



## Influência da Utilização de Séries Primárias, Secundárias e Terciárias na Definição do Nível de Redução e do Nível do Médio do Mar Local de Levantamentos Hidro-oceanográficos

*Influence of the use of Primary, Secondary and Tertiary Series on the Definition of the Chart Datum and Local Mean Sea Level of Hydrographic Survey*

Filipe Floriano da Cruz<sup>1</sup>, Raiane Rintielle Vaz Menezes<sup>2</sup>, Italo Oliveira Ferreira<sup>3</sup>, Felipe Catão Mesquita Santos<sup>4</sup> e Victória Gibrim Teixeira<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil. [filipe.cruz@ufv.br](mailto:filipe.cruz@ufv.br)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1994-5402>

<sup>2</sup>Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil. [rintielle@gmail.com](mailto:rintielle@gmail.com).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6717-728X>

<sup>3</sup>Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil. [italo.ferreira@ufv.br](mailto:italo.ferreira@ufv.br).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4243-8225>

<sup>4</sup>Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil. [felipe.mesquita@ufv.br](mailto:felipe.mesquita@ufv.br).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9376-766X>

<sup>5</sup>Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil. [victoria.gibrim@ufv.br](mailto:victoria.gibrim@ufv.br).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7279-110X>

Recebido: 08.2022 | Aceito: 12.2022

**Resumo:** As estações maregráficas podem ser divididas em primárias, secundárias e terciárias. As primárias são operadas por pelo menos 19 anos, as secundárias entre 1 e 19 anos e as terciárias entre 32 dias e 1 ano. Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo analisar a influência da série histórica de níveis do mar na definição do Nível médio do Mar Local (NMML) e do Nível de Redução (NR), empregando séries temporais de estações maregráficas primárias, secundárias e terciárias, bem como avaliar as discrepâncias geradas quanto a utilização destas. Para alcançar esse propósito, dividiu-se uma série de 39 anos da estação da Cananéia-SP em duas primárias (cada uma com 19 anos) e, a partir destas, obteve-se séries secundárias e terciárias. Em seguida, encontrou-se o NMML, as componentes harmônicas e, posteriormente, o NR de cada série temporal. A avaliação foi efetuada por meio da análise exploratória das discrepâncias dos dados, e os resultados encontrados demonstram que tanto o NMML quanto o NR apresentam variações temporais e que podem ser calculados com base em séries terciárias. No entanto, recomenda-se que estes sejam obtidos, sempre, baseados em séries atuais.

**Palavras-chave:** Maré. Nível de Redução. Nível Médio do Mar Local.

**Abstract:** Tide gauge can be divided into primary, secondary, and tertiary stations. The primary ones are operated for at least 19 years, the secondary ones between 1 and 19 years, and the tertiary ones between 32 days and 1 year. In this context, the present study aimed to analyze the influence of the historical series of sea levels in the definition of the Local Mean Sea Level (LMSL) and the Chart Datum (CD), using time-series of primary, secondary, and tertiary tide gauge, as well as to evaluate the discrepancies generated regarding their use. To achieve this purpose, a 39 years time-series of the Cananéia (SP) station was divided into two primary ones (each one of 19 years) and, from these, secondary and tertiary series were obtained. Then the LMSL, the harmonic components and, later, the CD of each time series were found. The evaluation was carried out through an exploratory analysis of the data discrepancies, and the results demonstrate that both LMSL and CD presents temporal variations and that they can be calculated based on tertiary series. However, it is recommended that these be obtained, always, based on current series.

**Keywords:** Tide. Chart Datum. Local Mean Sea Level.

## 1 INTRODUÇÃO

As altitudes definidas no Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) têm origem nos *data* de Imbituba e Santana, os quais são grandezas peculiares do Nível Médio do Mar (NMM). Em Imbituba, no estado de Santa Catarina, o *datum* foi obtido a partir de observações do NMM entre os anos de 1949 e 1957, enquanto para a definição do *datum* de Santana, no estado do Amapá, foram empregados dados de 1957 e 1958 (IBGE, 2009).

A disposição vertical em trechos costeiros apresenta dificuldades específicas quanto à utilização das altitudes estabelecidas no SGB (IBGE, 2009). As marés, dentre os efeitos que causam sua variação, cita-se as fases da Lua como influenciador significativo. Em um período de 28 dias, a Lua apresenta as fases minguante, crescente, nova e cheia ao completar seu ciclo de revolução, responsável pelo movimento da Lua em torno da Terra (ANTUNES, 2000; WHITE, 2017). Nas fases crescente e minguante a Lua causa menor influência, caracterizando a maré de quadratura, onde ocorrem pequenas variações de altura das marés. Por outro lado, a maré de sizígia é caracterizada por grandes variações e ocorre nas fases de Lua nova e cheia (FRANCO, 2009).

Uma conjuntura encontrada na caracterização do regime local das marés refere-se à necessidade de o usuário ter um nível de referência mínimo ou máximo, e não um valor médio, tornando o NMM um elemento crítico para a realização de projetos à beira-mar. Soma-se a isso o fato de o Nível “Médio” do Mar Local (NMML), em diversas situações, possuir uma relação desconhecida quanto ao sistema de referência nacional, uma vez que a topografia costeira tem variação heterogênea, logo, a referência de nível vertical para Imbituba não é a mesma para todo o litoral brasileiro (FRANCO, 2009).

O conhecimento do NMML é importante para muitas áreas da ciência, como engenharia e navegação. Tomando-se o ponto de vista da engenharia, o NMML influencia na implantação de estruturas portuárias, proteção costeira, dentre outros. Na navegação, o conhecimento do NMML é primordial para a segurança das embarcações que trafegam naquele local (PICKERING, 2012).

A Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), órgão responsável pelas cartas e publicações náuticas, bem como projetos relacionados à área marítima e fluvial brasileira, adere a terminologia Nível de Redução (NR) para caracterizar o plano de referência ao qual todas as profundidades cartografadas são representadas (SILVA, 2013). No Brasil, o NR das cartas náuticas corresponde à média das baixa-mares de sizígia (MLWS – *Mean Low Water Springs*), tendo como principal objetivo garantir a segurança da navegação. Em síntese, é a altura a qual o mar não descende, em condições normais, definido por critérios puramente astronômicos da maré local, e sendo considerado o zero do eixo vertical (CHM, 2019). Desta forma, o NR apresenta variações espaciais e temporais em relação ao *datum* vertical do SGB (MIGUENS, 1996). Ainda, deve-se atentar ao emprego do NMML da estação maregráfica da referida carta náutica para representação dos pontos costeiros.

Existem inúmeros fatores que influenciam as variações verticais do nível do mar e de outros corpos d’água ligados ao oceano. De modo geral, o principal fator é habitualmente chamado de maré e é caracterizado por ser um fenômeno periódico com ciclos de elevação (preamar) e redução (baixa-mar) do nível das águas marítimas, por influência das forças de gravitação do Sol e da Lua. Essas oscilações intermitentes apresentam escalas temporais de anos, dias ou horas. Além disso, as marés possuem características espaciais e temporais bastante diferentes de local para local (FRANCO, 2009).

Para monitoramento da variação do nível da água é necessário o uso de réguas linimétricas e/ou de marégrafos. Estas são as principais fontes de observação do comportamento da maré. A variação do nível da água pode ser obtida por marégrafos analógicos e digitais. Estes primeiros fornecem maregramas, que são gráficos cartesianos que registram a variação do nível da água, enquanto os digitais geralmente fornecem os dados em um arquivo de texto, a partir de um conjunto de observações feitas sequencialmente ao longo do tempo, ou seja, uma série temporal de observações maregráficas, na qual é possível extrair diversas informações. Dessa forma, realiza-se uma análise harmônica da maré local, identificando as principais componentes harmônicas, permitindo a obtenção do NR (FRANCO, 2009).

A metodologia para a definição do NR local é instituída pela DHN através da NORMAM-25 (Normas da Autoridade Marítima para Levantamentos Hidrográficos). Esta estabelece a utilização do critério de Courtier (1938) e Balay (1952) (*apud* DHN, 2017), nas quais utilizam-se as amplitudes das principais componentes harmônicas, classificando a maré e obtendo a cota em que o NR se encontra abaixo do NMML (DHN, 2017).

As estações maregráficas podem ser divididas em primárias, secundárias e terciárias. As estações maregráficas primárias, também conhecidas como estações de controle, são aquelas operadas por pelo menos 19 anos, obtendo registros contínuos do nível do mar. Nelas, há a materialização efetiva do NR. Já as estações secundárias são caracterizadas por operar entre 1 a 19 anos de forma temporária. Por fim, as estações terciárias são aquelas que exercem suas atividades por período inferior a 1 ano e superior a 32 dias. As duas últimas possibilitam o monitoramento em baías e estuários, onde os efeitos de maré localizados não podem ser verificados na estação de controle (IHO, 2005).

A proposta da utilização de séries temporais de observações da maré de 19 anos, 1 ano e 32 dias é decorrente, principalmente devido ao ciclo nodal lunar e o período de lunação. O ciclo nodal lunar tem uma periodicidade de 18,6 anos, enquanto um ciclo das fases da Lua ocorre em aproximadamente 29,5 dias. Estes dois fenômenos são provocados na interação das forças de corpos celestes (como o Sol), que influenciam na Lua (ANTUNES, 2000). A determinação do NR local, segundo orientações da DHN, se dá com a duração mínima de 32 dias, recomendável 1 ano de observações maregráficas. Por esta recomendação será analisado também o período de 1 ano de dados.

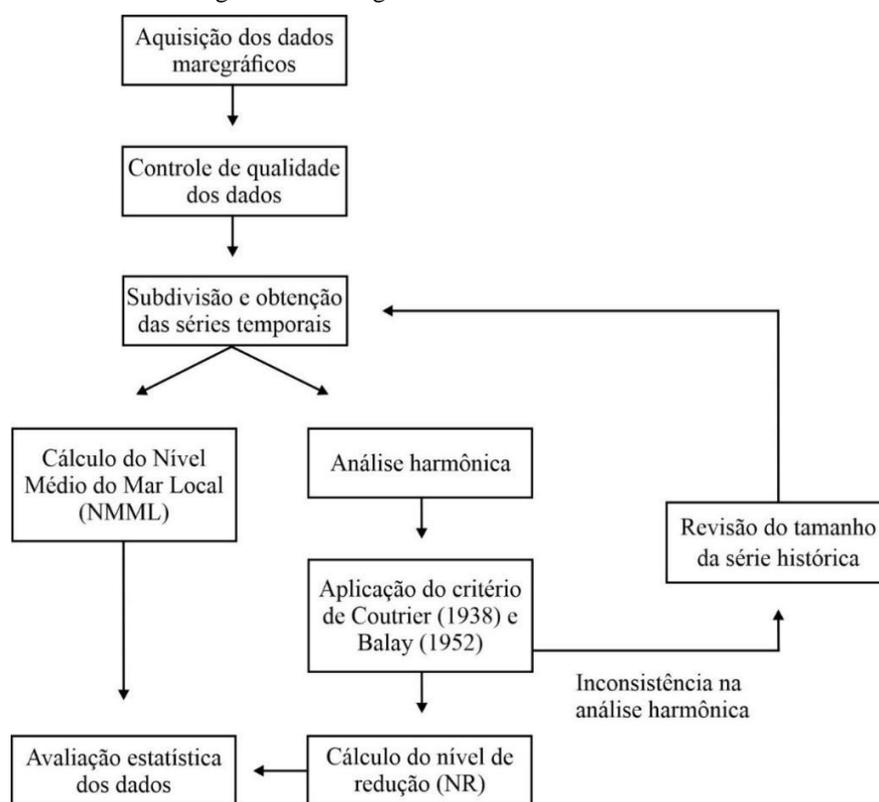
No Brasil existe uma carência quanto às séries observadas de nível do mar e estações maregráficas fixas (SANTANA; DALAZOANA, 2020). Poucas são as estações cujos NRs foram calculados com base em períodos superiores a 1 ano e, por esse motivo, a DHN permite utilizar informações maregráficas de no mínimo 32 dias para a definição do NR. No entanto, a literatura atual não apresenta estudos que quantificam as diferenças no NMML e NR obtidos a partir das diferentes séries temporais de observações maregráficas.

