



# SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROGRAFIA 2025



*"Desafios da Hidrografia na Transformação Digital"*

## PLATAFORMA AUTOMATIZADA PARA PREVISÃO, RECONSTRUÇÃO HARMÔNICA E CONTROLE DE QUALIDADE DE MARÉ EM TEMPO REAL: INOVAÇÃO PARA A HIDROGRAFIA OPERACIONAL

*Souza, L.C.C.<sup>1</sup>; Silva, A.E.<sup>1</sup>; Nascimento, T.F.<sup>1</sup>; Manente Filho, A.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> UMI SAN Engenharia e Hidrografia

\*luizccindras@gmail.com.br; alex.silva@umi.com.br ; thiago.nascimento@umi.com.br; aureo.manente@umi.com.br

Palavras-chave: Previsão de Mare; Controle de Qualidade; Automação; Séries Temporais; Hidrografia Operacional.

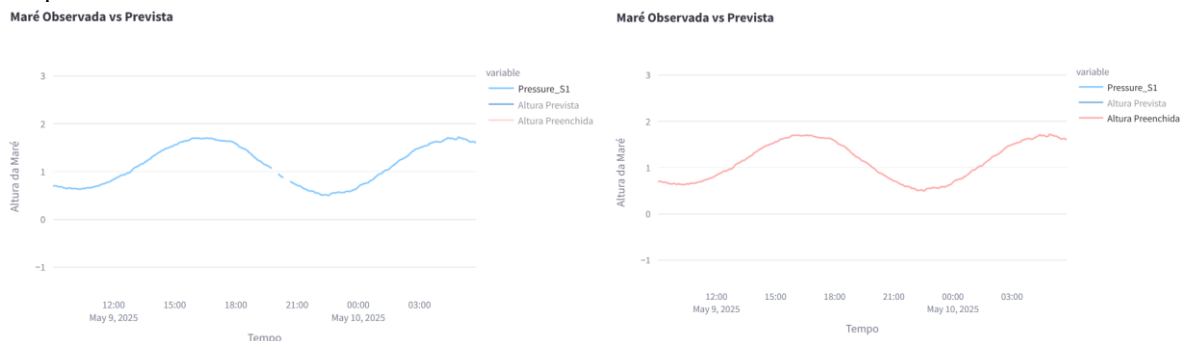
Sistemas tradicionais de previsão de maré, como o PACMARÉ, têm desempenhado um papel fundamental em atividades hidrográficas ao longo dos anos. No entanto, apesar de sua importância histórica, esses sistemas apresentam limitações que comprometem sua aplicação em contextos operacionais modernos. Entre essas limitações, destacam-se a inserção manual de dados, a ausência de atualizações automáticas, o funcionamento offline e a falta de mecanismos de controle de qualidade. Tais deficiências tornam-se críticas quando se trata de aplicações que exigem decisões rápidas e confiáveis, como operações portuárias, levantamentos batimétricos e modelagens meteoceanográficas.

Para superar essas barreiras, desenvolveu-se uma plataforma inteligente voltada ao controle de qualidade, reconstrução e previsão de séries temporais de maré. Esta solução foi pensada para contextos que exigem automação, atualização contínua e alta confiabilidade. A plataforma realiza a leitura automática de dados em tempo real, identificando e corrigindo falhas como lacunas, ruídos e valores atípicos. A depender da extensão da falha, aplica interpolação linear ou reconstrução harmônica baseada em constituintes astronômicos.

A filtragem dos dados é feita por meio de técnicas digitais do tipo Butterworth, ajustáveis conforme a necessidade da aplicação. Isso permite eliminar ruídos de alta frequência sem comprometer os componentes significativos da maré. O modelo harmônico é continuamente recalibrado à medida que novos dados válidos são incorporados, garantindo previsões sempre atualizadas. Além disso, os dados são exportáveis em formatos compatíveis com softwares técnicos como Hypack e CARIS, ou em planilhas de uso geral, como arquivos CSV.

O sistema também oferece visualizações interativas que permitem acompanhar o comportamento da maré em tempo real, incluindo gráficos que mostram a série bruta, a versão filtrada, a reconstrução dos dados faltantes e a previsão futura. Em aplicações práticas, como sondagens e modelagens, essas visualizações auxiliam na validação dos dados e na tomada de decisão com maior segurança.

