



Regionalização de Constantes Harmônicas Maregráficas como Alternativa ao Uso de Modelos Globais de Maré: Avaliação em Ambientes Costeiros Brasileiros

Regionalization of Tidal Harmonic Constants as an Alternative to Global Tide Models: An Assessment in Brazilian Coastal Environments

Elmo Leonardo Xavier Tanajura^{1,2} e João Francisco Galera Monico²

¹ Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil. E-mail: elmo.tanajura@unesp.br.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1415-3345>

² Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, Brasil. E-mail: galera.monico@unesp.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4101-9261>

Recebido: 02.2026 | Aceito: 07.2026

Resumo: A previsão harmônica de marés constitui um elemento fundamental para aplicações em cartografia náutica, geodésia costeira e monitoramento do nível do mar. Este estudo avalia comparativamente o desempenho de previsões de maré obtidas a partir de três conjuntos de constantes harmônicas: o catálogo local da FEMAR, o conjunto regionalizado IBGE_REG, obtido por interpolação espacial de constantes da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG/IBGE), e o modelo global FES2022. A análise foi conduzida em dois domínios costeiros contrastantes: a Baía de Todos os Santos, caracterizada por elevada complexidade hidrodinâmica, e o litoral do Rio de Janeiro, representativo de um ambiente predominantemente de costa aberta. As previsões foram comparadas a séries observadas após alinhamento temporal por correlação cruzada e ajuste dos níveis médios, sendo avaliadas por meio do erro quadrático médio (RMSE), desvio-padrão dos resíduos (STD) e coeficiente de determinação (R^2). Na Baía de Todos os Santos, as previsões baseadas nas constantes da FEMAR e no conjunto IBGE_REG apresentaram melhor desempenho, com valores de RMSE entre aproximadamente 0,08 e 0,14 m e coeficientes de determinação superiores a 0,95, enquanto o modelo global apresentou maior variabilidade residual em algumas estações. No litoral do Rio de Janeiro, observou-se desempenho semelhante entre as abordagens, com valores de RMSE entre aproximadamente 0,12 e 0,17 m e elevados coeficientes de determinação para todos os modelos avaliados. Os resultados demonstram que a regionalização de constantes harmônicas constitui uma alternativa tecnicamente consistente para ampliar a cobertura espacial de previsões maregráficas em regiões desprovidas de análises harmônicas locais, especialmente em ambientes hidrodinamicamente complexos, mantendo-se o modelo global FES2022 como uma alternativa competitiva em trechos de costa aberta.

Palavras-chave: Previsão de marés; Constantes harmônicas; Regionalização; Interpolação espacial.

Abstract: Harmonic tide prediction plays a fundamental role in nautical cartography, coastal geodesy, and sea-level monitoring. This study presents a comparative assessment of tide predictions derived from three distinct sets of harmonic constants: the local FEMAR catalog, the regionalized IBGE_REG dataset obtained through spatial interpolation of harmonic constants from the Brazilian Permanent Tide Gauge Network for Geodesy (RMPG/IBGE), and the global FES2022 model. The analysis was carried out in two contrasting coastal environments: Todos os Santos Bay, characterized by high hydrodynamic complexity, and the Rio de Janeiro coastline, representative of a predominantly open-coast setting. Predicted time series were compared with observations after temporal alignment using cross-correlation and mean-level adjustment and evaluated using the root mean square error (RMSE), residual standard deviation (STD), and coefficient of determination (R^2). In Todos os Santos Bay, predictions based on the FEMAR constants and the IBGE_REG dataset achieved superior performance, with RMSE values ranging from approximately 0.08 to 0.14 m and coefficients of determination exceeding 0.95, whereas the global model exhibited higher residual variability at some stations. Along the Rio de Janeiro coast, all approaches showed comparable performance, with RMSE values ranging from approximately 0.12 to 0.17 m and high R^2 values for all evaluated models. The results demonstrate that harmonic constant regionalization provides a technically consistent approach for extending the spatial coverage of tide predictions in regions lacking local harmonic analyses, particularly in hydrodynamically complex coastal environments, while the global FES2022 model remains a competitive alternative in predominantly open-coast settings.

Keywords: Tide prediction; Harmonic constants; Regionalization; Spatial interpolation.

1 INTRODUÇÃO

A previsão de maré constitui um insumo essencial para aplicações cartográficas, geodésicas e hidrográficas em ambientes costeiros, desempenhando papel fundamental em levantamentos hidrográficos, monitoramento do nível do mar, definição de referenciais verticais e apoio a operações portuárias e de engenharia costeira. Nas abordagens harmônicas clássicas, a qualidade das previsões depende da disponibilidade de constantes harmônicas locais, obtidas a partir de séries maregráficas representativas submetidas à análise harmônica. Entretanto, a distribuição espacial das estações maregráficas com séries históricas adequadas para esse tipo de análise ainda é limitada e heterogênea ao longo do litoral brasileiro, restringindo a aplicação direta dessa metodologia em diversas localidades.

Uma alternativa à utilização exclusiva de constantes harmônicas locais consiste no emprego de modelos globais de maré baseados em assimilação de dados e modelagem hidrodinâmica, como o FES2022 (*Finite Element Solution* – 2022), desenvolvido no âmbito do programa AVISO+/CNES (Carrère *et al.*, 2021). Esses modelos oferecem cobertura contínua e padronizada em escala global, permitindo estimativas maregráficas mesmo em regiões desprovidas de observações locais. Entretanto, seu desempenho pode variar em função da complexidade geomorfológica e hidrodinâmica do ambiente costeiro, particularmente em baías semifechadas, estuários e regiões sujeitas a forte controle topográfico. Nessas condições, diferenças de fase e de referência vertical entre séries observadas e previstas podem comprometer a representação da dinâmica local, evidenciando a necessidade de abordagens capazes de incorporar informações regionais.

Entre as alternativas disponíveis, destaca-se a Regionalização de Constantes Harmônicas Maregráficas, estratégia que consiste na interpolação espacial dos parâmetros harmônicos de estações vizinhas para estimar um conjunto de constantes aplicável a localidades desprovidas de análises harmônicas próprias. A disponibilidade de constantes harmônicas oficiais da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMGP/IBGE), mantida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), amplia o potencial dessa abordagem ao fornecer estações de referência distribuídas ao longo do litoral brasileiro (IBGE, 2024). Parte-se da hipótese de que, em domínios costeiros com continuidade hidrodinâmica, a regionalização preserva a assinatura espectral predominante da maré e pode produzir previsões competitivas - e, em ambientes complexos, potencialmente superiores - às obtidas por modelos globais.

Embora resultados iniciais tenham demonstrado o potencial da regionalização de constantes harmônicas para ampliar a cobertura espacial de previsões maregráficas em regiões costeiras brasileiras (Silva & Tanajura, 2025), ainda são escassos estudos que avaliem quantitativamente o desempenho dessa abordagem em diferentes contextos hidrodinâmicos e em comparação direta com modelos globais de maré. Essa lacuna motiva a necessidade de investigações que permitam estabelecer os limites e as potencialidades da regionalização como alternativa para a geração de previsões maregráficas.

Diante desse contexto, avalia-se a viabilidade da regionalização de constantes harmônicas como alternativa aos modelos globais de previsão de maré, por meio da comparação entre constantes regionalizadas, constantes harmônicas locais e previsões derivadas do modelo FES2022. A análise considera ambientes costeiros brasileiros com diferentes características hidrodinâmicas, incluindo um trecho de costa aberta e um sistema semifechado, permitindo investigar o desempenho da regionalização em distintos cenários de propagação da maré.

Este artigo corresponde à versão estendida do trabalho apresentado no I CIRF & VIII SIMGEO – Regularização Fundiária Plena & Geotecnologias (Tanajura & Monico, 2025), incorporando ampliações metodológicas, novos experimentos e análises complementares desenvolvidos para a presente edição especial.

2 METODOLOGIA

A metodologia foi estruturada para avaliar comparativamente diferentes abordagens de previsão de maré, com ênfase na regionalização de constantes harmônicas como alternativa aos modelos globais. Para isso, são apresentadas as áreas de estudo, os dados maregráficos utilizados, os procedimentos de geração das previsões harmônicas, a regionalização das constantes, o alinhamento temporal entre séries observadas e previstas e as métricas empregadas na avaliação do desempenho dos modelos.