Diante do exposto, este trabalho objetiva avaliar os NMML e o NR obtidos por meio de séries históricas secundárias e terciárias, comparativamente a uma série histórica primária. Os resultados foram avaliados visando obter a influência vertical do emprego de estações secundárias e terciárias no âmbito da cartografia náutica nacional.

## 2 DADOS E METODOLOGIA

O fluxograma ilustrado na Figura 1 apresenta, sucintamente, a metodologia empregada no desenvolvimento deste estudo.

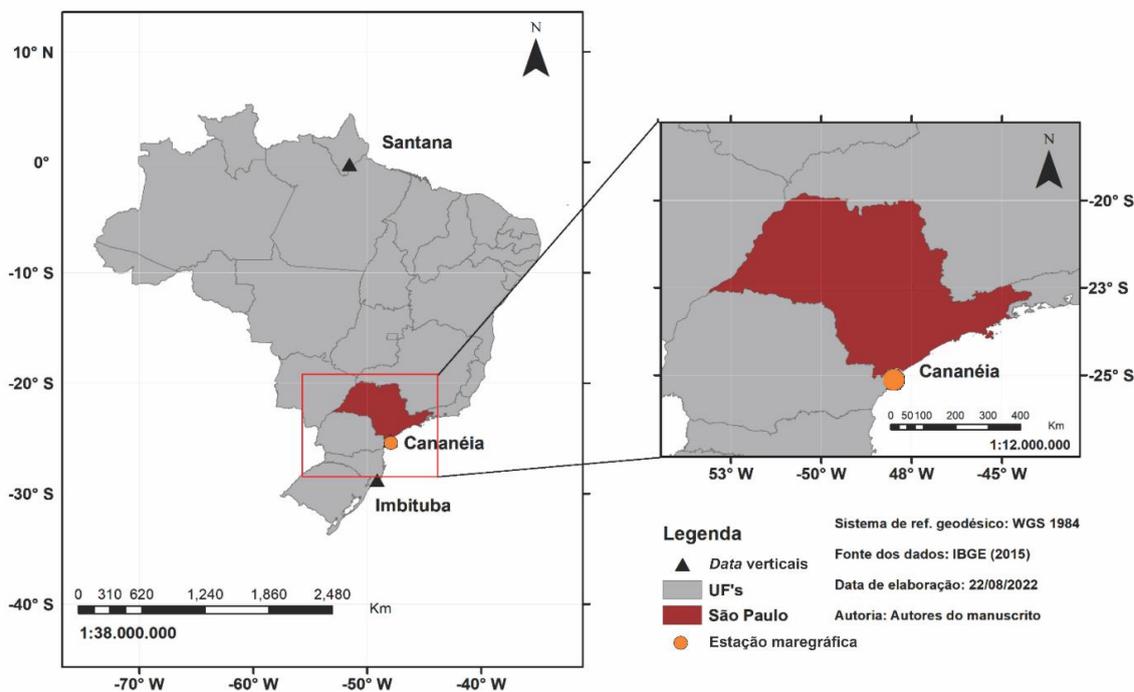
Figura 1 – Fluxograma das atividades desenvolvidas.



Elaboração: Os autores (2022).

Foram utilizados dados da estação maregráfica de Cananeia (Figura 2), localizada no Porto de Cananeia - SP (25° 01,0' S / 047° 55,5' W). Os dados correspondem às observações horárias do nível do mar de janeiro de 1955 até dezembro de 1993, totalizando 341.880 leituras.

Figura 2 – Estação Maregráfica - Cananeia.



Elaboração: Os autores (2022).

A partir da divisão das observações de 39 anos, dois grupos (01 e 02) de séries temporais primárias, secundárias e terciárias foram criados (Tabela 1).

As séries primárias, compostas por 19 anos de observações, foram divididas de 1955 a 1973 e de 1974 a 1992. As duas séries secundárias, correspondentes a dados de 12 meses, são de 1973 e de 1992. Por 1992 ser um ano bissexto, serão considerados 366 dias para as análises. No que se refere às séries terciárias, considerou-se dois intervalos, sendo o primeiro de 30 de novembro a 31 de dezembro de 1973 (32 dias), e o segundo de 30 de novembro de 1992 a 2 de janeiro de 1993 (34 dias). Neste último, devido a inconsistências na análise harmônica, fez-se necessário adicionar 2 dias.

Ressalta-se que as séries primárias foram consideradas referências para a análise dos resultados.

Tabela 1 – Séries temporais empregadas neste estudo.

Grupo	Série	Tipo	Início	Fim	Tamanho Amostral
01	1A	Primária	jan/55	dez/73	166.560 leituras
	2A	Secundária	jan/73	dez/73	8.760 leituras
	3A	Terciária	nov/73	dez/73	768 leituras
02	1B	Primária	jan/74	dez/92	166.560 leituras
	2B	Secundária	jan/92	fev/93	8.784 leituras
	3B	Terciária	nov/92	jan/93	816 leituras

Elaboração: Os autores (2022).