Para ilustrar o desempenho da plataforma, apresentam-se dois exemplos. No primeiro, analisa-se uma série temporal real com lacunas decorrentes de falhas na coleta de dados. Essas falhas inviabilizam aplicações mais sensíveis, como modelos ou análises operacionais.



**Figura 1:** Gráfico a esquerda ilustrando um trecho de série com falha (gap) e a direita a respectiva correção automática com interpolação linear/ modelo harmônico.

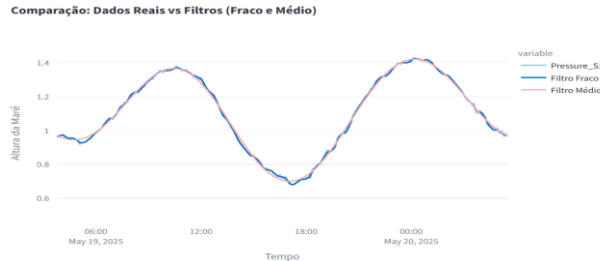
Em outro exemplo, uma série bruta é comparada com sua versão filtrada, destacando o efeito da atenuação dos ruídos sem perda de tendência.



# SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROGRAFIA 2025



*“Desafios da Hidrografia na Transformação Digital”*



**Figura 2:** Visualização de uma série bruta com ruído de alta frequência e a versão filtrada por Butterworth com diferentes configurações.

A plataforma foi testada em diferentes regiões da costa brasileira, demonstrando ganhos significativos em acurácia, continuidade das séries e integração com fluxos operacionais diversos. O desempenho do modelo é monitorado continuamente por métricas como RMSE,  $R^2$  e análise espectral residual.

Complementando a análise, são apresentadas duas tabelas comparativas. A primeira resume as principais diferenças entre o sistema tradicional PACMARÉ e a nova solução proposta, destacando aspectos como atualização automática, previsão contínua, tratamento de falhas e compatibilidade operacional. A segunda tabela orienta sobre os contextos em que cada sistema se mostra mais adequado, oferecendo critérios práticos para a escolha entre as duas abordagens.

**Tabela 1:** Comparação entre um sistema tradicional de previsão de maré (PACMARÉ) e a plataforma inteligente proposta. São destacadas as limitações operacionais do método convencional e os avanços proporcionados pela automação, integração e tratamento de dados em tempo real.

| Aspecto                         | PACMARE (Convencional)             | Plataforma Inteligente                        |
|---------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Atualização automática          | ✗ Não                              | ✓ Sim, em tempo real                          |
| Previsão contínua               | ✗ Estática                         | ✓ Atualiza com novos dados                    |
| Tratamento de falhas            | ✗ Não trata gaps, ruídos ou spikes | ✓ Corrige automaticamente                     |
| Visualização integrada          | ✗ Não possui                       | ✓ Gráficos claros: bruto, filtrado e previsto |
| Facilidade de uso               | ⚠ Exige operação técnica           | ✓ Pronto para uso contínuo                    |
| Formato de exportação           | ⚠ Somente TID                      | ✓ CSV, TID e outros                           |
| Decisão em campo                | ✗ Dados desatualizados             | ✓ Base confiável para decisões imediatas      |
| Aplicação em operações críticas | ⚠ Limitada                         | ✓ Ideal para batimetrias, portos, modelagens  |

**Tabela 2:** Sugestão de aplicação conforme as características da operação. O sistema tradicional pode atender demandas pontuais e estáticas, enquanto a plataforma inteligente é recomendada para contextos críticos, com necessidade de previsões atualizadas, dados com falhas e integração contínua ao processo decisório.

☒ **Use o PACMARE se:**

- Você precisa apenas de uma previsão pontual.
- Os dados estão prontos e limpos.
- A operação não exige atualização em tempo real.
- Validação do Nível de Referência Hidrografico

☒ **Use a Plataforma Inteligente se:**

- Você precisa de previsões sempre atualizadas.
- Trabalha com dados reais, com falhas e ruídos.
- Suas decisões dependem de rapidez, precisão e visualização clara.
- Está lidando com **operações críticas** (portos, sondagens, modelagens).

Essa proposta representa um avanço significativo na gestão de séries temporais de maré, aproximando os modelos de previsão das demandas operacionais do presente. Ao integrar controle de qualidade, reconstrução inteligente e previsão automatizada em um único sistema, amplia-se não apenas a confiabilidade dos dados, mas também sua aplicabilidade em contextos que exigem alta precisão e agilidade.