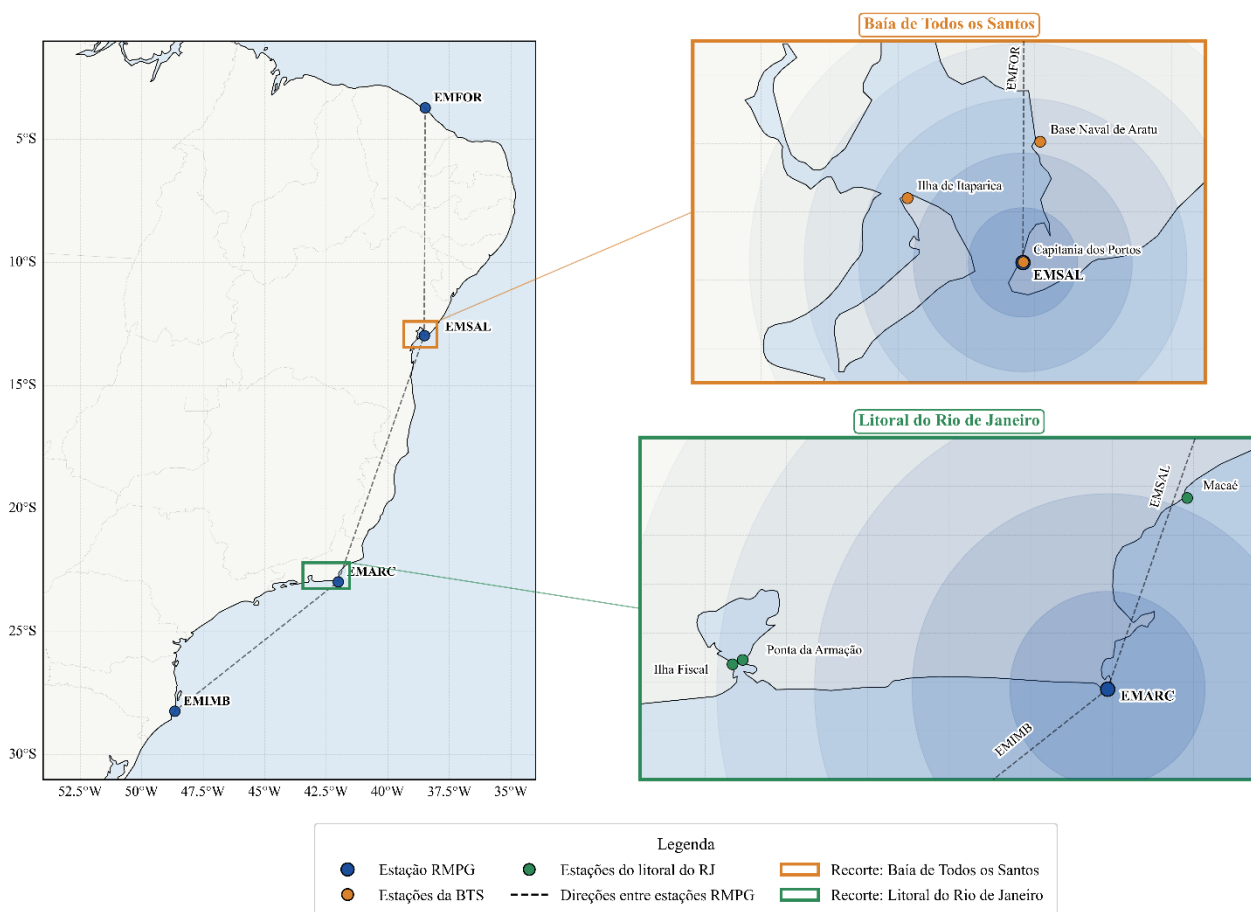
2.1 Áreas de estudo e dados maregráficos

O processo de regionalização emprega um conjunto de estações pertencentes à Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG/IBGE), utilizadas como referência para a estimativa espacial das constantes harmônicas. Essas estações encontram-se distribuídas ao longo do litoral brasileiro e fornecem os parâmetros harmônicos empregados na interpolação das constantes nas localidades-alvo.

As estações EMFOR (Fortaleza–CE), EMSAL (Salvador–BA), EMARC (Arraial do Cabo–RJ) e EMIMB (Imbituba–SC) foram selecionadas por possuírem análises harmônicas previamente calculadas e oficialmente disponibilizadas pelo IBGE. No esquema adotado, as estações EMSAL e EMARC foram utilizadas como estações-base, fornecendo as constantes harmônicas de referência para o processo de regionalização. Complementarmente, as estações EMFOR e EMIMB foram consideradas estações de extremidade, delimitando o domínio espacial de interpolação ao longo do setor costeiro analisado.

A distribuição espacial das estações da RMPG empregadas na regionalização, bem como sua relação geográfica com as áreas de validação consideradas neste estudo, é apresentada na Figura 1. As informações de localização das estações da RMPG utilizadas no processo são apresentadas na Tabela 1.

Figura 1 – Distribuição espacial das estações da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG/IBGE) utilizadas no processo de regionalização e localização das áreas de validação na Baía de Todos os Santos (BTS) e no litoral do Rio de Janeiro (RJ).



Elaboração: Os autores (2026).

Tabela 1 – Estações da RMPG/IBGE utilizadas no processo de regionalização das constantes harmônicas.

Estação	Localização	Latitude	Longitude
EMFOR	Fortaleza – CE	-3,71459722	-38,47681667
EMSAL	Salvador – BA	-12,97396944	-38,51720833
EMARC	Arraial do Cabo – RJ	-22,97265278	-42,01383056
EMIMB	Imbituba – SC	-28,23111111	-48,65027778

Elaboração: Os autores (2026); Fonte: RMPG/IBGE.

As áreas de validação compreendem dois contextos costeiros brasileiros contrastantes: a Baía de Todos os Santos (BTS), representando um ambiente semifechado, e o litoral do estado do Rio de Janeiro, representando predominantemente condições de costa aberta. Essa configuração permite avaliar o desempenho das previsões em cenários submetidos a diferentes graus de confinamento costeiro, complexidade geomorfológica e dinâmica hidrodinâmica.

A Baía de Todos os Santos caracteriza-se por circulação complexa, geometria irregular, forte influência batimétrica e significativa modulação hidrodinâmica local, fatores que podem amplificar efeitos de propagação e ressonância das marés (Martins, Castro & Cirano, 2020). Em contraste, o conjunto de estações do litoral do Rio de Janeiro contempla tanto pontos localizados na Baía de Guanabara quanto trechos adjacentes sob maior influência oceânica, permitindo avaliar o desempenho dos modelos em condições mais próximas às observadas em ambientes de costa aberta.

As estações maregráficas utilizadas na validação das previsões, com seus respectivos códigos, coordenadas geográficas e valores de nível médio (Z_0), são apresentadas na Tabela 2. O parâmetro Z_0 corresponde à distância vertical entre o nível médio do mar (NMM) e o nível de redução (NR) adotado localmente. Os valores de Z_0 apresentados correspondem aos valores oficiais disponibilizados nas fichas maregráficas F-41 da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN).

Tabela 2 – Estações maregráficas utilizadas na validação das previsões, com identificação, localização geográfica e valores de nível médio (Z_0).

Código	Estação	Localização	Latitude	Longitude	Z_0 (cm)
40133	Ilha de Itaparica	BTS	-12,879802	-38,686078	154,3
40135	Base Naval de Aratu	RJ	-12,797507	-38,492160	145,3
40141	Capitania dos Portos		-12,973333	-38,516667	133,5
50140	Ilha Fiscal		-22,896694	-43,166000	72,7
50141	Ponta da Armação		-22,883194	-43,134778	73,3
50202	Macaé		-22,385556	-41,769444	79,1

Elaboração: Os autores (2026); Fonte: Dados das fichas maregráficas F-41 da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN).