Após definição das séries temporais, utilizou-se o *software* PACMARÉ (FRANCO, 2009), planilhas de cálculo e o *software* R (R CORE TEAM, 2020) para os processamentos dos dados e obtenção do NMML e NR. Primeiramente, as alturas de maré das séries primárias foram submetidas a uma criteriosa análise exploratória no *software* R, buscando, entre outros, verificar a existência de dados anômalos e falhas de preenchimento. Enfatiza-se que todas as demais séries também sofreram uma análise exploratória.

A Figura 3 ilustra a formatação dos dados da estação maregráfica em um arquivo com extensão .txt

utilizada no processamento de dados no PACMARÉ. Na primeira linha o número 1 identifica que as observações são de nível do mar, seguido da nomenclatura de estação. As duas linhas subsequentes indicam as coordenadas geográficas (latitude e longitude) do Porto de Cananéia. Na quarta linha, tem-se: o Fuso UTM (3); hora inicial em decimal (0); dia, mês e ano da observação (1 1 1955); intervalo de amostragem em horas (1); número de amostras (341880); e a unidade das amostras em centímetros (1). As demais linhas são compostas por 24 leituras horárias, logo, cada linha corresponde a um dia.

Figura 3 – Modelo de formatação das observações maregráficas para processamento no PACMARÉ.

```

1 CANANEIA
25 1.0 S
47 55.5 W
3 0.0000 1 1 1955 1 341880 1.0000
107 91 81 78 91 105 132 157 160 148 130 107 110 121 142 145 140 132 127 140 162 175 182 168
145 135 130 120 124 129 143 168 192 200 190 175 162 176 184 189 186 169 161 170 192 215 231 231
223 209 199 184 172 167 166 170 185 203 203 199 187 175 176 176 170 162 141 126 133 160 184 206
208 194 177 162 149 131 136 128 133 152 169 169 166 157 150 152 152 141 126 103 92 110 140 176
203 206 198 180 163 140 124 113 110 118 142 159 171 177 170 162 155 143 131 115 98 94 115 151
191 214 220 207 193 168 144 125 108 104 122 141 160 182 183 166 148 136 117 101 87 81 80 114
157 192 219 228 209 188 167 146 129 122 120 129 152 179 197 200 180 151 127 107 92 83 80 92
120 160 194 214 213 187 162 137 113 109 110 112 123 153 176 192 196 173 137 111 93 87 79 86
108 138 190 222 237 225 201 170 147 140 141 150 166 175 206 223 217 207 175 137 111 100 99 104
    
```

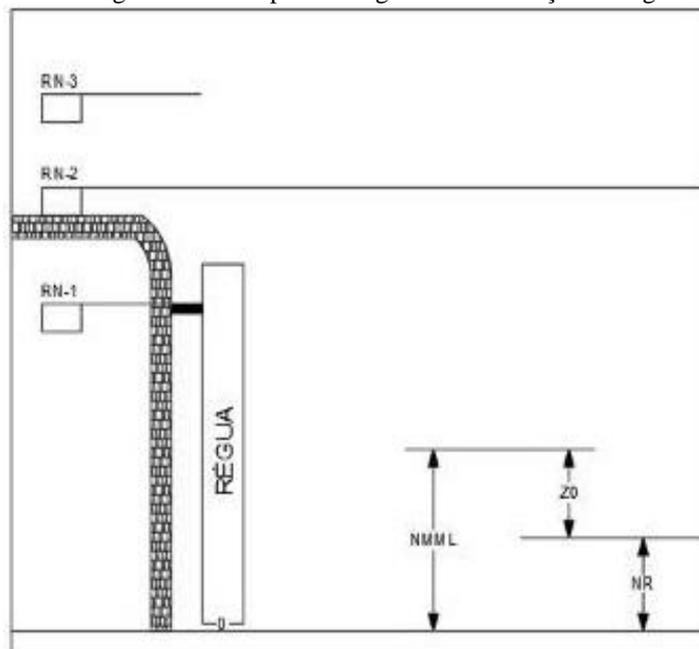
Elaboração: Os autores (2022).

Posteriormente, por ser uma oscilação no NMM, o NMML para cada série temporal foi estimado por meio do pacote NIMED do *software* PACMARÉ. Este, desenvolvido por Franco (1988), é composto por um conjunto de programas para análises de marés. Para o cálculo do NMML, usualmente, utiliza-se filtros de passa-baixa como o filtro de Godin ou de Thompson (FRANCO, 2009). A escolha dos filtros depende do objetivo de sua aplicação, pois ambos apresentam vantagens e desvantagens. Entretanto, visando padronizar as análises, optou-se por empregar o filtro de Thompson para todas as séries.

Em seguida fez-se essencial determinar as componentes harmônicas de cada série para utilizá-las no cálculo do NR. Por possuírem mais que 65.536 horas de observação, as componentes harmônicas das duas maiores séries foram obtidas a partir da análise harmônica realizada no pacote LONGSERIE. As demais séries, por terem observações entre 500 e 65.536 horas, e serem menores que um ano e meio, foram analisadas pelo pacote ANALEXEC, com probabilidade de rejeição de 95% para pequenas componentes (FRANCO, 2009).

Para o cálculo do NR no Brasil emprega-se o critério de Courtier e Balay. Em suma, utilizam-se constantes harmônicas específicas para estimar o fator C. Este permite classificar a maré e estimar o Z0 (semi-amplitude máxima da onda de maré), o qual corresponde à distância vertical entre o NMML e o NR do local analisado (Figura 4).

Figura 4 – Exemplo de diagrama de descrição maregráfica.



Fonte: Adaptado de CHM (2022).

O Z0 pode ser estimado através da amplitude (H) das principais constantes harmônicas por meio da classificação da maré, definida pelo Critério de Courtier e Balay (RAMOS, 2007). Segundo a DHN (2017), o valor do Critério de Coutier é determinado conforme Eq. (1).

$$C = \frac{H(O_1) + H(K_1)}{H(M_2) + H(S_2)} \tag{1}$$

Em que H é amplitude da componente harmônica; O1 é a componente diurna lunar principal; K1 é a componente diurna lunissolar declinacional; M2 é a componente semidiurna lunar principal e, por fim, S2 é a componente semidiurna solar principal (FRANCO, 2009).

