza(m)
4336T	3°42'45"S	38°28'29"O	-4,335	4,834	-9,17	0,05
4336L	3°42'50"S	38°28'34"O	-5,058	4,121	-9,18	0,05
4336A	3°42'51,84"S	38°28'36,12"O	-5,468	3,701	-9,17	0,05

Fonte: Autores (2025).

Com a obtenção do EMQ no marégrafo e as altitudes geométricas, oriundas das leituras maregráficas, foi possível observar uma quebra do padrão nos valores entre os anos de 2019 e 2020 (Figura 2). Isso pode ser ocasionado por uma mudança da origem do sensor Encoder, pois não houve uma alteração significativa da posição do marégrafo.

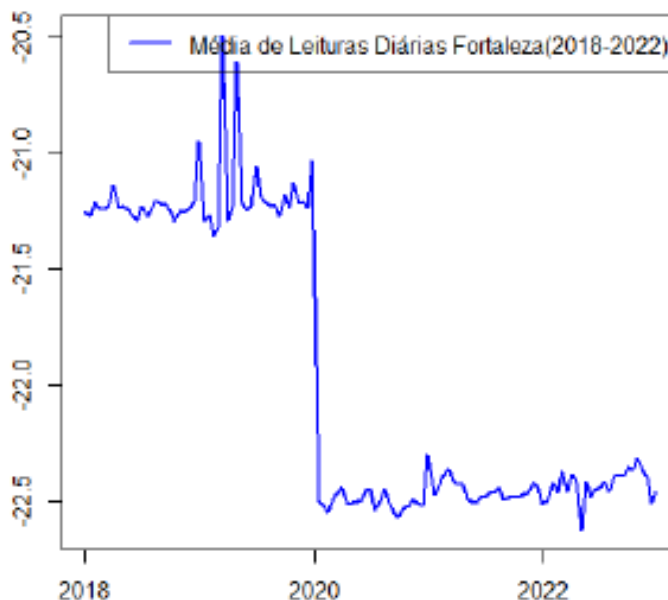


Figura 2 – Gráfico para média diária das leituras maregráficas, em que no eixo vertical estão os valores das médias diárias e no eixo horizontal estão os anos.

Fonte: Autores (2025).

Após a obtenção de todas as médias dos dias da amostra, a ASM média, considerando o referencial SIRGAS2000 e a influência da movimentação da crosta terrestre, foi de  $-21,93 \pm 0,23$  metros. Já a variação da média diária da ASM foi de  $1,02 \pm 0,09$  cm.

Os coeficientes dos modelos de regressão estão listados na Tabela 3.

Tabela 3 – Coeficientes dos modelos de regressão propostos.

Modelo	x	y	$\beta_0$	$\beta_1$
1	Dia	Varição da Média Diária de ASM	-0,0943	0,00000456
2	Dia	Média Diária de ASM	-4,0419	-0,00097006

Fonte: Autores (2025).

Os valores de *p-value* para o teste de normalidade, considerando as variáveis que foram utilizadas nos modelos foi de:  $2,18 \cdot 10^{-16}$  para a variação da média diária e  $3,65 \cdot 10^{-12}$  para a ASM média. A um nível de significância ( $\alpha$ ) de 0,05%, rejeitou-se a hipótese nula, ou seja, a distribuição não é normal.

Para cada um dos modelos foi realizado um teste estatístico para verificar se há uma relação linear entre o modelo de regressão e os valores da amostra. Para o modelo 1, o *p-value* da variável, indicou que não há evidências estatísticas para rejeitar a hipótese nula (não há relação linear). Ou seja, a amostra utilizada não gerou um modelo adequado para prever a variação da média diária das ASM, o que pode ser comprovado através do *R-squared* ajustado, que apresentou um valor de -0,008473, sendo que quanto mais próximo de |1|, melhor o ajuste do modelo. Ou seja, houve um impacto na amostra devido a mudança de origem da régua do sensor Encoder.

Já para o modelo 2, que indica o valor médio diário para a ASM, demonstrou um *p-value* menor que o nível de significância, rejeitando a hipótese nula de não linearidade. O valor do *R-squared* ajustado (0,6805), indicou um ajuste de modelo mediano, levando em consideração que em um modelo ideal, o *R-squared* seja igual a 1, em valor absoluto.

