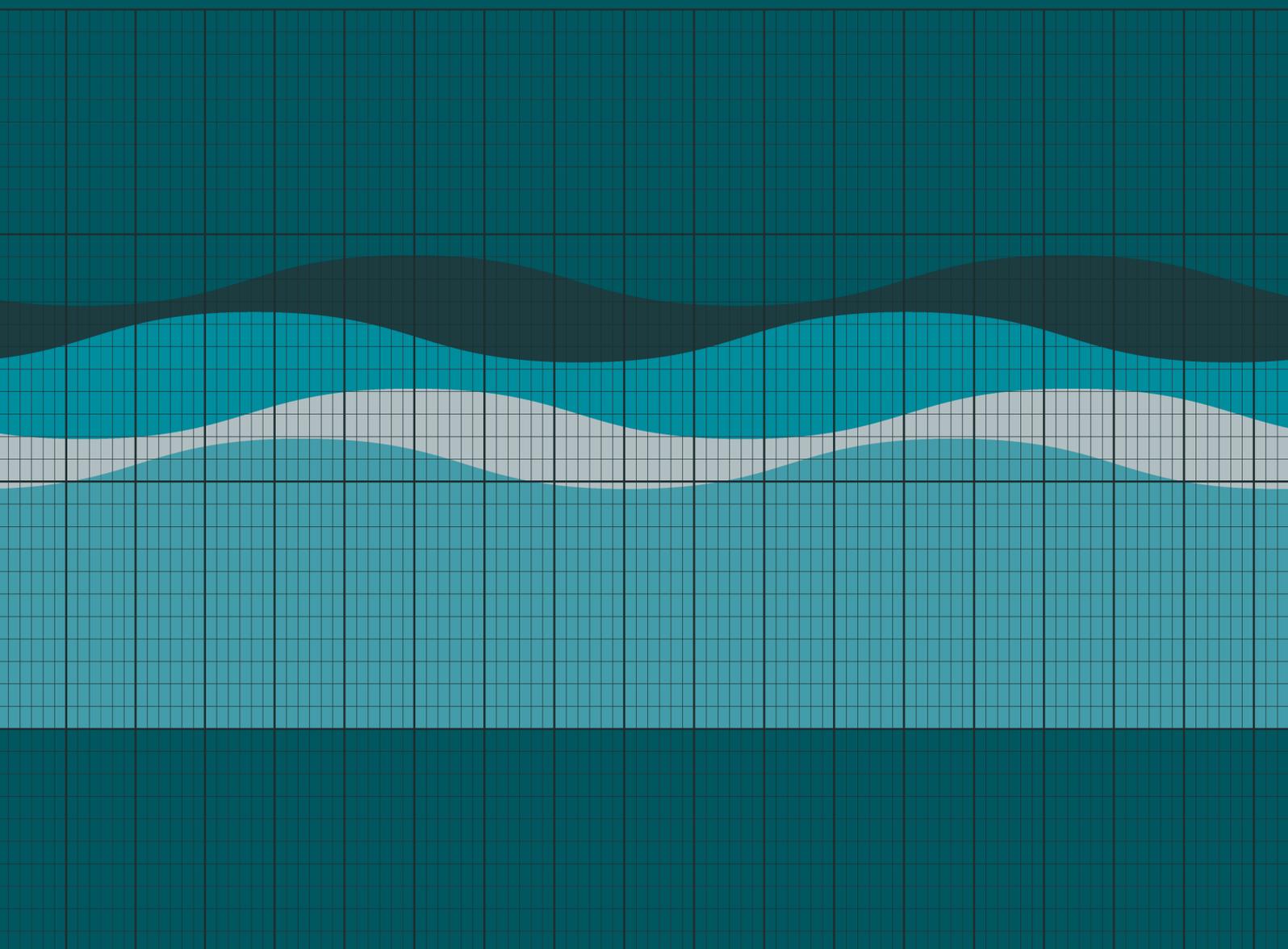


# Monitoramento da Variação do Nível Médio do Mar nas Estações da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia

2001-2020



Presidente da República  
**Jair Messias Bolsonaro**

Ministro da Economia  
**Paulo Roberto Nunes Guedes**

Secretário Especial do Tesouro e Orçamento  
**Esteves Pedro Colnago Junior**

## **INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE**

Presidente  
**Eduardo Luiz G. Rios Neto**

Diretora-Executiva  
**Marise Maria Ferreira**

### **ÓRGÃOS ESPECÍFICOS SINGULARES**

Diretoria de Pesquisas  
**Cimar Azeredo Pereira**

Diretoria de Geociências  
**Claudio Stenner**

Diretoria de Informática  
**Carlos Renato Pereira Cotovio**

Centro de Documentação e Disseminação de Informações  
**Carmen Danielle Lins Mendes Macedo**

Escola Nacional de Ciências Estatísticas  
**Maysa Sacramento de Magalhães**

### **UNIDADE RESPONSÁVEL**

Diretoria de Geociências  
Coordenação de Geodésia  
**Marcelo Rodrigues de Albuquerque Maranhão**

Ministério da Economia  
**Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE**  
Diretoria de Geociências  
Coordenação de Geodésia

# **Monitoramento da Variação do Nível Médio do Mar nas Estações da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia**

**2001-2020**



Rio de Janeiro  
2021

**Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE**

Av. Franklin Roosevelt, 166 - Centro - 20021-120 - Rio de Janeiro, RJ - Brasil

ISBN 978-65-87201-38-2

© IBGE. 2021

### **Capa e ilustração**

Aline Carneiro Damacena - Gerência de Editoração/Centro de Documentação e Disseminação de Informações - CDDI

### **Ficha catalográfica elaborada pela Gerência de Biblioteca e Acervos Especiais do IBGE**

---

Monitoramento da variação do nível médio do mar nas estações da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia : 2001-2020 / IBGE, Coordenação de Geodésia. - Rio de Janeiro : IBGE, 2021.

121 p. : il. color.

Inclui glossário.

ISBN 978-65-87201-38-2

1. Redes (Geodésia). 2. Sistema de posicionamento global. 3. Satélites artificiais em navegação. 4. Rede Maregráfica Permanente para Geodésia. 5. Nível do mar. 6. Brasil. I. IBGE. Coordenação de Geodésia.

CDU 629.783

GEOD

---

Impresso no Brasil / *Printed in Brazil*

# Sumário

<b>Apresentação</b> .....	5
<b>Introdução</b> .....	7
<b>Notas técnicas</b> .....	11
Panorama atual da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia - RMPG .....	11
Régua de maré padrão RMPG .....	13
Sensores de nível .....	15
Sistema de telemetria .....	17
Sensores meteorológicos .....	20
Plataforma de coleta de dados .....	21
Centro de controle da RMPG .....	22
Processamento e análise das observações maregráficas .....	23
Soluções computacionais .....	23
Preparação e controle preliminar dos dados .....	25
Crítica dos dados .....	25
Processamento no SLP64 .....	26
Processamento no SLPLAC .....	27
Determinação dos níveis médios e da tendência .....	27
Análise de deriva instrumental dos sensores eletrônicos .....	28
Qualidade na determinação do nível médio do mar .....	28
Controle geodésico de estações maregráficas .....	31
Teste de Van de Casteele .....	34

Procedimento de nivelamento geométrico científico para controle geodésico de estações maregráficas .....	37
Controle dos sensores maregráficos .....	38
Conexão de estações SAT ao circuito de nivelamento .....	39
Procedimentos para rastreamento e processamento das observações GNSS para controle geodésico de estações maregráficas .....	47
Compatibilização dos sistemas de maré permanente .....	50
<b>Apresentação dos resultados</b> .....	<b>53</b>
Observações maregráficas .....	53
Análise harmônica e resíduos .....	53
Detecção de saltos .....	54
Deriva instrumental .....	55
Análise dos resíduos anuais .....	58
Níveis médios do mar mensais .....	59
Variação do nível médio do mar .....	62
Análise dos resultados do controle geodésico de estações maregráficas .....	65
Histórico dos Testes de Van de Casteele .....	65
Movimentação vertical local .....	68
Conexão geocêntrica das observações maregráficas .....	72
Resultados da compatibilização entre os sistemas de maré permanente .....	80
Correlação de níveis .....	81
<b>Comentários finais e perspectivas</b> .....	<b>87</b>
<b>Referências</b> .....	<b>93</b>
<b>Apêndice</b>	
Médias mensais do nível do mar para as estações maregráficas da RMPG .....	105
<b>Glossário</b> .....	<b>111</b>

#### Convenções

-	Dado numérico igual a zero não resultante de arredondamento;
..	Não se aplica dado numérico;
...	Dado numérico não disponível;
x	Dado numérico omitido a fim de evitar a individualização da informação;
0; 0,0; 0,00	Dado numérico igual a zero resultante de arredondamento de um dado numérico originalmente positivo; e
-0; -0,0; -0,00	Dado numérico igual a zero resultante de arredondamento de um dado numérico originalmente negativo.