Após a obtenção do valor C é possível classificar o regime de maré e, em função deste, estima-se o valor Z0 de acordo com as equações apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Cálculo do Z0 em função do Critério de Courtier.

Intervalo	Classificação da maré	Z0 (cm)
0 ≤ C ≤ 0,25	Semidiurna (2PM e 2BM por dia)	H(M <sub>2</sub> ) + H(S <sub>2</sub> ) + H(N <sub>2</sub> ) + H(K <sub>2</sub> )
0,25 < C ≤ 1,5	Semidiurna com desigualdades diurnas (2PM e 2BM desiguais)	BALAY (1952)
1,5 < C ≤ 3	Mista (2PM e 2BM ou 1PM e 1BM por dia)	H(M <sub>2</sub> ) + H(N <sub>2</sub> ) + H(K <sub>1</sub> ) + H(O <sub>1</sub> )
C > 3	Diurna (1PM e 1BM por dia)	H(M <sub>2</sub> ) + H(S <sub>2</sub> ) + H(K <sub>1</sub> ) + H(O <sub>1</sub> ) + H(P <sub>1</sub> )

Fonte: Adaptada de NORMAM 25 (DHN, 2017) e TEIXEIRA et al. (2016).

Para a maré classificada como semidiurna com desigualdades diurnas utiliza-se o Critério de Balay, no qual o fator 2K busca relacionar as fases das principais componentes. A partir da Eq. (2), obtém-se o fator 2k em graus e, assim, o Z0 pode ser calculado de acordo com a classificação e equações da Tabela 3.

$$2k = G(M_2) - [G(O_1) + G(K_1)] \tag{2}$$

Em que G é a fase da componente harmônica.

Tabela 3 – Cálculo do Z0 para marés semidiurnas com desigualdades diurnas.

Valor 2K	Z0 (cm)
2K = 0° (maré semidiurna com BM iguais)	H (M <sub>2</sub> ) + H(S <sub>2</sub> ) + H(N <sub>2</sub> )
2K = 180° (maré semidiurna com PM iguais)	H (M <sub>2</sub> ) + H(S <sub>2</sub> ) + H(N <sub>2</sub> ) + H(K <sub>1</sub> ) + H(O <sub>1</sub> )
2K ≠ 0° e 2K ≠ 180° (maré semidiurna com grandes variações de amplitude)	H (M <sub>2</sub> ) + H(S <sub>2</sub> ) + H(K <sub>1</sub> ) + H(O <sub>1</sub> ) + H(P <sub>1</sub> )

Fonte: Adaptada de NORMAM 25 (DHN, 2017) e TEIXEIRA et al. (2016).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 4 resume a análise exploratória dos resultados obtidos nas séries temporais com uso do *software* R. Esta análise permite a interpretação estatística, como: média, máximo, mínimo, variância, e coeficientes de curtose e assimetria, auxiliando de forma geral no conhecimento dos dados.

Tabela 4 – Resumo da análise exploratória das séries temporais.

Grupo	Período	Série	Média (cm)	Máximo (cm)	Mínimo (cm)	Variância (cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de Curtose	Coefficiente de Assimetria
01	1955-1973	1A	162,37	307	14	1554,89	2,63	0,02
	1973	2A	163,95	287	41	1479,17	2,61	-0,01
	dez/73	3A	162,99	265	75	1189,56	2,64	0,01
02	1974-1992	1B	170,05	317	23	1627,21	2,60	0,02
	1992	2B	172,84	295	58	1631,65	2,57	-0,02
	dez/92	3B	169,57	282	69	1435,53	2,63	0,09

Elaboração: Os autores (2022).

A fim de analisar os resultados obtidos nas séries de anos análogos, dois grupos foram criados - Grupo 01 e Grupo 02 – cujas referências foram as séries primárias 1A e 1B, respectivamente. Dessa forma, foi possível observar, estatisticamente, uma proximidade nos valores de média nas séries do mesmo grupo, ou seja, que contém anos análogos. Ressalta-se que as médias dos diferentes grupos não são coincidentes.

Considerando os resultados das variâncias, percebe-se que os dados de todas as séries apresentam variabilidade elevada, indicando que os valores observados tendem a estar distantes dos valores médios. O coeficiente de curtose, que quantifica o desvio da distribuição das discrepâncias em relação a uma distribuição simétrica; e o coeficiente de assimetria, o qual estima o grau de achatamento da distribuição, aponta uma distribuição leptocúrtica e simétrica para todas as séries.

Conforme citado anteriormente, os NMML foram estimados através do pacote NIMED. Os valores encontrados estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados dos NMMLs (cm).

Grupo	Período	Série	Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão
01	1955-1973	1A	162,37	251	84	22,11
	1973	2A	164,06	238	120	18,93
	dez/73	3A	164,54	191	131	15,41
02	1974-1992	1B	170,07	267	99	20,69
	1992	2B	173,03	235	128	20,36
	dez/92	3B	171,14	210	128	20,50

Elaboração: Os autores (2022).

Observa-se que as séries possuem um alto desvio padrão. Assim, é possível inferir que o grau de proximidade dos valores observados em relação à média é baixo. A elevada variabilidade pode ser justificada pela movimentação atípica do porto, efeitos meteorológicos (secas, chuvas e outros), além da influência das marés e efeitos atmosféricos da região próxima ao marégrafo (COSTA, 2007).

As Tabelas 6 e 7 retratam respectivamente as discrepâncias, em centímetros, e as equivalências, em porcentagem, dos NMMLs de cada série temporal.

Tabela 6 – Discrepâncias dos NMMLs (cm).