Após a realização dos testes estatísticos sobre os modelos de regressão, pode-se inferir que em ambos existem autocorrelação dos resíduos e ambos possuem resíduos homocedásticos. Somente o modelo de regressão da média diária de ASM (modelo 2) apresentou normalidade de resíduos.

A violação dos pressupostos estatísticos não é, em sua maioria, impeditiva para a previsão (FIGUEIREDO FILHO *et al.* 2011; ZONATO *et al.* 2018). Porém, comprometem a qualidade do modelo e a determinação dos intervalos de confiança.

#### 4. Considerações finais

A quebra no padrão do valor médio diário da ASM observado entre os anos de 2019-2020 pode ser explicada por alguma alteração na origem do zero do sensor Encoder ou pela influência do Reajustamento da Rede Altimétrica com Números Geopotenciais (REALT-2018). Embora os modelos preditivos da ASM apresentassem inconformidades com os pressupostos estatísticos esperados (como normalidade, linearidade, autocorrelação e a homoscedasticidade), os valores de ASM obtidos por esses modelos foram coerentes e consistentes quando testados por meio da validação cruzada dos dados. Ou seja, mesmo com falhas estatísticas nos modelos, os resultados obtidos ainda assim, foram confiáveis dentro do contexto da análise.

Vale ressaltar que a propagação da incerteza do processamento do PPP, da RBMC para o marégrafo (EMFOR), poderia ser influenciada por mudanças nas diferenças de nível, ocasionadas por movimentações na crosta ou recalques nas estações das RRNN, que não estão ancoradas em rochas. Apesar do nivelamento geométrico não melhorar a precisão no transporte das RRNN, ele ainda é relevante para minimizar incertezas em levantamentos locais. Além disso, foi proposta uma alternativa para situações em que o levantamento de campo não é possível.

A amostragem foi restrita, dada a complexidade do objeto de estudo, visto que a variação das marés não segue um padrão fixo entre a maré alta e baixa. Sendo assim, para futuras investigações, sugere-se uma amostragem que abranja um intervalo temporal mais amplo e que incorpore todos os valores obtidos durante esse período. Mesmo que existam lacunas, um banco de dados mais extenso proporcionará uma melhor capacidade aos modelos de capturar as nuances dos dados maregráficos. O recorte amostral entre os anos de 2018-2019 e 2020-2022 é uma hipótese a ser considerada ao se trabalhar com a mesma amostragem de dados.

Uma amostragem que garantisse 90% de confiança utilizando 5 anos (2018-2022) com uma população dos dados deveria ter ao menos 200 unidades amostrais. Portanto, o intervalo de frequência sistemático deve ser menor. Sob a hipótese de que todos os anos possuam 365 dias, um intervalo de frequência ideal para obter pelo menos 200 dias é de 9 em 9 dias. Entretanto, para se trabalhar com uma amostragem ainda maior, a coleta de dados da RBMC e o uso do PPP se torna uma tarefa ainda mais onerosa.

A automatização do PPP foi uma alternativa para reduzir o custo computacional, além de evitar erros grosseiros. A seleção de um conjunto de datas para o *download* dos dados da RBMC, ao invés do intervalo entre uma data e outra, pode facilitar o processo quando o volume de dados for extenso e pontual, como no caso da metodologia utilizada neste trabalho.

#### Referências

- ABREU, M. A. Determinação e análise das principais componentes de maré terrestre e de carga oceânica, por meio de dados de posição e do campo de gravidade terrestre. 2019. 160 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2019.
- ALBARICI, F. L. et al. Modelagem dos efeitos geodinâmicos que afetam as medições maregráficas e GNSS. Revista Brasileira de Cartografia, [S.L.], v. 71, n. 1, p. 75-98, 29 mar. 2019. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia.
- CHEIN, F. Introdução aos modelos de regressão linear. Brasília: Enap, 2019. 76 p.
- FAUSTINON, J. M., CARNEIRO, C. R. Movimentos da crosta e relações entre tectônica e dinâmica atmosférica. Terra e Didática, [S.L.], v. 11, n. 3, p. 173-181, 26 fev. 2016. Universidade Estadual de Campinas.
- FIGUEIREDO FILHO, D., NUNES, F., ROCHA, E. C., SANTOS, M. L., BATISTA, M., SILVA JÚNIOR, J. A., 2011. O que fazer e o que não fazer com a regressão: pressupostos e aplicações do modelo linear de mínimos quadrados ordinários (MQO). Revista Política Hoje, 20(1), 44