# Apresentação

A Rede Maregráfica Permanente para Geodésia - RMPG passou por profundas transformações desde o último estudo divulgado pelo IBGE sobre o tema, em 2016<sup>1</sup>. Houve a ampliação da Rede para as Cidades de Arraial do Cabo (RJ) e Belém (PA), a modernização dos equipamentos de coleta, e a aplicação de métodos de controle geodésico mais rigorosos e aderentes aos requisitos fundamentais da Geodésia moderna. Assim, o acompanhamento das evoluções temporal e espacial dos *Data* Verticais Brasileiros e suas relações com os demais níveis de referência utilizados na região costeira estão garantidos com informações contínuas e de longo prazo do nível médio do mar (NMM).

O estudo ora divulgado apresenta os resultados referentes à variação do nível médio do mar nas estações da RMPG provenientes do tratamento e da análise das observações maregráficas coletadas ao longo de 19,5 anos, contemplando o período de julho de 2001 a dezembro de 2020, os quais, agregados aos resultados do controle geodésico de estações maregráficas, fornecem séries temporais consolidadas com suas respectivas fichas de correlação de níveis atualizadas.

Com caráter multidisciplinar, os resultados do presente estudo são essenciais não apenas para a correta utilização e o refinamento da componente vertical do Sistema Geodésico Brasileiro - SGB,

---

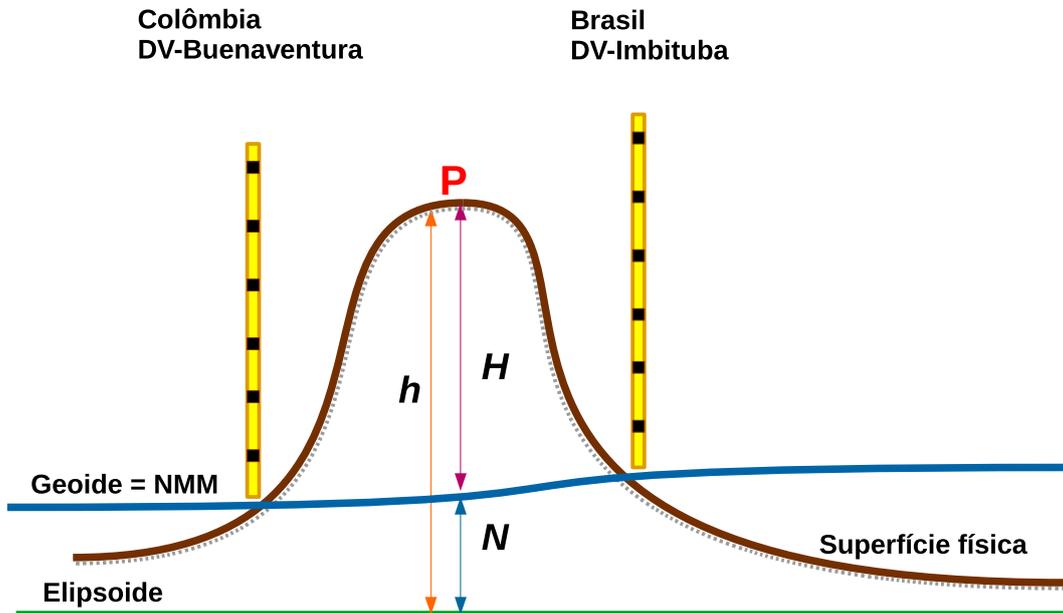
<sup>1</sup> Para informações mais detalhadas sobre o estudo, consultar: ANÁLISE do nível médio do mar nas estações da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia - RMPG 2001/2015. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. 61 p. Disponível em: [https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes\\_sobre\\_posicionamento\\_geodesico/rmpg/relatorio/relatorio\\_RMPG\\_2001\\_2015\\_GRRV.pdf](https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rmpg/relatorio/relatorio_RMPG_2001_2015_GRRV.pdf). Acesso em: ago. 2021.

como também para o desenvolvimento de atividades inerentes ao gerenciamento costeiro, aos estudos ambientais e ao monitoramento e alerta a eventos extremos, entre outros aspectos.

***Claudio Stenner***  
Diretor de Geociências

## Introdução

O método clássico de determinação de um *Datum* Vertical (DV) na maioria dos países com borda oceânica está relacionado a observações maregráficas de um determinado período e local. Essa origem remete ao conceito introduzido pelo matemático alemão Carl Friedrich Gauss, em 1828, que correlaciona a forma do planeta Terra à superfície do nível médio do mar (NMM) homogêneo (ausência de correntezas, ventos, variação de densidade da água etc.) e supostamente prolongado por sob os continentes, sendo o termo geoide designado, em 1873, por J. B. Listing para descrever essa superfície matemática (TORGE; MÜLLER, 2012, p. 77). No Brasil, as duas origens verticais estão baseadas em observações maregráficas no Porto de Imbituba, em Santa Catarina (1949-1957), e no Porto de Santana, no Amapá (1957-1958). Na Figura 1, é mostrada uma exemplificação da conexão altimétrica de um ponto P, partindo de dois *data* verticais distintos, adotando-se como uma aproximação a coincidência entre o geoide e o NMM.

Figura 1 - Conceito de *Datum* Vertical clássico

Fonte: SISTEMA DE REFERÊNCIA GEOCÊNTRICO PARA AS AMÉRICAS. Rio de Janeiro: Sirgas, dez. 2002. (Boletim informativo, n. 7). Preparado sob os auspícios de International Association of Geodesy - IAG, Instituto Panamericano de Geografia e Historia - IPGH e National Imagery and Mapping Agency - NIMA. Disponível em: [http://sirgas.dgfi.tum.de/fileadmin/docs/Boletines/bol\\_007.pdf](http://sirgas.dgfi.tum.de/fileadmin/docs/Boletines/bol_007.pdf). Acesso em: ago. 2021. Adaptado.

Com a análise da Figura 1, observa-se que o ponto P possui uma altitude física nivelada ( $H$ ), pressupondo a coincidência entre os data verticais, uma altitude geométrica ( $h$ ) referida a um elipsoide, e uma ondulação geoidal ( $N$ ) indispensável para proporcionar significado físico à altitude geométrica.

Nessa determinação clássica, são desconsideradas as variações temporais e espaciais do nível médio do mar e do movimento vertical da crosta. Quando associada ao desenvolvimento do sistema de altitudes dos países, os quais negligenciavam o efeito do campo de gravidade ou introduziam uma correção teórica, resulta em diferenças de altitude para um mesmo ponto referido a redes de países vizinhos. Essas discrepâncias dificultam o intercâmbio de informação geográfica, sobretudo no seu emprego em projetos de engenharia transnacionais e fronteiriços, os quais necessitam de cuidados adicionais na compatibilização de altitudes.