Grupo 01				Grupo 02			
Séries	1A	2A	3A	Séries	1B	2B	3B
1A	-	1,69	2,17	1B	-	2,96	1,07
2A	1,69	-	0,48	2B	2,96	-	1,89
3A	2,17	0,48	-	3B	1,07	1,89	-

Elaboração: Os autores (2022).

Tabela 7 – Equivalências dos NMMLs (%).

Grupo 01				Grupo 02			
Séries	1A	2A	3A	Séries	1B	2B	3B
1A	-	98,97	98,68	1B	-	98,29	99,37
2A	98,97	-	99,71	2B	98,29	-	98,91
3A	98,68	99,71	-	3B	99,37	98,91	-

Elaboração: Os autores (2022).

Nota-se, de forma geral, uma elevação significativa da média do NMML. Esse fato pode ser constatado ao observar a média das séries: 1A e 1B; 2A e 2B; 3A e 3B. O aumento apresentado é condizente com os resultados encontrado por Albarici, Guimarães e Trabanco (2018), que mostram que o nível médio do mar na estação maregráfica de Cananéia vem aumentando de forma gradual e estável, com aproximadamente 3,8 mm/ano (1955-2007).

Considerando os resultados apresentados, observa-se que a maior e a menor discrepância ocorreram nos Grupos 02 e 01, respectivamente, com 2,96 cm e 98,29% de equivalência; e 0,48 cm e 99,71% de equivalência em relação à referência.

Por outro lado, as séries do Grupo 01 apresentaram discrepâncias de 1,69 cm com 98,97% de equivalência para a série 2A; e 2,17 cm em 3A com 98,68% de equivalência, comprovando a alta correspondência entre os resultados encontrados.

Posteriormente a análise harmônica foi efetuada para obtenção das constantes harmônicas, as quais permitiram a estimativa do Z0 para cada série, conforme recomendações de Franco (2009). A Tabela 8 expõe os valores de amplitude (H) e diferença de fase (G) das componentes harmônicas utilizadas para o cálculo de Z0. Os resultados dos cálculos estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 8 - Amplitude e fase das principais componentes harmônicas geradas no processamento.

Componentes Harmônicas	Grupo 01						Grupo 02					
	1955-1973		1973		dez/73		1974-1992		1992		dez/92	
	H (cm)	G (°)	H (cm)	G (°)	H (cm)	G (°)	H (cm)	G (°)	H (cm)	G (°)	H (cm)	G (°)
K1	6,33	144,91	6,29	144,54	5,19	155,56	6,38	147,15	5,85	146,15	3,28	152,41
M2	35,78	94,66	36,19	95,19	36,52	98,49	27,57	84,07	27,46	84,64	27,73	85,24
N2	5,78	165,50	6,10	162,64	6,10	164,73	3,57	160,52	3,14	161,19	7,74	145,72
O1	11,37	84,80	11,40	85,56	11,18	88,28	8,96	70,67	8,12	72,53	12,30	19,45
P1	2,31	147,16	2,23	151,17	1,72	150,51	2,51	146,26	2,42	146,72	1,09	142,44
S2	22,72	95,68	23,68	97,85	20,87	107,82	23,76	96,36	23,75	100,18	19,80	106,25

Elaboração: Os autores (2022).

Tabela 9 – Resultados do critério de Courtier, Balay e Z0.

Grupo	Período	Série	Fator (C)	Critério de Balay (2K)	Z0 (cm)	Adição de Dias
01	1955-1973	1A	0,30	224°57'00"	78,51	-
	1973	2A	0,30	225°05'24"	79,79	-
	dez/73	3A	0,29	214°39'00"	75,48	-
02	1974-1992	1B	0,30	226°15'00"	69,18	-
	1992	2B	0,27	225°57'36"	67,60	-
	dez/92	3B	0,33	273°22'48"	64,20	2 dias

Elaboração: Os autores (2022).

Nota-se que todos os valores do fator C enquadram a maré como semidiurna com desigualdades diurnas e, assim, o valor de Z0 foi estimado pelas equações de Balay. Este constatou que todos os valores de 2k encontrados eram diferentes de 0° e 180°, resultando as classificações da maré como semidiurna com grandes variações de amplitude, ou seja, com grandes elevações e rebaixamentos.

Analisando as séries do Grupo 01, comparando os primeiros 19 anos, foi possível perceber que a série 3A obteve uma discrepância de 3,03 cm em relação ao Z0 da série 1A, enquanto a série 2A apresentou uma discrepância de 1,28 cm. Para os 19 anos subsequentes, verificou-se que a série 3B apresentou uma discrepância 4,98 cm e, além disso, foi visto que a série 2B apresentou uma discrepância de 1,58 cm em relação ao valor do Z0 da série 1B.

Logo, no que concerne o Z0, as maiores discrepâncias relativas ao valor de referência de cada grupo (séries primárias) ocorreram nas séries terciárias com valores aproximados entre 3,0 e 5,0 cm, enquanto as séries secundárias apresentaram as menores discrepâncias.