- FREDERIKSE, T., LANDERER, F., LAMBERT, C., ADHIKARI, S., PARKES, D., HUMPHREY, V., DANGENDORF, S., HOGARTH, P., ZANNA, L., CHENG, L., WU, Y. H. The causes of sea level rise since 1900. *Nature*, [S.L.], v. 584, n. 7821, p. 393-397, 19 ago. 2020. Springer Science and Business Media LLC.
- FU, L. L., PAVELSKY, T., CRETAX, J. F., MORROW, R., FARRAR, J. T., VAZE, P., SENGENES, P., VINOGRADOVA-SHIFFER, N., SYLVESTRE-BARON, A., PICOT, N. The surface water and ocean topography mission: a breakthrough in radar remote sensing of the ocean and land surface water. *Geophysical Research Letters*, [S.L.], v. 51, n. 4, p. 1-20, 21 fev. 2024. American Geophysical Union (AGU).
- GIEHL, S., DALAZOANA, R., SANTANA, T. A. Comparação Absoluta entre Observações do Satélite Sentinel-3A e dos Marégrafos da RMPG em Imbituba, Arraial do Cabo, Salvador, Fortaleza e Santana. *Revista Brasileira de Cartografia*, [S.I.], v. 74, n. 4, p. 911-926, nov. 2022.
- GIEHL, S. Determinação de movimentos verticais da crosta por meio da integração de observações maregráficas. 2020. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2020.
- IBGE. Modelo para conversão de altitudes geométricas (dadas pelos GNSS) em altitudes físicas (compatíveis com o datum vertical do SGB). 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/modelos-digitais-de-superficie/modelos-digitais-de-superficie/31283-hgeohnor2020-modeloconversaoaltitudesgeometricasgnss-datumverticalsgb.html>. Acesso em: 10 out. 2023.
- IBGE. Modelo para conversão de altitudes geométricas (dadas pelos GNSS) em altitudes físicas (compatíveis com o Datum Vertical do SGB). 2015. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/servicos-para-posicionamento-geodesico/10855-modelo-de-ondulacao-geoidal.html>. Acesso em: 03 out. 2023.
- IBGE. Solução multianual das estações da rede brasileira de monitoramento contínuo dos sistemas GNSS no período de 2000 a 2019. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. 117 p.
- MANSOURMOGHADDAM, M., ROUSTA, I., MALAMIRI, H. G., SADEGHNEJAD, M., KRZYSZCZAK, J., FERREIRA, C. S. S. Modeling and estimating the land surface temperature (LST) using remote sensing and machine learning (case study: yazd, iran). *Remote Sensing*, [S.L.], v. 16, n. 3, p. 454, 24 jan. 2024. MDPI AG.
- MCCULLOCH, M. T., WINTER, A., SHERMAN, C. E., TROTTER, J. A. 300 years of sclerosponge thermometry shows global warming has exceeded 1.5 °c. *Nature Climate Change*, [S.L.], v. 14, n. 2, p. 171-177, fev. 2024. Springer Science and Business Media LLC.
- MELO, P. L. S. Estimativa da qualidade da Altitude da Superfície do Mar por meio de observações oriundas do Sentinel-6A. 2024. 59 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária, UFRRJ, Seropédica, 2024.
- MESQUITA, A. R. Marés, circulação e nível do mar na costa sudeste do brasil. 1997. IOUSP - documento preparado para A FUNDESPA (Fundação de Estudos e Pesquisas Aquáticas).
- NICHOLLS, R. J., CAZENAVE, A. Sea-level rise and its impact on coastal zones. *Science*, American Association for the Advancement of Science (AAAS), v. 328, n. 5985, p. 1517-1520, jun. 2010.
- TORGE, W. *Geodesy*. 3. ed. Berlin: Walter de Gruyter, 2001. 432 p.
- ZAMRSKY, D., ESSINK, G. H. P. O., BIERKENS, M. F. P. Global impact of sea level rise on coastal fresh groundwater resources. *Earth's Future*, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 1-20, jan. 2024. American Geophysical Union (AGU).
- ZONATO, W., DROUBI, L. F. P., HOCHHEIM, N. Pressupostos clássicos dos modelos de regressão linear e suas implicações sobre as avaliações em massa. Anais do COBRAC 2018 - Florianópolis –SC – Brasil - UFSC – de 21 a 24 de outubro de 2018. Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão, Universidade Federal de Santa Catarina.