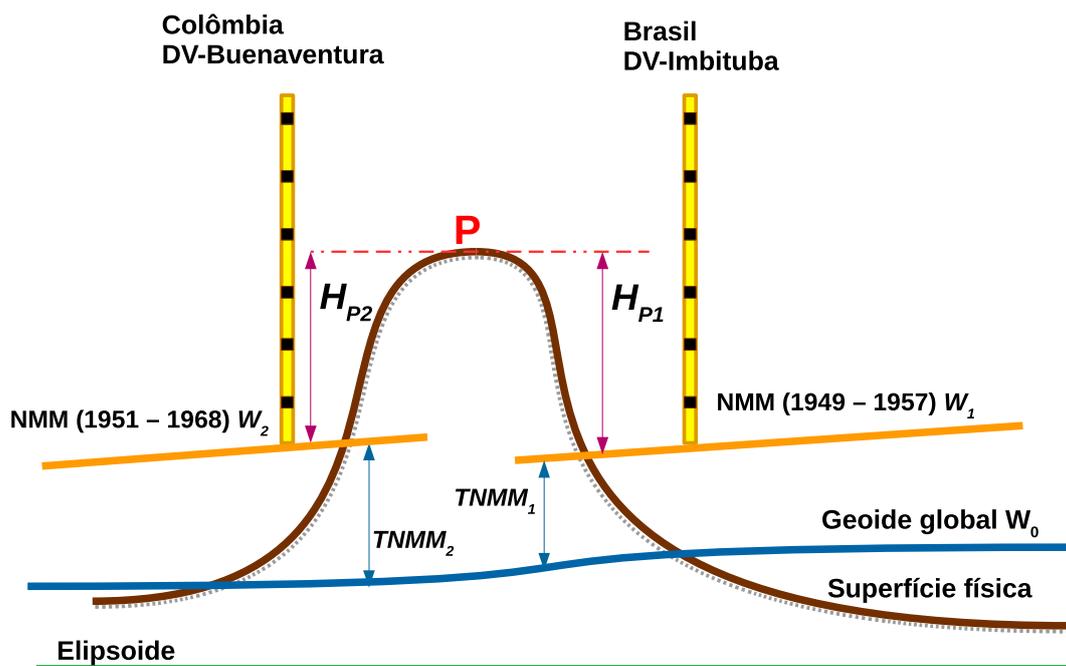
Os preceitos da Geodésia moderna, no que diz respeito à componente vertical, estão na diretriz de fomentar um Sistema de Referência Internacional para as altitudes. Nesse sentido, a Associação Internacional de Geodésia - AIG publicou, em 2015, a Resolução n. 1 que trata do International Height Reference System - IHRS e do International Height Reference Frame - IHRF (International Association of Geodesy, 2015). Essa nova estrutura tem como objetivo principal implantar um referencial único para as altitudes, com abrangência global. Foi convençãoado que o nível de referência vertical é uma superfície equipotencial do campo de gravidade da Terra com o valor geopotencial  $W_0$  (geóide global) =  $62\,636\,853,4\text{ m}^2\text{ s}^{-2}$ . A citada Resolução destaca ainda a necessidade de os sistemas verticais empregarem como tipo de altitude a normal.

A determinação do *Datum* Vertical global foi impulsionada pelos satélites voltados ao posicionamento e à coleta de dados sobre a superfície da Terra que obtiveram

avanços significativos ao longo do tempo, permitindo a aquisição de dados mais acurados. Notadamente, pode-se destacar os Sistemas Globais de Navegação por Satélite (Global Navigation Satellite Systems - GNSS) e as missões altimétricas e gravimétricas. Produtos importantes decorrentes de tais dados são os modelos da Topografia do Nível Médio do Mar (TNMM) e os Modelos Globais do Geopotencial (MGG) que estão ligados à solução do Problema de Valor de Contorno da Geodésia (PVCG).

Na concepção atual entende-se que o nível médio do mar não é uma superfície em equilíbrio no campo de gravidade da Terra (TORGE; MÜLLER, 2012, p. 77). Além disso, conforme mencionado anteriormente, as suas variações são reduzidas pela média a um determinado período e local, ou seja, períodos maiores de observação, conseqüentemente, resultarão em outros valores. Tal condição está relacionada ao afastamento entre a superfície do nível médio do mar e o geóide, chamado de TNMM, e esse afastamento pode atingir valores de  $\pm 2$  m quando comparado ao geóide global (SÁNCHEZ; SIDERIS, 2017).

Figura 2 - Conceito de *Datum* Vertical moderno



Fonte: SISTEMA DE REFERÊNCIA GEOCÊNTRICO PARA AS AMÉRICAS. Rio de Janeiro: Sirgas, dez. 2002. (Boletim informativo, n. 7). Preparado sob os auspícios de International Association of Geodesy - IAG, Instituto Panamericano de Geografía e Historia - IPGH e National Imagery and Mapping Agency - NIMA. Disponível em: [http://sirgas.dgfi.tum.de/fileadmin/docs/Boletines/bol\\_007.pdf](http://sirgas.dgfi.tum.de/fileadmin/docs/Boletines/bol_007.pdf). Acesso em: ago. 2021. Adaptado.

Na Figura 2, pode-se observar as diferenças ocasionadas pela TNMM e a concepção moderna do geóide global para unificação dos diferentes sistemas altimétricos existentes atualmente. Nessa abordagem moderna, o ponto P possui uma altitude nivelada ( $H_{P1}$ ) com relação ao DV<sub>1</sub> (potencial  $W_1$ ) e uma altitude nivelada ( $H_{P2}$ ) com relação ao DV<sub>2</sub> (potencial  $W_2$ ), sendo DV<sub>1</sub> e DV<sub>2</sub> neste exemplo, representados pelo *Datum* de Imbituba (SC) no Brasil e pelo *Datum* Buenaventura na Colômbia. A discrepância entre o NMM e o  $W_0$  é a TNMM.

No Brasil, em consonância com a International Association of Geodesy - IAG e através do Sistema de Referência Geodésico para as Américas (Sistema de Referencia Geodésico para las Américas - SIRGAS), vem coordenando esforços importantes para acompanhar as novas demandas propostas no sentido de aprimorar a componente vertical. Destacam-se, nesse sentido: o projeto em andamento da Rede Geodésica de Referência Costeira - RGRC, iniciado em 2017, que visa a definição de metodologia para estabelecimento da infraestrutura geodésica terrestre necessária à integração dos sistemas altimétricos e batimétricos de referência; o recente reajustamento da rede altimétrica com números geopotenciais realizado em 2018; o modelo para conversão de altitudes geométricas em altitudes normais hgeoHNOR2020, que possibilita obter altitudes compatíveis com a rede altimétrica oficial a partir de medições GNSS; parcerias acadêmicas para pesquisas voltadas à melhoria da componente vertical do SGB; além da recomendação inicial de seis estações IHRF a serem integradas posteriormente ao sistema total. Nesse conjunto de ações consta, ainda, o aprimoramento da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia - RMPG, a qual é fundamental para prover, com seu monitoramento da variação do nível do mar, observações maregráficas necessárias à modelagem da TNMM nos *data* verticais brasileiros, entre outras possíveis aplicações.