As observações maregráficas consistem em séries temporais do nível do mar obtidas a partir de registros disponibilizados por instituições oficiais. Das seis séries analisadas, cinco foram obtidas junto à Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil, enquanto uma série adicional foi fornecida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), referente à estação de Macaé. Os períodos de observação, duração e número total de registros considerados em cada estação são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Períodos de observação e características temporais das séries maregráficas analisadas

Código	Estação	Período	Intervalo (min.)	Duração (dias)	Nº de Observações
40133	Ilha de Itaparica	06/08/1974 – 20/09/1974	60	45	1104
40135	Base Naval de Aratu	03/09/2003 – 03/12/2003	60	91	2208
40141	Capitania dos Portos	22/04/1988 – 13/09/1988	60	144	3480
50140	Ilha Fiscal	03/12/2024 – 01/04/2025	5	119	34472
50141	Ponta da Armação	01/04/2025 – 11/07/2025	5	101	29073
50202	Macaé	13/07/2001 – 31/05/2015	60	5070	121684

Elaboração: Os autores (2026).

Considerando que essas séries já passaram por procedimentos institucionais de controle de qualidade, as etapas subsequentes restringiram-se à harmonização temporal, à conversão de unidades, quando necessária, e à sincronização entre séries observadas e previstas, considerando apenas instantes coincidentes.

As previsões harmônicas foram geradas a partir de três conjuntos distintos de constantes harmônicas. O primeiro corresponde às constantes publicadas pela Fundação de Estudos do Mar (FEMAR), conforme o Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras: Constantes Harmônicas (Sales *et al.*, 2000). O segundo é constituído pelas constantes derivadas do modelo global FES2022. O terceiro compreende constantes regionalizadas, obtidas por interpolação espacial a partir das constantes harmônicas previamente calculadas e disponibilizadas pela RMPG/IBGE. Esses três conjuntos constituem a base para a avaliação comparativa entre abordagens locais, regionalizadas e globais apresentada nas seções seguintes.

2.2 Previsão harmônica

A previsão do nível do mar baseia-se na formulação clássica da maré astronômica, em que a elevação da superfície livre é representada pela superposição linear de componentes harmônicas associadas aos principais constituintes astronômicos. A maré pode ser expressa pela seguinte equação:

$$\eta(t) = Z_0 + \sum_{i=1}^N f_i H_i \cos(\omega_i t + V_i + u_i - g_i) \quad (1)$$

onde: $\eta(t)$ elevação do nível do mar no instante t ;
 Z_0 distância vertical entre o nível médio do mar (NMM) e o nível de redução (NR);
 H_i e g_i amplitude e fase do i -ésimo constituinte harmônico;
 ω_i frequência angular do constituinte;
 f_i e u_i correções astronômicas associadas aos efeitos nodais;
 V_i argumento astronômico inicial.

Essa formulação segue a abordagem clássica descrita por Schureman (1958) e consolidada, no contexto brasileiro, por Franco e Alvarenga (2009).

As previsões harmônicas foram geradas a partir dos três conjuntos de constantes descritos na Seção 2.1, mantendo-se uma formulação comum para todas as abordagens avaliadas. Dessa forma, eventuais diferenças de desempenho podem ser atribuídas à origem das constantes harmônicas – locais, regionalizadas ou derivadas de modelo global – e não a variações no modelo matemático empregado.

Para cada estação maregráfica e para cada conjunto de constantes, as previsões foram geradas em um mesmo referencial temporal e vertical, permitindo comparações diretas com as séries observadas após os procedimentos de sincronização descritos nas seções seguintes.

As previsões baseadas nas constantes harmônicas da Fundação de Estudos do Mar (FEMAR) utilizaram diretamente os parâmetros publicados para cada estação, preservando suas frequências e convenções originais. Para o modelo global FES2022, empregaram-se as constantes harmônicas disponibilizadas pelo próprio modelo, extraídas nas coordenadas geográficas das estações analisadas.

O modelo global FES2022 constitui uma solução hidrodinâmica de marés baseada na assimilação combinada de dados de altimetria por satélite, observações maregráficas e modelagem numérica oceânica. Embora apresente elevado desempenho em escala global, sua aplicação em ambientes costeiros complexos, rasos ou semifechados pode ser limitada pela resolução espacial e pela representação de processos hidrodinâmicos locais.

As previsões baseadas em constantes regionalizadas utilizaram parâmetros harmônicos previamente calculados e oficialmente disponibilizados pela Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG/IBGE), não sendo realizadas novas análises harmônicas a partir das séries temporais observadas. O conjunto de constantes empregado em cada estação-alvo foi previamente estimado por interpolação espacial a partir de estações de referência, conforme descrito na Seção 2.3. Uma vez obtidas as constantes regionalizadas, as previsões harmônicas foram geradas segundo a mesma formulação empregada nas demais abordagens, preservando a consistência metodológica do procedimento comparativo.

2.3 Regionalização de constantes harmônicas

A estimativa de constantes harmônicas em localidades desprovidas de análises harmônicas locais foi realizada por meio de um processo de regionalização fundamentado na hipótese de continuidade espacial da resposta harmônica da maré ao longo do litoral. Nessa abordagem, assume-se que estações maregráficas geograficamente próximas e inseridas em contextos hidrodinâmicos semelhantes apresentam comportamento espectral compatível, permitindo estimar amplitudes e fases dos principais constituintes harmônicos por interpolação espacial.

Os dados de entrada do processo de regionalização corresponderam às constantes harmônicas

previamente calculadas e disponibilizadas pela Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG/IBGE). Conforme apresentado na Seção 2.1, as estações EMSAL (Salvador–BA) e EMARC (Arraial do Cabo–RJ) foram utilizadas como estações-base, fornecendo os parâmetros harmônicos de referência empregados na interpolação, enquanto as estações EMFOR (Fortaleza–CE) e EMIMB (Imbituba–SC) foram consideradas estações de extremidade, delimitando o domínio espacial de regionalização.

A regionalização foi implementada por meio do método *Inverse Distance Weighting* (IDW), aplicado individualmente a cada constituinte harmônico. Nesse procedimento, os parâmetros da estação-alvo são estimados a partir das constantes disponíveis nas estações de referência, sendo as contribuições ponderadas inversamente pela distância horizontal entre as estações.

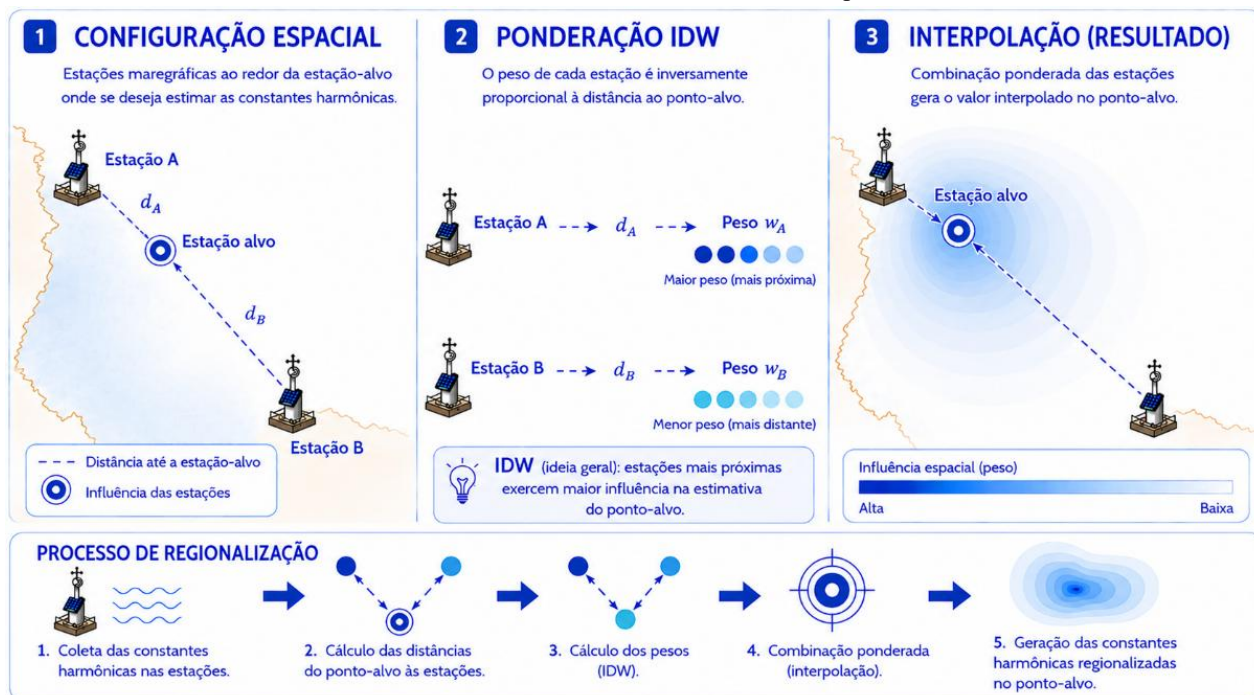
Os pesos (w_i) foram determinados segundo a expressão (Eq. (3)):