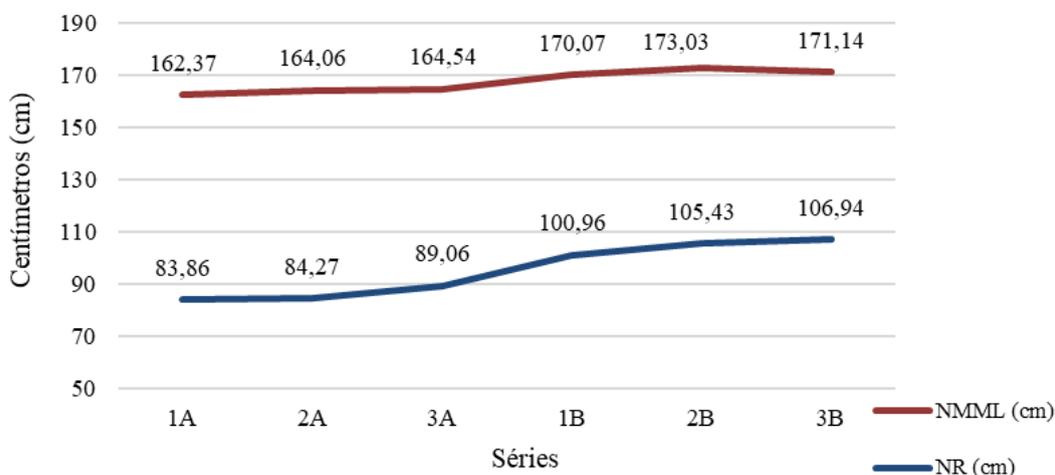
A Tabela 10 resume os valores do NR de cada série temporal por meio dos dados Z0 e NMML, oriundos da Tabelas 5 e 6 respectivamente. Para melhor compreensão quantitativa, a Figura 5 ilustra os valores alcançados neste estudo do NMML e do NR local.

Tabela 10 – Resumo dos valores NMML, Z0 e NR.

Grupo	Período	Série	NMML (cm)	Z0 (cm)	NR (cm)
01	1955-1973	1A	162,37	78,51	83,86
	1973	2A	164,06	79,79	84,27
	dez/73	3A	164,54	75,48	89,06
02	1974-1992	1B	170,07	69,11	100,96
	1992	2B	173,03	67,60	105,43
	dez/92	3B	171,14	64,20	106,94

Elaboração: Os autores (2022).

Figura 5 – Representação do NMML e NR em centímetros.



Elaboração: Os autores (2022).

Apesar de os períodos analisados serem de anos e séries temporais diferentes, elas apresentaram padrões similares. O Grupo 02, ou seja, as séries 1B, 2B e 3B, apresentaram maiores valores de NMMLs, menores Z0 e, conseqüentemente, maiores NR. Já as séries 1A, 2A e 3A (Grupo 01) exibiram um comportamento contrário, mostrando correlação entre o NMML, Z0 e o NR. De modo geral, evidencia-se um aumento dos valores de NMML e do NR.

As Tabelas 11 e 12 retratam respectivamente as discrepâncias, em centímetros, e as equivalências, em porcentagem, dos NRs de cada série temporal.

Tabela 11 – Discrepâncias dos NRs (cm).

Grupo 01			Grupo 02				
Séries	1A	2A	3A	Séries	1B	2B	3B
1A	-	0,41	5,20	1B	-	4,47	5,98
2A	0,41	-	4,79	2B	4,47	-	1,51
3A	5,20	4,79	-	3B	5,98	1,51	-

Elaboração: Os autores (2022).

Tabela 12 – Equivalências dos NRs (%).

Grupo 01			Grupo 02				
Séries	1A	2A	3A	Séries	1B	2B	3B
1A	-	99,51	94,16	1B	-	95,76	94,41
2A	99,51	-	94,62	2B	95,79	-	98,58
3A	94,16	94,62	-	3B	94,41	98,58	-

Elaboração: Os autores (2022).

Analisando as Tabelas 11 e 12, constata-se que os valores do NR das séries do Grupo 01, correspondentes à primeira metade do período estudado, são os que possuem menor equivalência. Considerando a série 1A como a referência, foi possível constatar que a série 2A tem 0,41 cm de discrepância no NR e equivalência de 99,51%. Por outro lado, a série 3A apresentou uma equivalência de 94,62% e 5,20 cm de discrepância resultando em um aumento significativo em relação a 1A. Conseqüentemente, as séries do Grupo 02 apresentam maiores discrepâncias em relação a série de referência 1B, alcançando uma na série 2B de 4,47 cm e equivalência de 95,76%. Para 3B os resultados foram mais destoantes, apresentando discrepância de 5,98cm e equivalência de 94,41%. É evidente a alta correspondência dos resultados apresentados no Grupo 01.

#### 4 CONCLUSÕES

Por meio de séries temporais da estação maregráfica de Cananéia-SP, com diferentes intervalos de observação, estimou-se o NR através de relação matemática entre NMML e Z0. Por meio dos resultados obtidos, não foi possível elencar claramente qual a série mais indicada para o cálculo do NMML e NR. No entanto, pôde-se verificar que tanto o NMML quanto o Z0 apresentam variações temporais, ocasionando, conseqüentemente, a alteração do NR. Logo, evidencia-se a necessidade de séries atualizadas para realização destes cálculos.

De modo geral, ao analisar os valores de NMML, Z0 e NR, constatou-se que as maiores discrepâncias relativas ao valor de referência de cada grupo (séries primárias) ocorrem em sua maioria nas séries terciárias, enquanto as séries secundárias apresentam as menores discrepâncias em geral. No entanto, apesar das séries secundárias se aproximarem mais das primárias, o aumento do NMML ao longo dos anos evidencia que as séries terciárias podem retratar de forma mais fidedigna o NMML atual. Além disso, um dos parâmetros para o cálculo do NR é o NMML, logo, quanto mais coerente for o NMML, mais confiável será o NR.

Segundo a *International Hydrographic Organization* (IHO, 2005) as discrepâncias verticais podem assumir um valor de até 10 cm. Sendo assim, pode-se assumir que tanto o NMML quanto o NR podem ser calculados com base em séries terciárias sem grandes perdas, uma vez que as maiores discrepâncias alcançadas foram inferiores a este valor.

Sugere-se, portanto, que se tenham registros das séries a fim de catalogar, calcular e verificar as variações e os valores de NMML e NR. Além disso, recomenda-se que estes sejam atualizados periodicamente, caso contrário, riscos à segurança da navegação poderão ser apresentados.