A RMPG, para cumprimento do seu objetivo de acompanhar as evoluções temporal e espacial dos *data* verticais brasileiros, tem se voltado para prover a infraestrutura necessária às modernas demandas. Desde a sua concepção, em 1996, vêm sendo realizadas várias atividades de controle, aprimoramento de equipamentos e técnicas, estudos sobre a relação do nível do mar e os referenciais altimétricos, entre outras iniciativas. Assim, novas potencialidades foram surgindo de acordo com as demandas apresentadas, como o caso do gerenciamento costeiro nas suas vertentes ambientais e socioeconômicas, voltadas ao estudo e acompanhamento da vulnerabilidade à elevação do nível médio do mar e eventos naturais extremos. Nesse sentido, as informações produzidas pela RMPG se estendem a outras aplicações não geodésicas, como, por exemplo, implantação de infraestrutura (redes de água e esgoto, portos, rodovias etc.) em regiões litorâneas, e redução de sondagens para conservação e ampliação da capacidade de portos e vias navegáveis. Essas informações possuem a vantagem de estarem vinculadas ao *Datum* Vertical Brasileiro, condição imprescindível para o correto planejamento tanto para obras civis quanto para o controle e ocupação do solo, além de orientarem medidas preventivas a possíveis eventos naturais extremos (LUZ *et al.*, 2014).

Na presente publicação, são apresentadas informações sobre as atualizações referentes ao aprimoramento e à implantação das novas estações maregráficas, bem como sobre o tratamento e a análise das observações de nível do mar no período de 2001 a 2020, além dos resultados e recentes procedimentos adotados pela RMPG no controle geodésico dessas estações, culminando com a apresentação das fichas de correlação de níveis atualizadas, essenciais para o uso das séries temporais e das observações diárias divulgadas atualmente.

# Notas técnicas

## Panorama atual da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia - RMPG

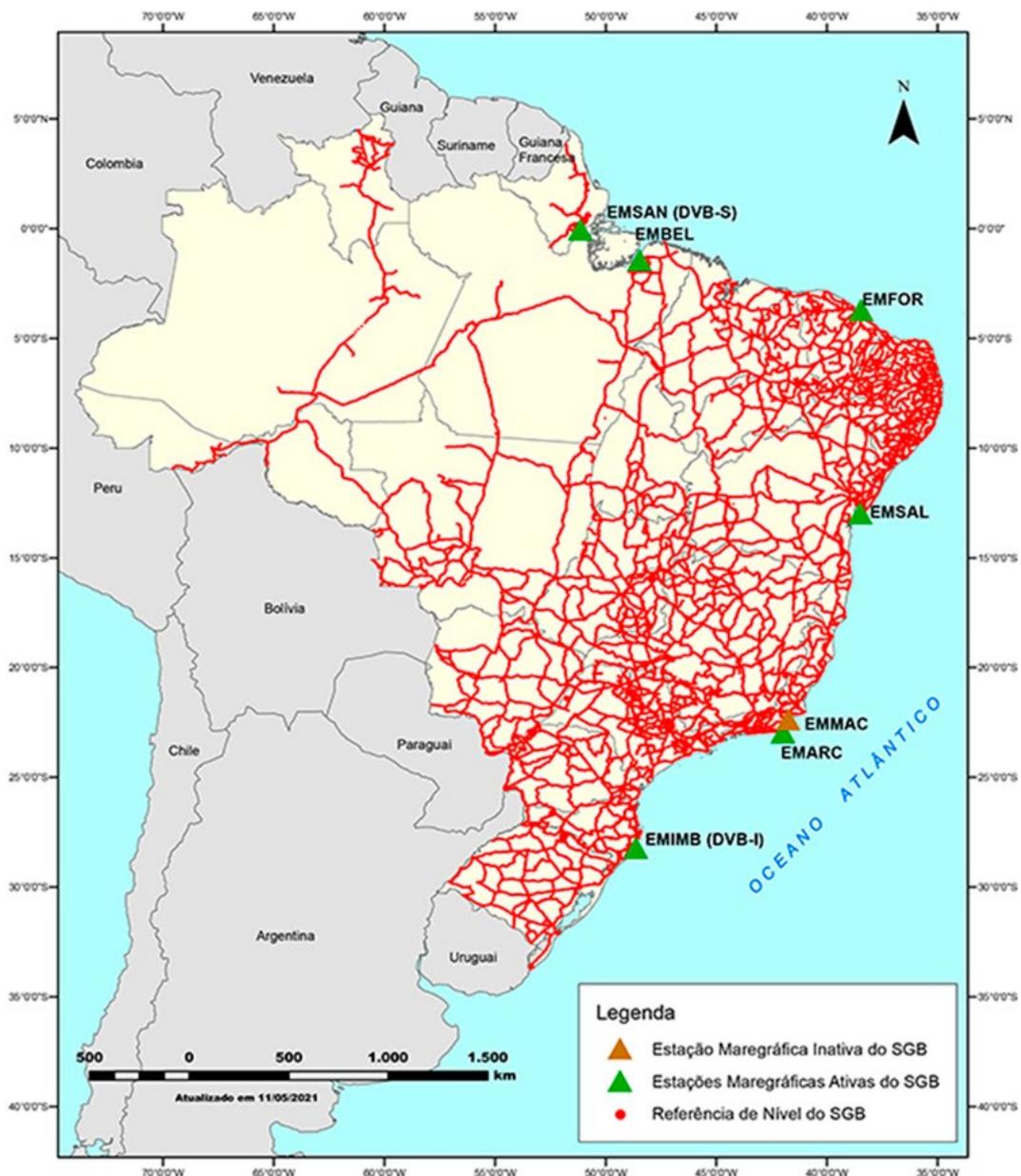
Nos últimos anos, a Rede Maregráfica Permanente para Geodésia - RMPG passou por um extenso processo de modernização de seu instrumental a fim de atender às demandas atuais de monitoramento contínuo e alta qualidade de informações. Para tanto, foram adquiridas cinco plataformas de coleta de dados. A configuração seguiu as recomendações da Comissão Oceanográfica Intergovernamental (Intergovernmental Oceanographic Commission - IOC) (UNESCO, 2016a), sendo todas autônomas, energizadas por painel solar, contando com régua de marés padrão RMPG, duplicidade nos sistemas de aquisição de dados de nível e de telemetria, além de sensores meteorológicos auxiliares.

No que tange à ampliação da Rede, duas novas estações maregráficas foram instaladas nas Cidades de Arraial do Cabo (RJ), em 2017, e Belém (PA), em 2019, nas dependências do Porto do Forno (administrado pela Companhia Municipal de Administração Portuária - COMAP) e da Companhia Docas do Pará - CDP, respectivamente. Com isso, totalizaram-se, em 2020, seis estações ativas de monitoramento do nível do mar e uma estação inativa, essa situada em Macaé (RJ). É importante pontuar que, em dezembro de 2019, ocorreu uma profunda transformação na Estação Maregráfica de Imbituba (SC), que passou a ter o padrão adotado atualmente pela RMPG. O Quadro 1 resume a evolução temporal da RMPG com as datas referentes à instalação dos mareógrafos analógicos e eletrônicos; a Figura 3 apresenta a espacialização das estações maregráficas com a Rede Altimétrica de Alta Precisão - RAAP do Sistema Geodésico Brasileiro - SGB; e a Figura 4 mostra as seis estações maregráficas em seus locais de instalação. Nos tópicos seguintes, são detalhados aspectos dos instrumentais que compõem tais estações e um breve relato acerca do centro de controle da RMPG.