$$w_i = \frac{1}{d_i^p} \quad (3)$$

em que, w_i representa o peso associado à estação i , d_i corresponde à distância horizontal entre a estação de referência e a estação-alvo, e p representa a potência do método IDW. Adotou-se $p=1$, de modo que a influência de cada estação seja proporcional ao inverso de sua distância em relação à estação-alvo. Dessa forma, estações mais próximas exercem maior influência sobre a estimativa final, enquanto a contribuição das mais distantes é progressivamente reduzida. Essa configuração foi mantida para todos os constituintes harmônicos e estações analisadas.

A Figura 2 apresenta um esquema conceitual simplificado do procedimento de regionalização adotado. Inicialmente, consideram-se as constantes harmônicas disponíveis nas estações de referência e suas respectivas distâncias em relação à estação-alvo. Em seguida, são calculados os pesos associados a cada estação segundo o método IDW. Por fim, realiza-se a combinação ponderada dos parâmetros harmônicos, resultando na estimativa de um novo conjunto de constantes regionalizadas para a localidade de interesse.

Figura 2 – Esquema conceitual do processo de regionalização de constantes harmônicas. A ilustração foi gerada com auxílio do ChatGPT Plus, modelo GPT-5.6, e posteriormente revisada e editada pelos autores; o conteúdo científico e os elementos conceituais foram definidos e verificados pelos autores.



Elaboração: Os autores (2026).

O procedimento foi executado independentemente para cada constituinte harmônico, preservando-se suas frequências angulares originais. As amplitudes foram estimadas por interpolação ponderada direta. Para

as fases, em razão de sua natureza angular, a interpolação foi realizada no domínio vetorial, mediante a conversão prévia dos ângulos em componentes unitárias de cosseno e seno. Após a aplicação do método IDW a essas componentes, as fases regionalizadas foram reconstruídas por meio da função arco-tangente, minimizando discontinuidades associadas à circularidade dos ângulos.

As constantes harmônicas regionalizadas foram posteriormente utilizadas na geração das previsões harmônicas descritas na Seção 2.2 e comparadas diretamente às previsões obtidas com as constantes publicadas pela FEMAR e com aquelas derivadas do modelo global FES2022. Essa estratégia permitiu avaliar o potencial da regionalização de constantes harmônicas como alternativa para ampliar a cobertura espacial de previsões maregráficas em regiões costeiras brasileiras desprovidas de análises harmônicas locais.

2.4 Alinhamento temporal entre séries

A comparação entre séries maregráficas observadas e previstas requer seu adequado alinhamento temporal, de modo a minimizar defasagens que não decorrem da representação harmônica da maré, mas de diferenças de referência temporal ou de atrasos sistemáticos entre os sinais. Em análises de séries temporais geofísicas, a correlação cruzada é amplamente empregada para identificar deslocamentos temporais relativos entre dois sinais (Bendat & Piersol, 2010; Emery & Thomson, 2001).

A identificação da defasagem temporal ótima entre as séries observadas e previstas foi realizada por meio da função de correlação cruzada (CCF), definida como a correlação entre uma série observada e versões temporalmente deslocadas da série prevista. O deslocamento correspondente ao máximo da correlação indica a defasagem temporal predominante entre os sinais. Esse procedimento é particularmente adequado para séries maregráficas, nas quais pequenas discrepâncias de fase podem resultar em diferenças significativas nas métricas de erro.

Para garantir eficiência computacional e estabilidade numérica, a CCF foi calculada no domínio da frequência, utilizando a Transformada Rápida de Fourier (FFT). Esse procedimento baseia-se no teorema da convolução e constitui uma abordagem consagrada na análise de sinais e séries temporais, especialmente para séries longas (Oppenheim & Schaffer, 2010). A formulação permite a obtenção da correlação cruzada completa de forma eficiente, preservando a informação de fase necessária à identificação precisa da defasagem temporal.

A defasagem temporal estimada pela CCF foi aplicada às séries previstas, resultando no alinhamento temporal entre previsões e observações. Para evitar ambiguidades associadas ao sinal do deslocamento, foram avaliadas automaticamente tanto sua aplicação direta quanto sua aplicação com sinal invertido, sendo selecionada a configuração que proporcionou a maior correlação entre as séries comparadas. A defasagem obtida por esse procedimento é denominada *lag ótimo*, correspondendo ao deslocamento temporal que maximiza a correlação cruzada entre os sinais observado e previsto.

2.5 Correção de viés e definição da solução otimizada

Após o alinhamento temporal entre as séries observadas e previstas, procedeu-se ao ajuste dos níveis médios, com o objetivo de remover discrepâncias sistemáticas de referência vertical entre os sinais comparados. Essas diferenças podem decorrer dos referenciais verticais adotados, dos níveis médios utilizados ou da definição do nível de redução, sendo frequentes em comparações entre observações maregráficas e produtos provenientes de distintas fontes de dados.

O ajuste foi realizado a partir da diferença entre as médias das séries observada e prevista no período comum de análise, aplicando-se um deslocamento vertical constante à série prevista temporalmente alinhada. Após esse ajuste, as métricas de desempenho refletem predominantemente diferenças associadas à variabilidade temporal e à representação harmônica da maré, minimizando a influência de discrepâncias sistemáticas de referência.

A solução otimizada corresponde à aplicação sequencial do alinhamento temporal e do ajuste dos níveis médios entre as séries. Todas as avaliações quantitativas apresentadas nas seções seguintes foram realizadas a partir dessa configuração.

2.6 Métricas de avaliação

O desempenho das previsões harmônicas foi avaliado por meio de métricas estatísticas clássicas, amplamente empregadas na análise de séries temporais maregráficas e na validação de modelos de maré. Todas as métricas foram calculadas com base na solução otimizada definida na Seção 2.5.

O erro quadrático médio (*Root Mean Square Error* – RMSE) foi utilizado como métrica principal de erro global, por ser sensível a erros de maior magnitude e, portanto, adequado para avaliar discrepâncias residuais associadas a defasagens de fase ou à má representação de extremos de maré. O RMSE é definido como:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2} \quad (4)$$

em que P_i e O_i representam, respectivamente, os valores previstos e observados no instante i , e N o número total de observações consideradas.

De forma complementar, foi calculado o desvio-padrão (STD, σ) dos resíduos, definidos como a diferença entre as séries prevista e observada. Essa métrica quantifica a dispersão dos resíduos em torno de seu valor médio e fornece uma medida direta da capacidade do modelo em reproduzir a variabilidade temporal da maré.

Adicionalmente, foi empregado o coeficiente de determinação (R^2) como indicador do grau de concordância entre as séries previstas e observadas. O R^2 expressa a fração da variância observada explicada pelo modelo e constitui um indicador da preservação da assinatura espectral dominante da maré. Valores próximos de 1 indicam elevada capacidade explicativa, enquanto valores menores refletem limitações na representação da variabilidade temporal.

Em conjunto, RMSE, STD e R^2 fornecem uma caracterização complementar do desempenho das previsões, contemplando simultaneamente o erro global, a dispersão residual e o poder explicativo dos modelos. Essa combinação permite comparar, de forma consistente, as previsões baseadas em constantes locais, regionalizadas e derivadas do modelo global nos diferentes contextos costeiros analisados.

3 RESULTADOS

Esta seção apresenta a avaliação comparativa das diferentes abordagens de previsão de maré, com ênfase na regionalização de constantes harmônicas como alternativa às previsões baseadas em modelo global. As análises apresentadas nesta seção consideram a solução otimizada definida na Seção 2.5.