Apesar das análises realizadas serem de diferentes séries temporais, elas apresentam padrões similares. Assim, sugere-se uma investigação sobre a influência das componentes harmônicas nas séries primárias, secundárias e terciárias, além do mesmo estudo em outras estações.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao Grupo de Estudo e Pesquisa em Levantamentos Hidrográficos (GEPLH) pelo apoio e contribuição no desenvolvimento desta pesquisa e ao Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), pela disponibilização dos dados da estação maregráfica de Cananéia.

## Contribuição dos Autores

As contribuições dos autores no desenvolvimento deste trabalho são: idealização, curadoria dos dados, metodologia e redação – minuta inicial, supervisão, Filipe Floriano da Cruz; visualização e redação- revisão e edição, Raiane Rintielle Vaz Menezes; idealização, supervisão do projeto, visualização e redação- revisão e edição, Italo Oliveira Ferreira; visualização e edição, Felipe Catão Mesquita Santos e visualização e edição Vitória Gibrim Teixeira.

## Conflito de Interesse

Os autores declaram que não há conflitos de interesse.

## Referências

- ALBARICI, F. L.; GUIMARÃES, G. N.; TRABANCO, J. L. A. **Análise relativa do nível médio do mar em Cananéia/SP**. Revista Brasileira de Geomática, Curitiba, v. 6, n. 3, p. 176-193, 2018. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo>>. Acesso em: abril de 2021.
- ANTUNES, N. S. M. **The Importance of the Tidal Datum in the Definition of Maritime Limits and Boundaries**. BRADLEY, R.; SCHOFIELD, C. (Ed.). Maritime Briefing, International Boundaries Research Unit: University of Durham, v. 2, n.7, 38p., 2000. ISBN 1-897643-38-1.
- ARENTZ, M. F. R. **A modelagem hidrodinâmica como auxílio à navegação no canal norte do estuário do Amazonas**. 182 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009.
- BALAY, M. A. **La cote du plan**. *Revue Hydrographique Internationale*. v. 24, n. 2, pp. 109. 1952.
- CENTRO DE HIDROGRAFIA DA MARINHA (CHM). **Cartas Náuticas. Marinha do Brasil**. Brasil. 2019. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/chm/chm/dados-do-segnav-cartas-nauticas/cartas-nauticas>>. Acesso em: março de 2021.
- COSTA, D. S. **Variação do nível médio do mar-técnicas para a avaliação**. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Transportes). Universidade de São Paulo, 2007.
- COURTIER, A. **Marées**. Service Hydrographique de la Marine. 234 p. 1938.
- Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). **NORMAM 25: Normas da Autoridade Marítima para Levantamentos Hidrográficos (2º revisão)**. Marinha do Brasil, Brasil, 2017. 94p.
- FRANCO, A. S. **Marés: Fundamentos, Análise e Previsão**. 2º edição. Niterói. DHN, 2009.
- FRANCO, A.S. **Tides: fundamentais, analysis and prediction**. 23º edição. São Paulo. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1988.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Esclarecimento sobre a relação entre o Datum Vertical do SGB (Imbituba e Santana) e os Níveis de Redução e “Zeros” Hidrográficos no Litoral Brasileiro**. 2009. Disponível em: <[ftp://geofpt.ibge.gov.br/metodos\\_e\\_outros\\_documentos\\_de\\_referencia/outros\\_documentos\\_tecnicos/rm\\_pg/relacao\\_dvs.gb\\_nr\\_zh.pdf](ftp://geofpt.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/outros_documentos_tecnicos/rm_pg/relacao_dvs.gb_nr_zh.pdf)>. Acesso em: abril de 2021.
- INTERNATIONAL HYDROGRAPHIC ORGANIZATION (IHO). **C-13: IHO Manual on Hydrography**. Mônaco: International Hydrographic Bureau, 540p., 2005.

- MIGUENS, A. P. **Navegação: a Ciência e a Arte**. Volume I - Navegação costeira, estimada e em águas restritas. Rio de Janeiro: DHN, Brasil, 1996. 538p.
- PICKERING, M. D.; WELLS, N.C.; HORSBURGH, K.J.; GREEN, J.A.M. **The impact of future sea-level rise on the European Shelf tides**. *Continental Shelf Research*, v. 35, p. 1–15, 2012. DOI: 10.1016/j.csr.2011.11.011.
- RAMOS, A. M. **Aplicação, investigação e análise da metodologia de reduções batimétricas através do método GPS diferencial preciso**. 221 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.
- SANTANA, T. A.; DALAZOANA, R.. **Integração dos Referenciais Verticais Terrestre e Oceânico: conceitos relacionados, projetos desenvolvidos e desafios**. *Revista Brasileira de Cartografia*, Uberlândia, v. 72, n. 2, p. 345-364, 2020. DOI.: 10.14393/rbcv72n2-52611.
- SILVA, F. M. P. **Morfodinâmica da barra norte do Rio Amazonas sob a ótica da segurança da navegação**. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.
- TEIXEIRA, G. L. G.; MAZZUCO, D. P.; DONIN JÚNIOR, D. J.; SANTANADA, F. R.; TECCHIO, R.; DAHER, V. B. **Influência dos diferentes comprimentos de séries temporais na análise harmônica da maré astronômica na baía de Sepetiba – Rio de Janeiro, Brasil**. *Anais hidrográficos / Diretoria de hidrografia e Navegação*. pp. 104 - 112. 2016.
- WHITE, J. **Tides: The Science and Spirit of the Ocean**. Trinity University Press. p. 360, 2017.

### Biografia do autor principal



Filipe Floriano da Cruz, natural de Ubá, MG-Brasil, nasceu em 16 de janeiro de 1998, é Graduando em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica, pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Atualmente é bolsista de iniciação científica da FAPEMIG e membro do Grupo de Estudo e Pesquisa em Levantamentos Hidrográficos (GEPLH), atuando principalmente na área de estudo e pesquisa maregráfica.



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.