**Quadro 1 - Cronologia da instalação dos sensores analógicos e digitais**

Estação maregráfica	Sensor analógico (ano)	Sensor digital (ano)
Imbituba (SC)	1998	2001
Arraial do Cabo (RJ)	-	2017
Macaé (RJ)	1994	2001
Salvador (BA)	2002	2003
Fortaleza (CE)	2007	2008
Belém (PA)	-	2019
Santana (AP)	2005	2005

Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

**Figura 3 - Cartograma das estações da RMPG com a Rede Altimétrica do SGB**

Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

Figura 4 - Estações maregráficas ativas da RMPG

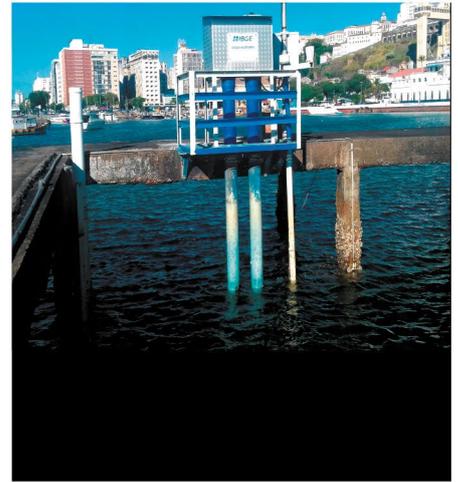
Imbituba - SC



Arraial do Cabo - RJ



Salvador - BA



Fortaleza - CE



Belém - PA



Santana - AP



Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

## Réguas de maré padrão RMPG

A régua de maré é um componente de fundamental importância nas estações maregráficas da RMPG, pois é o elemento principal de aferição dos sensores que coletam a altura do nível do mar. Dentre suas vantagens está a observação do nível d'água, de maneira independente de fontes de energia, sistemas de registros e mecanismos de filtragem, como observa o manual técnico em Geociências elaborado pelo IBGE (2010, p. 17). Uma vez presente nos portos, permite ainda a orientação local de embarcações em relação ao nível d'água, entre outras vantagens.

O IBGE desenvolveu, ao longo de sua experiência, um modelo de régua de maré para atender às suas necessidades. Assim, após vários testes e adequações, foi consolidado um formato que tem contemplado satisfatoriamente as atividades fundamentais das estações maregráficas. Ressalta-se que tais atividades são desenvolvidas no ambiente marinho que, por sua vez, requer cuidados especiais, dadas as

suas características, como a incrustação, por exemplo. Logo, dentre suas principais características, destacam-se o fácil processo de limpeza periódica e a resistência às intempéries contínuas.

Uma régua de maré padrão RMPG é confeccionada em PVC branco, tendo sua graduação gravada em baixo-relevo e preenchida com resina em cores diferentes e contrastantes (laranja ou vermelha, e preta). É composta, basicamente, por um conjunto que contempla a régua e um trilho, o qual possibilita o deslizamento da régua, facilitando, assim, sua retirada e colocação para realização da limpeza periódica. Ao final do curso do trilho (parte inferior), há um batente para evitar que a régua se desloque em relação ao seu ponto de referência. A montagem é feita utilizando-se um suporte em aço inox naval que é acoplado tanto ao trilho quanto ao corpo do píer, próximo aos sensores da estação, de maneira que permita fácil visualização, retirada da régua para limpeza, e medição através do nivelamento geométrico científico. No seu topo, é instalado um pino especial em aço naval que serve como referência às medições realizadas no controle geodésico. Observa-se, por meio da Figura 5: em **a**, a régua instalada em um píer através de um suporte; em **b**, dois tipos de pinos de referência; e, em **c**, o trilho com forte processo de incrustação e a régua apresentando sujeira, ambos retirados para limpeza.

Figura 5 - Régua de maré padrão RMPG



Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

## Sensores de nível

Um requisito para uma estação maregráfica participar do Programa Gloss (Global Sea Level Observing System) é que ela seja capaz de medir o nível do mar instantâneo com qualidade melhor que 1 cm em todos os momentos, ou seja, em todas as condições de maré, ondas, correntes, clima etc. (UNESCO, 2012).

Ao longo da história da RMPG, diversos tipos de sensores digitais foram utilizados, tais como: régua de eletrodos; Digilevel, desenvolvido no Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia - COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ; sensor acústico Aquatrack; sensores de pressão; radar; e encoder (IBGE, 2010, p. 21).

Os sensores analógicos mecânicos, descontinuados em 2019, eram responsáveis pelo *backup* e recobrimento de possíveis falhas no sensor principal. Eles não dependiam de energia elétrica para seu funcionamento, entretanto sua operação e manutenção eram complexas, exigindo visitas frequentes às estações maregráficas. Nas estações da RMPG, apenas o Porto de Imbituba (SC) ainda mantém esse equipamento em funcionamento sob a responsabilidade do administrador portuário.

Atualmente, as estações maregráficas são compostas por dois sensores de nível digitais que captam as variações do nível do mar utilizando tecnologias distintas. O sensor principal é do tipo radar. Esse tipo de sensor emite um sinal que atinge o alvo, no caso a lâmina d'água, e retorna ao transmissor/receptor, o qual utiliza o tempo que o sinal levou nesse percurso para calcular a distância. O sensor secundário é um codificador de eixo angular (*shaft encoder*), dispositivo eletromecânico cuja funcionalidade é transformar posição em sinal elétrico digital, tendo seus movimentos regidos pelo sistema de contrapeso e boia.

Na Figura 6 são mostrados os sensores radar (conjunto **a**) e encoder (conjunto **b**) instalados em plataforma e os diferentes tipos utilizados atualmente na RMPG. A instalação do radar é feita por meio de um suporte tipo mão-francesa em aço inox, fixado ao píer por meio de parafusos. Possui um dispositivo que permite bascular sua parte superior à qual está fixada o sensor. O encoder, por sua vez, é posicionado na base superior de um poço de tranquilização (tubo com bitola de 200 mm MPVC Defofo) com ponta cônica no qual a boia e o contrapeso trabalham, sendo que a boia fica em constante contato com a água do mar, e o contrapeso fica preservado dentro de outro tubo auxiliar interno com a extremidade inferior vedada (tubo seco). Tanto na estrutura do radar quanto na do encoder, existe um pino metálico de referência para o acompanhamento da estabilidade dos suportes.

**Figura 6 - Sensores radar e encoder utilizados nas estações maregráficas da RMPG**

Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

A duplicidade na aquisição de nível d'água permite comparar a qualidade de ambos os sensores, possibilitando identificar derivas instrumentais e minimizar possíveis ausências de dados por falha em um dos equipamentos. Além disso, durante um período longo, potencializa a combinação entre os dois conjuntos de dados do nível do mar em um registro ideal, culminando no conjunto de observações consolidadas utilizadas nos relatórios de monitoramento da variação do nível do mar.

O Quadro 2 resume as especificações dos principais sensores de nível utilizados na RMPG ao longo dos anos.

**Quadro 2 - Histórico dos sensores de nível utilizados na RMPG**

Local	Tipo de sensor	Modelo	Taxa de coleta	Fabricante	Atividade	Fornecedor
Fortaleza (CE)	Radarm	Vegapuls 62	1 min	Vega	2008 até o momento	Programa GLOSS
	Encoder	Sutron SDR-1-1	5 min	Sutron	2008 até o momento	
	Analógico	LNG 103/07	semanal	Hidromec	2008-2019	Hidromec
Salvador (BA)	Radarm	Vegapuls 62	1 min	Vega	2008 até o momento	Programa GLOSS
	Encoder	Sutron SDR-1-1	5 min	Sutron	2008 até o momento	
	Acústico	4100	6 min	Aquatrack	2004-2008	Programa GLOSS
	Régua de eletrodos	Digilevel	15 min	COPPE/UFRJ	2003	COPPE/UFRJ
	Analógico	LNG 09	semanal	Hidrologia	2002-2019	Hidrologia
Macaé (RJ)	Pressão	1800/S2103	5 min	Druck	2001-2015	Squitter
	Analógico	LNG 104/07	diário semanal	Hidrometria	1995-2015	Hidrometria
Santana (AP)	Radarm	Vegapuls 61	1 min	Vega	2017 até o momento	Hobeco
	Encoder	AD375MA	1 min	Hydrological Services	2017 até o momento	
	Pressão	1800/S2103	5 min	Druck	2005-2018	Squitter
	Analógico	LNG 09	semanal	Hidrologia	2005-2016	Hidrologia
Arraial do Cabo (RJ)	Radarm	Vegapuls 61	1 min	Vega	2017 até o momento	Hobeco
	Encoder	AD375MA	1 min	Hydrological Services	2017 até o momento	
Belém (PA)	Radarm	CWR7200	1 min	Connetech	2019 até o momento	Hobeco
	Encoder	AD375MAL	1 min	Hydrological Services	2019 até o momento	
Imbituba (SC)	Radarm	CWR7200	1 min	Connetech	2019 até o momento	Hobeco
	Encoder	AD375MAL	1 min	Hydrological Services	2019 até o momento	
	Analógico	LNG09	semanal	Hidrologia	1998 até o momento	SCPART
	Encoder	AD375MA	5 min	Hydrological Services	2013-2019	Squitter
	Pressão	SK2231-KL	5 min	Keller	2013-2014	
	Pressão	1800/S2103	5 min	Druck	2001-2016	

Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

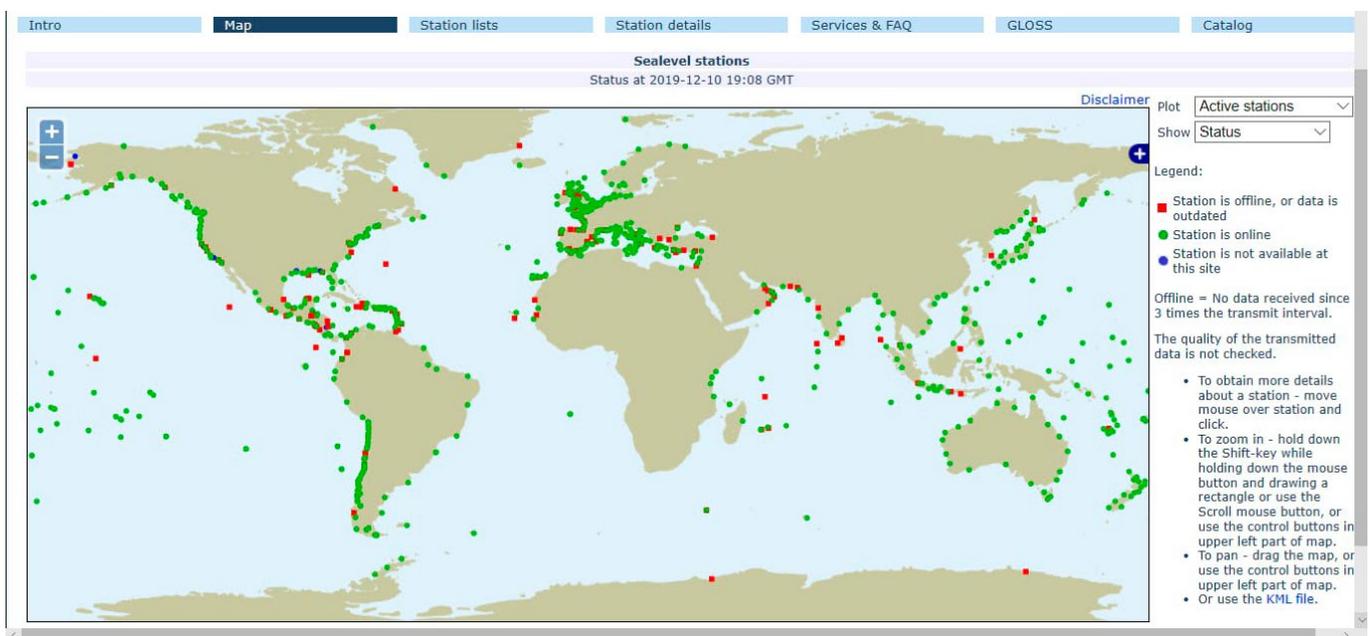
## Sistema de telemetria

A forma de acesso aos dados de nível do mar abrange questões relacionadas à necessidade temporal da informação, à localização e à tecnologia disponível. Para algumas aplicações científicas, acessos semanais ou em intervalos maiores são suficientes, entretanto, para um sistema de alerta de tsunami, o tempo é essencial (UNESCO, 2016a).

No início, a RMPG tinha como meta disponibilizar dados semanais transmitidos através de linhas telefônicas dedicadas. Em 2008, através do Programa GLOSS, foram cedidas estações maregráficas completas para instalação nas Cidades de Fortaleza (CE) e Salvador (BA). Estes equipamentos são voltados para aplicações de emergência e monitoramento do SistemaTerra, cuja transmissão dos dados é realizada através do satélite GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) em tempo quase real, ou seja, a cada cinco minutos.

Atualmente, 100% das estações maregráficas da RMPG fornecem dados para o Sistema de Alerta de Tsunamis e Outros Perigos Costeiros para o Caribe e Regiões Adjacentes (Tsunami and Other Coastal Hazards Warning System for the Caribbean and Adjacent Regions - Caribe EWS)<sup>2</sup>, identificados pelos pontos em verde que aparecem na parte da costa brasileira na Figura 7. Esses dados são enviados para a National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA, dos Estados Unidos, e para alguns outros bancos de dados internacionais que possuem receptores GOES denominados Direct Readout Ground Station (DRGS), sendo atualizados a cada cinco minutos no painel de monitoramento do nível do mar (UNESCO; FLANDERS MARINE INSTITUTE, [2021]). Concomitantemente, os dados são repassados ao centro de controle da RMPG e posteriormente publicados no portal do IBGE na Internet.

**Figura 7 - Estações maregráficas da RMPG que contribuem para o painel de monitoramento do nível do mar global**



Fonte: UNESCO. Intergovernmental Oceanographic Commission; FLANDERS MARINE INSTITUTE. *Sea level station monitoring facility*. Paris: IOC; Ostend: Vliz, [2021]. Disponível em: <http://www.ioc-sealevelmonitoring.org/>. Acesso em: ago. 2021.

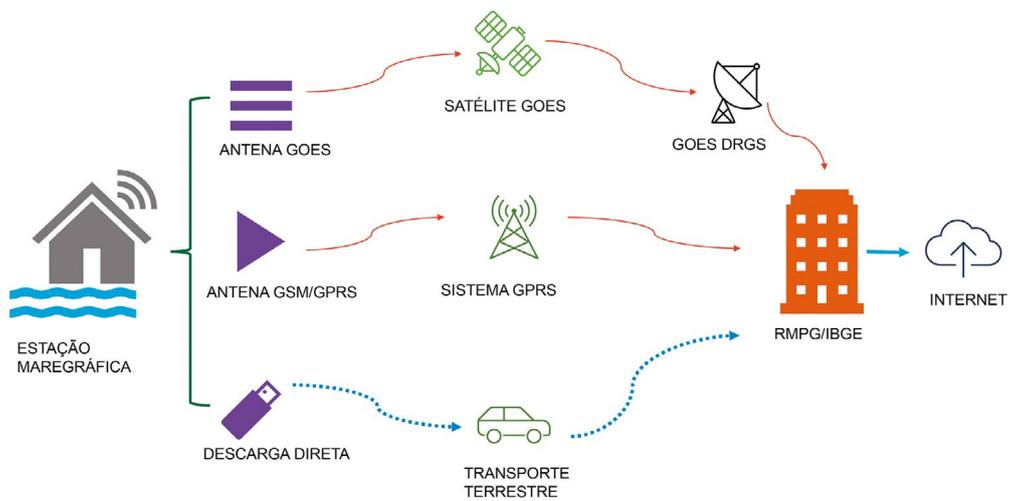
Complementarmente a esse sistema de transmissão, exceto Fortaleza (CE) e Salvador (BA), todas as demais estações operam através da rede de telefonia móvel (GSM/GPRS), transmitindo dados, a cada cinco minutos, diretamente ao centro de controle da RMPG. Dessa forma, essa redundância na transmissão dos dados minimiza possíveis perdas de informações, garantindo a manutenção do serviço em caso de falhas. Essa boa prática para aplicações emergenciais é extremamente importante, conforme explicitado pelo Serviço Hidrográfico e Oceanográfico da Marinha do Chile (Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile - SHOA) que opera 40 estações maregráficas com protocolos de telemetria redundantes (UNESCO, 2016b, p. 19).