Inicialmente, são apresentados os resultados consolidados para o conjunto das estações analisadas, permitindo uma visão geral do desempenho das previsões baseadas em constantes locais, regionalizadas e derivadas do modelo global FES2022. Na sequência, os resultados são discutidos separadamente para a Baía de Todos os Santos e para o litoral do Rio de Janeiro, possibilitando avaliar a influência das características hidrodinâmicas de cada ambiente sobre o desempenho das diferentes abordagens.

A análise baseia-se nas métricas estatísticas RMSE, desvio-padrão dos resíduos (STD) e coeficiente de determinação (R^2), calculadas a partir das séries previstas e observadas após a aplicação dos procedimentos metodológicos descritos na Seção 2. Séries temporais representativas complementam a análise, permitindo visualizar diferenças de fase, amplitude e variabilidade entre as previsões avaliadas.

3.1 Métricas de avaliação

O desempenho das previsões de maré foi avaliado por meio da comparação entre as séries previstas e observadas, utilizando-se como métricas o erro quadrático médio (RMSE), o desvio-padrão dos resíduos (STD) e o coeficiente de determinação (R^2), calculados conforme descrito na Seção 2.6. A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos para as estações localizadas na Baía de Todos os Santos (BTS), enquanto a Tabela 5 reúne os resultados correspondentes às estações do litoral do estado do Rio de Janeiro. Em ambos os casos, os resultados apresentados correspondem à solução otimizada definida na Seção 2.5.

Tabela 4 – Desempenho das previsões de maré para as estações da Baía de Todos os Santos (BTS).

Estação	Método	Lag (min)	RMSE (m)	STD (m)	R ²
40133	FEMAR	+180	0,076	0,076	0,990
40133	FES2022	-60	0,344	0,344	0,789
40133	IBGE_REG	+180	0,125	0,125	0,972
40135	FEMAR	+180	0,132	0,132	0,959
40135	FES2022	0	0,170	0,170	0,932
40135	IBGE_REG	+180	0,140	0,140	0,954
40141	FEMAR	+180	0,085	0,085	0,980
40141	FES2022	0	0,110	0,110	0,966
40141	IBGE_REG	+180	0,086	0,086	0,979

Elaboração: Os autores (2026).

Tabela 5 – Desempenho das previsões de maré para as estações do litoral do Rio de Janeiro (RJ).

Estação	Método	Lag (min)	RMSE (m)	STD (m)	R ²
50140	FEMAR	+180	0,160	0,160	0,760
50140	FES2022	+5	0,124	0,124	0,855
50140	IBGE_REG	+205	0,132	0,132	0,837
50141	FEMAR	+210	0,162	0,162	0,757
50141	FES2022	+15	0,166	0,166	0,744
50141	IBGE_REG	+225	0,167	0,167	0,741
50202	FEMAR	+180	0,156	0,156	0,802
50202	FES2022	0	0,140	0,140	0,840
50202	IBGE_REG	+180	0,145	0,145	0,828

Elaboração: Os autores (2026).

Observa-se que os valores de RMSE e STD tornam-se praticamente coincidentes em todas as estações e métodos avaliados, indicando resíduos centrados em torno de média nula. Esse comportamento confirma a eficácia do ajuste dos níveis médios descrito na Seção 2.5 e evidencia que as métricas reportadas refletem predominantemente a dispersão residual das séries.

Nas estações da Baía de Todos os Santos (Tabela 4), as constantes da FEMAR e o conjunto IBGE Regionalizado apresentam desempenho consistente, com baixos valores de RMSE e elevados coeficientes de determinação em todas as estações analisadas. Em contraste, o modelo global FES2022 exibe maior variabilidade de desempenho nesse ambiente, refletindo limitações associadas à representação da dinâmica local em um sistema semifechado e hidrodinamicamente complexo.

Observa-se, ainda, que as previsões baseadas nas constantes da FEMAR e no conjunto IBGE_REG apresentaram, de forma consistente, *lags* ótimos próximos de +180 min nas três estações da Baía de Todos os Santos. Em contraste, os valores obtidos para o FES2022 mostraram maior variabilidade entre as estações, sugerindo diferenças sistemáticas de referência temporal entre as bases de dados empregadas.

Para o litoral do Rio de Janeiro (Tabela 5), predominantemente caracterizado por condições de costa aberta, observa-se um desempenho mais equilibrado entre os modelos. O FES2022 apresenta resultados competitivos, com valores de RMSE comparáveis — e, em alguns casos, inferiores — aos obtidos com os catálogos FEMAR e IBGE Regionalizado, acompanhados por coeficientes de determinação elevados.

As defasagens temporais identificadas pela correlação cruzada estão associadas predominantemente a diferenças de referência temporal adotadas pelas bases de dados entre as séries observadas e previstas, como a adoção de distintos fusos horários e convenções de tempo, e não a atrasos físicos na propagação da maré. O alinhamento temporal mostrou-se, portanto, essencial para garantir a comparabilidade entre séries provenientes de múltiplas fontes.

Em conjunto, os resultados apresentados nas Tabelas 4 e 5 evidenciam diferenças sistemáticas de desempenho entre as abordagens avaliadas, particularmente em função do contexto hidrodinâmico das áreas de estudo. A análise detalhada por estação e por ambiente costeiro é apresentada nas seções seguintes.

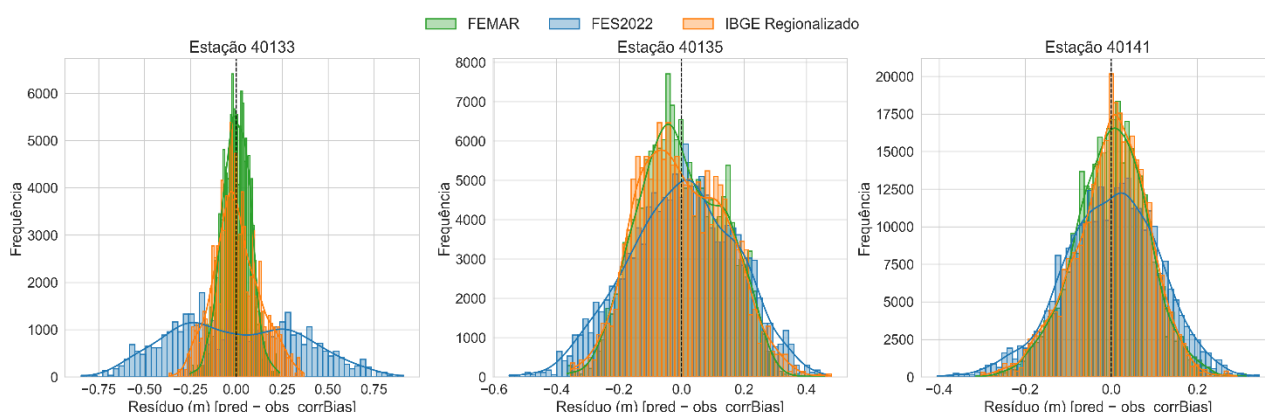
3.2 Desempenho por estação

3.2.1 BAÍA DE TODOS OS SANTOS

A Baía de Todos os Santos representa o ambiente semifechado considerado neste estudo, permitindo avaliar o desempenho das diferentes abordagens de previsão em um contexto de elevada complexidade hidrodinâmica.

A Figura 3 apresenta a distribuição dos resíduos das previsões de maré para as estações 40133, 40135 e 40141, considerando os modelos FEMAR, FES2022 e IBGE Regionalizado. Observa-se que os resíduos associados às previsões baseadas nas constantes da FEMAR e no conjunto IBGE_REG apresentam distribuições mais concentradas em torno de zero e menor dispersão quando comparados ao modelo global FES2022, especialmente na estação 40133.

Figura 3 – Distribuição dos resíduos das previsões de maré para as estações da Baía de Todos os Santos (BTS), considerando os modelos FEMAR, FES2022 e IBGE Regionalizado.



Elaboração: Os autores (2026).

A Tabela 6 sintetiza as estatísticas descritivas correspondentes, confirmando quantitativamente o comportamento observado na Figura 3. Os modelos baseados nas constantes da FEMAR e no conjunto IBGE_REG apresentam valores reduzidos de RMSE e desvio-padrão em todas as estações da BTS, além de elevados coeficientes de determinação. Em contraste, o modelo FES2022 apresenta maior variabilidade residual em algumas estações, refletindo limitações na representação da dinâmica local em um sistema semifechado.

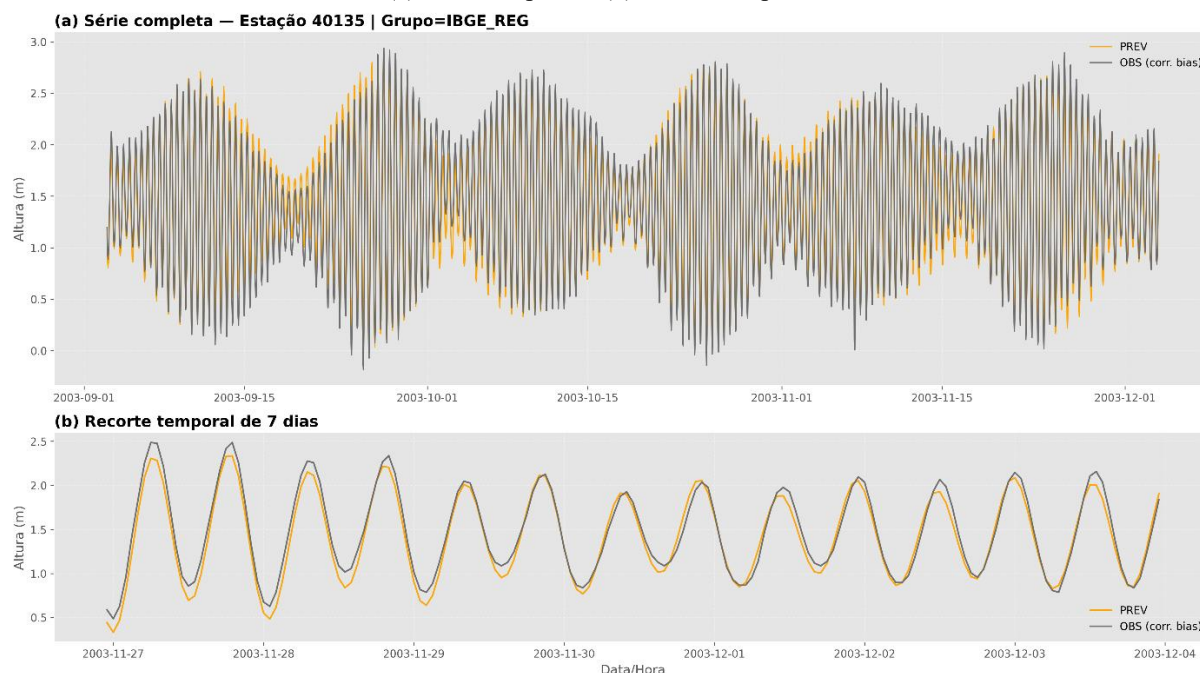
Tabela 6 – Resumo estatístico dos resíduos das previsões de maré para as estações da Baía de Todos os Santos.

Estação	Modelo	N	Média (m)	STD (m)	Mínimo (m)	Máximo (m)
40133	FEMAR	1104	0,000	0,076	-0,251	0,235
40133	FES2022	1100	0,000	0,344	-0,845	0,909
40133	IBGE_REG	1104	0,000	0,125	-0,366	0,370
40135	FEMAR	2208	0,000	0,132	-0,366	0,459
40135	FES2022	2205	0,000	0,170	-0,552	0,460
40135	IBGE_REG	2208	0,000	0,140	-0,356	0,479
40141	FEMAR	3480	0,000	0,085	-0,314	0,313
40141	FES2022	3477	0,000	0,110	-0,405	0,344
40141	IBGE_REG	3480	0,000	0,086	-0,303	0,292

Elaboração: Os autores (2026).

A Figura 4 apresenta a comparação entre as séries observada e previstas para a estação 40135, considerada representativa da Baía de Todos os Santos. São apresentados o período completo de análise e um recorte temporal de sete dias, permitindo avaliar visualmente a concordância entre as séries quanto à fase e à amplitude. Observa-se elevada concordância entre as previsões e as observações, embora pequenas diferenças locais de amplitude permaneçam em alguns ciclos de maré.

Figura 4 – Comparação entre séries observadas e previstas (solução otimizada) para a estação 40135, na Baía de Todos os Santos: (a) série completa e (b) recorte temporal de sete dias.



Elaboração: Os autores (2026).

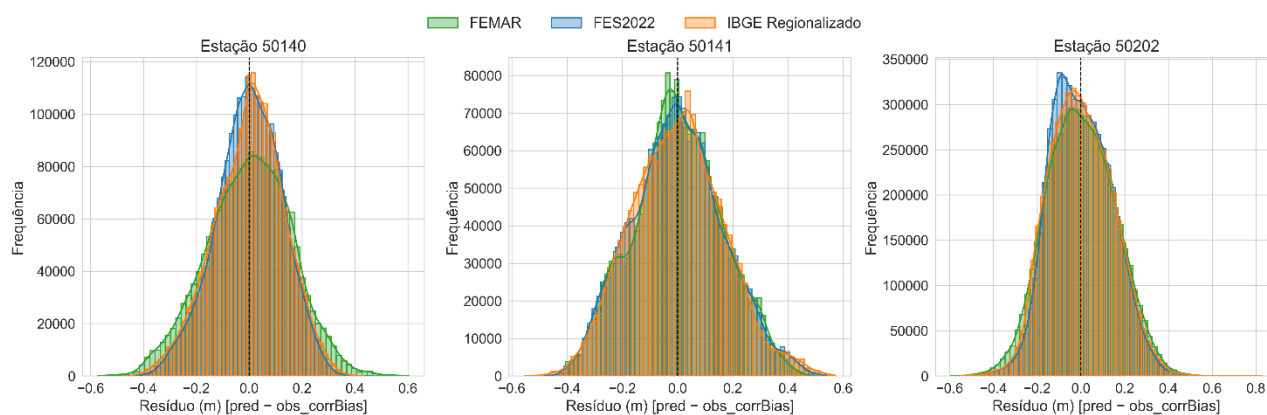
Em conjunto, os resultados obtidos para a Baía de Todos os Santos indicam desempenho superior das previsões baseadas nas constantes da FEMAR e no conjunto IBGE_REG em relação ao modelo global FES2022, sobretudo nas estações sob maior influência da dinâmica interna da baía.

3.2.2 LITORAL DO RIO DE JANEIRO

O trecho do litoral do Rio de Janeiro considerado neste estudo caracteriza-se predominantemente como um ambiente de costa aberta, com menor influência de efeitos de confinamento e maior coerência espacial na propagação da maré. Nessas condições, espera-se desempenho mais equilibrado entre as previsões baseadas em constantes regionais e no modelo global.

A Figura 5 apresenta a distribuição dos resíduos das previsões para as estações 50140, 50141 e 50202. De modo geral, observa-se que os três modelos avaliados exibem distribuições semelhantes, com resíduos centrados em torno de zero e dispersões comparáveis. Em particular, o modelo FES2022 apresenta desempenho competitivo, com distribuições de resíduos tão concentradas quanto aquelas obtidas com as constantes da FEMAR e do conjunto IBGE_REG.

Figura 5 – Distribuição dos resíduos das previsões de maré para as estações do litoral do Rio de Janeiro, considerando os modelos FEMAR, FES2022 e IBGE Regionalizado.



Elaboração: Os autores (2026).

A Tabela 7 confirma quantitativamente o comportamento observado na Figura 5, indicando valores de RMSE e desvio-padrão semelhantes entre os modelos, além de elevados coeficientes de determinação em todas as estações analisadas. Esses resultados indicam que, em ambientes predominantemente de costa aberta, o modelo global FES2022 apresenta desempenho comparável ao obtido com as constantes da FEMAR e do conjunto IBGE_REG.

Tabela 7 – Resumo estatístico dos resíduos das previsões de maré para as estações do litoral do Rio de Janeiro.