<sup>2</sup> Sistema estabelecido em 2005, sob a égide da Intergovernmental Oceanographic Commission - IOC da UNESCO.

Um último procedimento adotado de baixa temporalidade, porém extremamente efetivo, é a descarga direta dos dados armazenados nos cartões de memória das estações maregráficas durante as visitas preventivas, independentemente do bom funcionamento dos demais sistemas de telemetria.

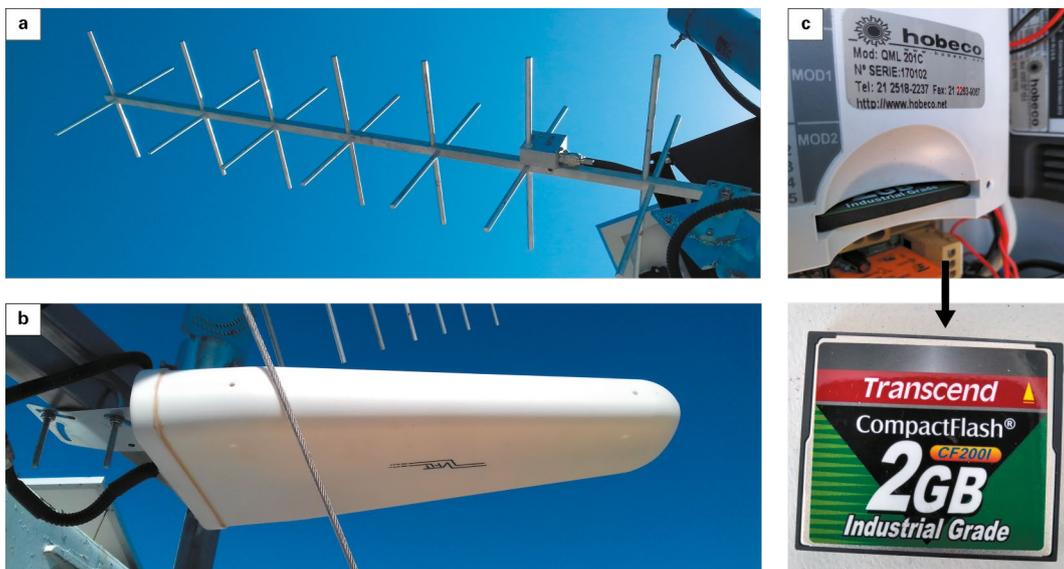
A Figura 8 apresenta o esquema dos sistemas de transmissão GOES e GPRS, bem como a descarga direta através do cartão de armazenamento de dados. A Figura 9 mostra: em **a**, exemplo de antena GOES; em **b**, exemplo de antena GSM/GPRS; e, em **c**, exemplos de cartão CF utilizados nas estações da RMPG.

**Figura 8 - Esquema da transmissão de dados das estações maregráficas à RMPG**



Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

**Figura 9 - Sistema de telemetria das estações maregráficas da RMPG**

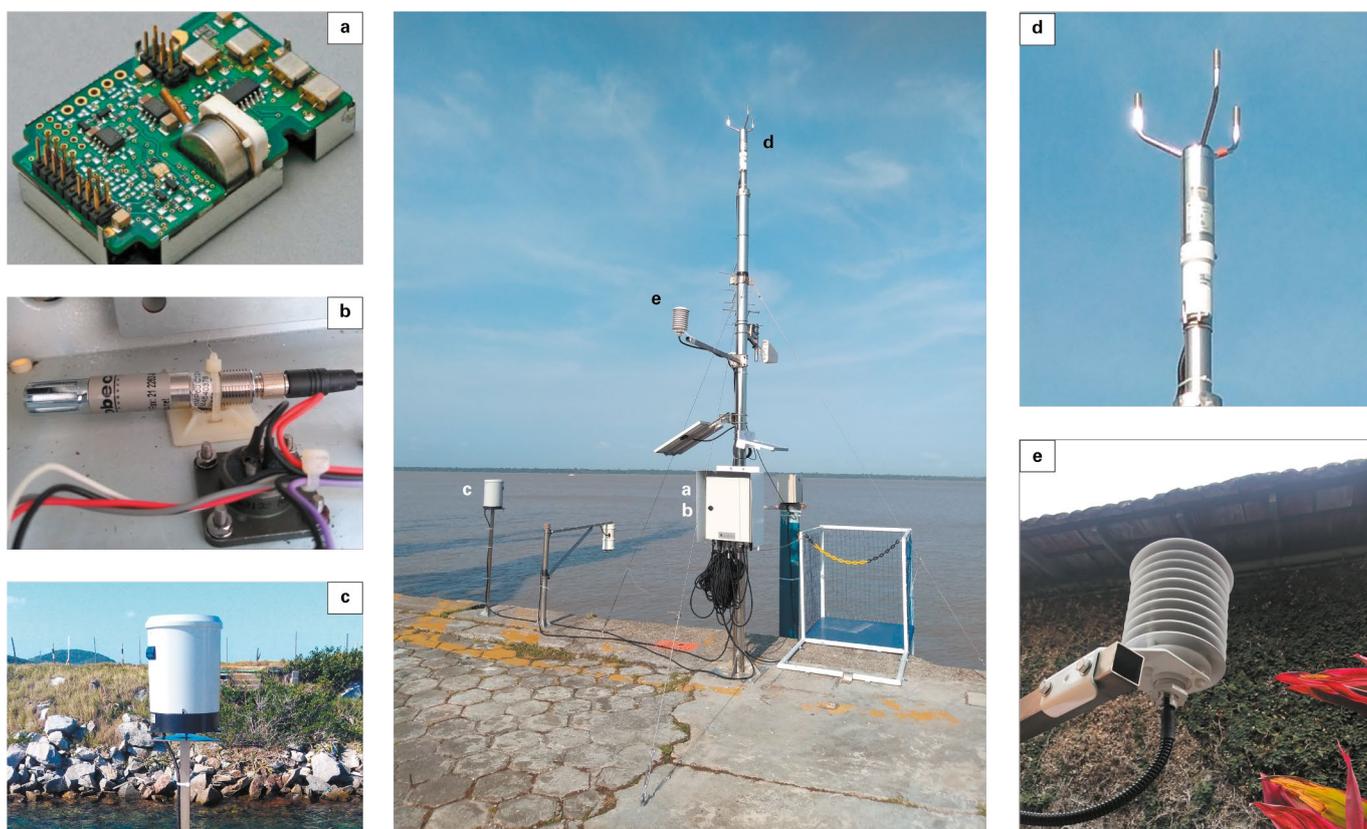


Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia

## Sensores meteorológicos

São essenciais à coleta dos dados necessários à eventual correção de alguns efeitos sistemáticos que afetam a observação do nível do mar (ventos, temperatura e pressão atmosféricas etc.). Atualmente, como apresentado na Figura 10, as estações maregráficas, exceto Fortaleza (CE) e Salvador (BA), são compostas pelos seguintes sensores: de pressão atmosférica (a); de temperatura e umidade interno (b); de precipitação da chuva - pluviômetro (c); de direção e velocidade do vento - anemômetro ultrassônico (d); e de temperatura e umidade externo (e).