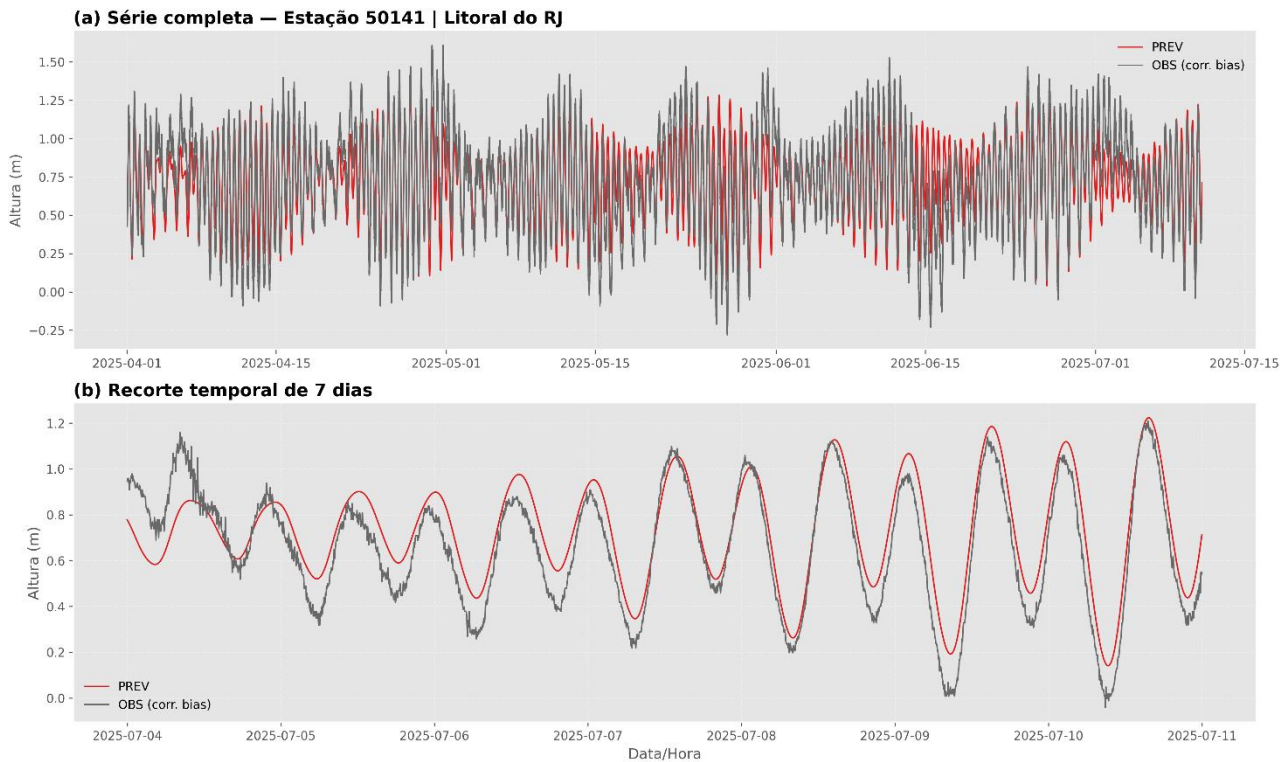
Estação	Modelo	N	Média (m)	STD (m)	Mínimo (m)	Máximo (m)
50140	FEMAR	34472	0,000	0,160	-0,572	0,603
50140	FES2022	34472	0,000	0,124	-0,458	0,461
50140	IBGE_REG	34468	0,000	0,132	-0,480	0,434
50141	FEMAR	29067	0,000	0,162	-0,438	0,508
50141	FES2022	29073	0,000	0,166	-0,480	0,541
50141	IBGE_REG	29064	0,000	0,167	-0,554	0,571
50202	FEMAR	121684	0,000	0,156	-0,594	0,752
50202	FES2022	121682	0,000	0,140	-0,553	0,778
50202	IBGE_REG	121684	0,000	0,145	-0,552	0,827

Elaboração: Os autores (2026).

Pequenas diferenças no número de amostras válidas (N) entre os modelos decorrem dos procedimentos de sincronização temporal e da disponibilidade de observações coincidentes após o alinhamento das séries.

A Figura 6 apresenta a comparação entre as séries observada e previstas para a estação 50141, considerada representativa do litoral do Rio de Janeiro. São apresentados o período completo de análise e um recorte temporal de sete dias. Observa-se elevada concordância entre as séries quanto à fase e à amplitude, corroborando os resultados estatísticos obtidos para esse domínio costeiro.

Figura 6 – Comparação entre séries observadas e previstas (solução otimizada) para a estação 50141, no Litoral do RJ: (a) série completa e (b) recorte temporal de sete dias.



Elaboração: Os autores (2026).

Em conjunto, os resultados obtidos para o litoral do Rio de Janeiro indicam desempenho semelhante entre as diferentes abordagens avaliadas, evidenciando que o modelo global FES2022 constitui uma alternativa competitiva em ambientes predominantemente de costa aberta.

3.2.3 SÍNTESE COMPARATIVA BTS × RJ

A comparação entre os dois domínios costeiros evidencia diferenças claras no desempenho relativo das abordagens avaliadas. Na Baía de Todos os Santos, as previsões baseadas nas constantes da FEMAR e no conjunto IBGE_REG apresentaram menores erros residuais e maior concordância com as observações, sobretudo na estação 40133, caracterizada por maior complexidade hidrodinâmica. Em contraste, no litoral do Rio de Janeiro, os três modelos apresentaram desempenhos semelhantes, com o modelo global FES2022 alcançando métricas comparáveis às obtidas pelas abordagens baseadas em constantes locais e regionalizadas.

Em conjunto, esses resultados evidenciam que o desempenho relativo dos modelos depende das características hidrodinâmicas do ambiente analisado. Enquanto a regionalização mostrou maior eficiência no domínio semifechado da Baía de Todos os Santos, o modelo global apresentou desempenho competitivo nas condições predominantemente de costa aberta observadas no litoral do Rio de Janeiro.

4 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos evidenciam que o desempenho dos modelos de previsão de maré está fortemente condicionado às características hidrodinâmicas locais, em especial ao grau de confinamento do ambiente costeiro analisado. A comparação entre a Baía de Todos os Santos e o litoral do Rio de Janeiro fornece um contraste claro entre um sistema semifechado, de dinâmica complexa, e um trecho de costa aberta, com propagação da maré mais regular e coerente espacialmente.

Na Baía de Todos os Santos, a superioridade relativa das previsões baseadas nas constantes da FEMAR e no conjunto IBGE_REG indica que a incorporação de informações locais exerce papel decisivo na qualidade das previsões. A menor dispersão dos resíduos e os elevados coeficientes de determinação observados nessas abordagens refletem a capacidade dessas constantes em representar efeitos hidrodinâmicos específicos da baía, como interações com a geometria costeira, canais internos e variações batimétricas. Em contraste, o desempenho mais variável do modelo global FES2022 nesse ambiente sugere limitações associadas à sua resolução espacial e à generalização inerente aos modelos globais quando aplicados a sistemas confinados.

Por outro lado, no litoral do Rio de Janeiro, caracterizado predominantemente como ambiente de costa aberta, os resultados indicam convergência de desempenho entre as abordagens avaliadas. O modelo global FES2022 apresenta métricas de erro e distribuições de resíduos comparáveis — e, em alguns casos, ligeiramente superiores — às obtidas com as constantes da FEMAR e com o conjunto IBGE_REG. Esse comportamento está de acordo com o esperado para regiões com menor influência de efeitos locais e maior coerência na propagação da maré, nas quais modelos globais bem calibrados tendem a reproduzir adequadamente a variabilidade observada do nível do mar.

Os resultados também sugerem que a distribuição espacial das estações utilizadas na regionalização exerce influência sobre o desempenho das previsões. De modo geral, as menores discrepâncias foram observadas em localidades geograficamente próximas às estações-base empregadas no processo de interpolação, indicando que a continuidade espacial das características harmônicas tende a ser mais bem preservada em regiões sob maior influência dessas estações de referência. Embora a avaliação quantitativa dessa relação não constitua objetivo do presente estudo, o comportamento observado é consistente com os pressupostos que fundamentam a regionalização por interpolação baseada em distância adotada.

Embora os resultados indiquem que a regionalização por interpolação baseada em distância constitui uma estratégia promissora, os experimentos realizados não permitem estabelecer um raio espacial máximo ou um limite único de aplicação. A efetividade do procedimento depende não apenas da distância entre as estações, mas também da continuidade hidrodinâmica do domínio analisado, da disponibilidade de estações de referência e da presença de transições geomorfológicas capazes de alterar significativamente a propagação da maré. Dessa forma, o alcance espacial da regionalização deve ser interpretado como dependente do contexto costeiro considerado, constituindo um tema relevante para investigações futuras.

A proximidade sistemática entre os valores de RMSE e desvio-padrão confirma que as diferenças entre os modelos estão associadas predominantemente à variabilidade residual e à representação dinâmica da maré, e não a componentes sistemáticas dos resíduos. Esse resultado reforça a consistência da estratégia de otimização empregada e indica que as métricas utilizadas refletem adequadamente as diferenças de

desempenho entre as abordagens avaliadas.

De forma sintética, os resultados indicam que as previsões baseadas nas constantes da FEMAR e no conjunto IBGE_REG apresentaram o melhor desempenho global nas áreas analisadas. O conjunto IBGE_REG produziu resultados comparáveis aos obtidos com as constantes locais da FEMAR, particularmente na Baía de Todos os Santos, enquanto o modelo global FES2022 apresentou desempenho competitivo sobretudo em ambientes de costa aberta. Esses resultados reforçam o potencial da regionalização como alternativa para estimativas maregráficas em localidades desprovidas de análises harmônicas próprias.

Do ponto de vista aplicado, os resultados sugerem que a regionalização de constantes harmônicas constitui uma alternativa tecnicamente viável — e, em ambientes complexos, preferencial — ao uso exclusivo de modelos globais de maré. Essa abordagem mostra-se especialmente relevante em regiões onde a disponibilidade de constantes harmônicas locais é limitada, mas existe uma rede de estações vizinhas com parâmetros confiáveis para a interpolação espacial. Ao mesmo tempo, os resultados confirmam que modelos globais permanecem ferramentas adequadas em trechos de costa aberta, oferecendo soluções eficientes e de ampla cobertura espacial.

Assim, a escolha entre modelos globais e abordagens regionalizadas não deve ser tratada como excludente, mas complementar, considerando explicitamente o contexto hidrodinâmico da área de interesse. Essa perspectiva reforça a importância de estratégias híbridas e adaptativas para a previsão de maré, especialmente diante da crescente demanda por produtos maregráficos precisos voltados a aplicações cartográficas, geodésicas e costeiras.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho avaliou o desempenho da regionalização de constantes harmônicas maregráficas como alternativa às previsões baseadas em modelo global, utilizando como áreas de validação a Baía de Todos os Santos e o litoral do Rio de Janeiro, representativos de ambientes costeiros com características hidrodinâmicas contrastantes.

Os resultados demonstraram que o desempenho das diferentes abordagens depende fortemente do contexto hidrodinâmico da área analisada. Na Baía de Todos os Santos, ambiente semifechado e de elevada complexidade geomorfológica, as previsões baseadas nas constantes da FEMAR e no conjunto IBGE_REG apresentaram melhor desempenho, evidenciado por menores erros residuais e maior concordância com as observações. Em contrapartida, no litoral do Rio de Janeiro, caracterizado predominantemente por condições de costa aberta, o modelo global FES2022 apresentou desempenho comparável ao das abordagens baseadas em constantes locais e regionalizadas.

Os resultados obtidos também evidenciaram que a regionalização baseada em interpolação espacial preserva adequadamente a informação harmônica em regiões sob influência das estações de referência, constituindo uma alternativa consistente para estimar constantes harmônicas em localidades desprovidas de análises próprias. Ao mesmo tempo, o estudo mostrou que a efetividade dessa abordagem depende da continuidade hidrodinâmica do domínio costeiro e da distribuição espacial das estações utilizadas na interpolação, não sendo possível estabelecer um limite espacial único para sua aplicação.

Em síntese, a regionalização de constantes harmônicas mostrou-se uma alternativa tecnicamente viável e complementar ao uso de modelos globais de maré, ampliando o potencial de geração de previsões maregráficas em regiões com limitada disponibilidade de informações locais. Esses resultados contribuem para o desenvolvimento de metodologias mais flexíveis para a previsão de maré e indicam que estratégias híbridas, capazes de integrar modelos globais e informações regionais, representam um caminho promissor para aplicações cartográficas, geodésicas e costeiras.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas (PPGCC) da Universidade Estadual Paulista (UNESP) pelo apoio institucional ao desenvolvimento desta pesquisa; ao Grupo de Estudos em Geodésia Espacial (GEGE) pelo suporte científico; e ao Prof. Dr. José Maria Landim Dominguez, do Laboratório de Estudos Costeiros (LEC), do Instituto de Geociências da Universidade Federal

da Bahia (IGEO/UFBA), pelo apoio e pelas contribuições à pesquisa.

Contribuição dos Autores

Tanajura E.L.X.: Redação – minuta inicial; Redação – revisão e edição.

Monico J.F.G.: Análise formal; Supervisão.

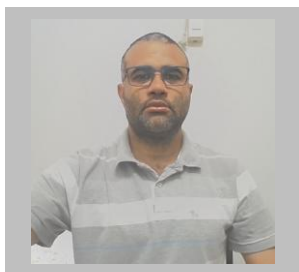
Conflitos de Interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse relacionados à realização e à publicação deste trabalho.

Referências

- Bendat, J. S., & Piersol, A. G. (2010). *Random data: Analysis and measurement procedures* (4th ed.). Wiley.
- Carrère, L., Lyard, F., Cancet, M., Guillot, A., & Roblou, L. (2021). FES2014, a new tidal model on the global ocean with enhanced accuracy in shallow seas and in the Arctic region. *Ocean Science*, 17(3), 615–649. <https://doi.org/10.5194/os-17-615-2021>
- Emery, W. J., & Thomson, R. E. (2001). *Data analysis methods in physical oceanography* (2nd ed.). Elsevier.
- Franco, A. dos S., & Alvarenga, J. B. (2009). *Marés: Fundamentos, análise e previsão* (2ª ed.). Diretoria de Hidrografia e Navegação.
- Martins, V. F., Castro, B. M., & Cirano, M. (2020). On the dynamics of the semidiurnal tide in the Baía de Todos os Santos, eastern Brazilian coast. *Continental Shelf Research*, 205, 104181. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2020.104181>
- Oppenheim, A. V., & Schaffer, R. W. (2010). *Discrete-time signal processing* (3rd ed.). Prentice Hall.
- Sales, F. P., Bentes, F. C. M., & Santos, J. A. dos (Orgs.). (2000). *Catálogo de estações maregráficas brasileiras: Constantes harmônicas*. Fundação de Estudos do Mar.
- Schureman, P. (1958). *Manual of harmonic analysis and prediction of tides* (Special Publication No. 98). U.S. Coast and Geodetic Survey.
- Silva, K. S., & Tanajura, E. L. X. (2025). Obtenção de alturas de maré a partir de séries históricas da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia – RMPG. *Geociências*, 44(1), 103–117.
- Tanajura, E. L. X., & Monico, J. F. G. (2025). Avaliação de modelos harmônicos de previsão de maré na Baía de Todos os Santos: FES2022 versus modelo regionalizado da RMPG/IBGE. In *I Congresso Internacional de Regularização Fundiária & VIII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação*. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17136347>

Biografia do autor principal



Elmo Leonardo Xavier Tanajura é Engenheiro Agrimensor pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (2005), Mestre em Ciências Geodésicas pela Universidade Federal do Paraná (2008) e Doutor em Geociências pela Universidade Federal de Pernambuco (2017). Realizou pós-doutorado na Universidade Estadual Paulista (UNESP), campus de Presidente Prudente. É professor da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia (UFBA). Atua nas áreas de Geodésia, Topografia, Geodésia Costeira, Maregrafia, Modelagem Matemática e aplicações de Inteligência Artificial às Geociências.



Esta obra está licenciada com uma Licença [Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.