Figura 10 - Sensores meteorológicos das estações maregráficas da RMPG

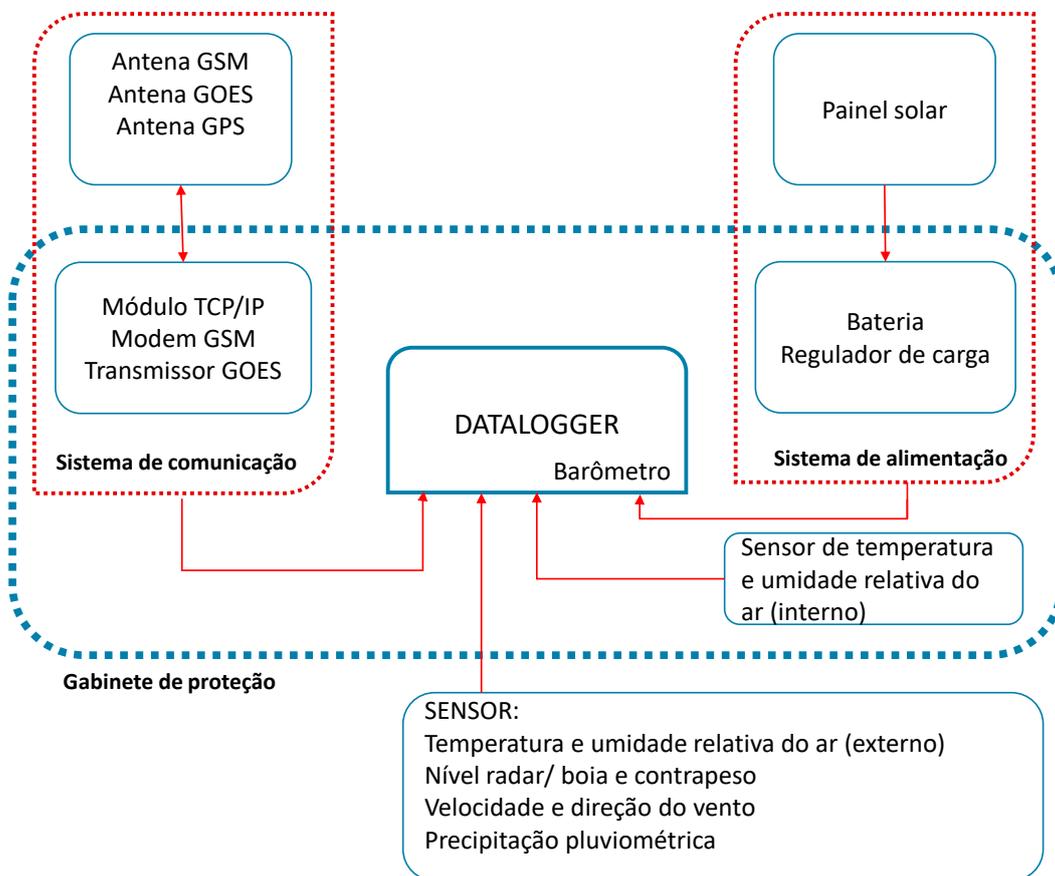


Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

## Plataforma de coleta de dados

As estações maregráficas são compostas de uma plataforma de coleta de dados que integra os demais componentes por meio de um *datalogger*. Dessa forma, estão conectados à plataforma: o modem GPRS, o qual recebe a antena GSM/GPRS; o transmissor GOES, ao qual são conectadas a antena direcional GOES e a antena GPS para referência de tempo; o módulo TCP/IP; os sensores meteorológicos e de nível; e, por fim, o sistema de alimentação. Esse último é composto por duas baterias, um regulador de carga e um painel solar. O sensor de pressão atmosférica (barômetro) fica diretamente acoplado ao *datalogger*. O esquema apresentado na Figura 11 mostra o gabinete de proteção onde está alocada a plataforma de coleta de dados e os componentes a ela conectados, formando o principal sistema da estação.

Figura 11 - Esquema da integração dos componentes à plataforma de coleta de dados



Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

## Centro de controle da RMPG

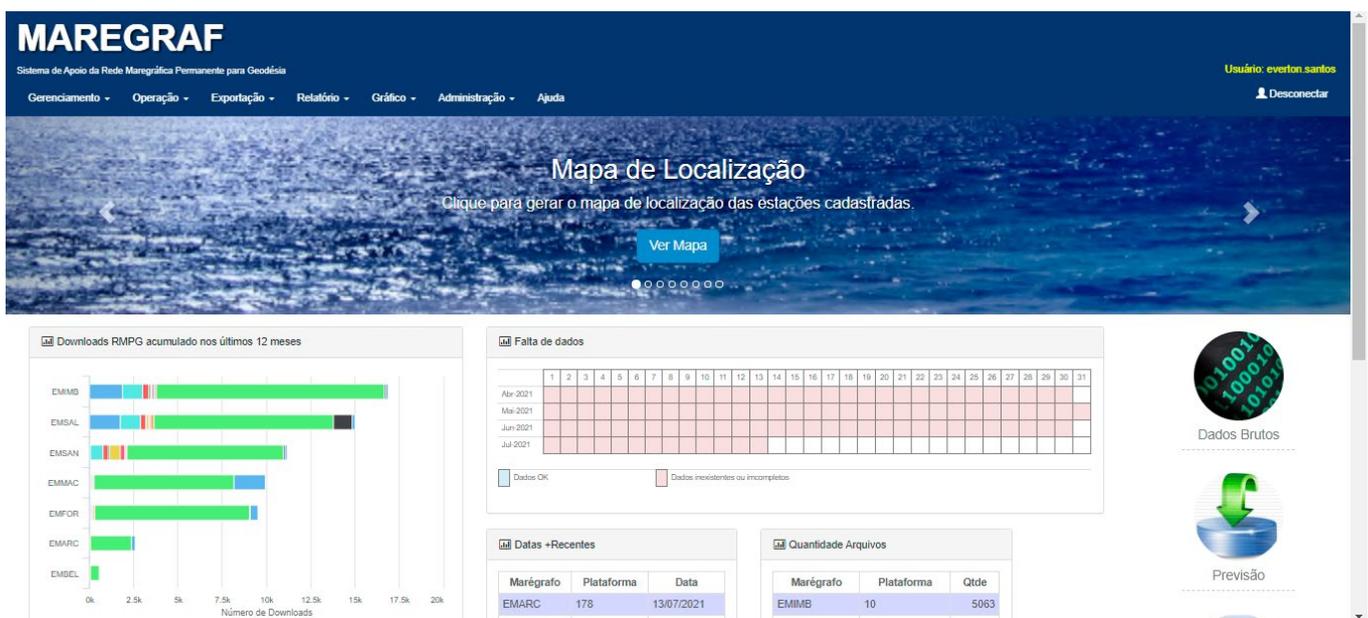
O centro de controle da RMPG é onde todas as informações das estações maregráficas são recebidas, tratadas e disponibilizadas. Diariamente, é feito o acompanhamento do funcionamento de cada estação a fim de detectar, com rapidez, qualquer possível problema que implique na interrupção da coleta ou da transmissão dos dados. Outra atividade diária realizada é a análise dos dados recebidos e sua posterior disponibilização na página da RMPG, no portal do IBGE.

Auxiliam também o centro de controle as equipes lotadas em alguns Estados do País, por meio das Gerências de Geodésia e Cartografia das Unidades Estaduais do IBGE. Tais equipes são fundamentais, tanto nas manutenções emergenciais quanto nas periódicas, além de apoiarem as atividades anuais de controle geodésico de estações maregráficas e as instalações que se façam necessárias.

Periodicamente, é realizado no centro de controle da RMPG o reprocessamento das observações maregráficas. Esta atividade tem o objetivo de refinar as informações, recombinao observações maregráficas históricas numa série temporal única, corrigida de eventuais mudanças de posição dos sensores, falhas instrumentais etc.

Em 2015, a RMPG passou a gerenciar parcialmente a operação por meio do programa MAREGRAF, desenvolvido especificamente para as suas atividades diárias. Contudo, ao longo do tempo, esse programa foi sendo aprimorado, ganhando novas ferramentas voltadas ao controle geral da Rede. Atualmente, por intermédio do MAREGRAF, são realizados os seguintes procedimentos: o armazenamento, o processamento, a análise e a disponibilização de dados diários de nível do mar no portal do IBGE. Adicionalmente, é feito o monitoramento de alguns componentes das estações maregráficas, como alimentação das baterias e transmissão de dados, além do fornecimento de relatórios de inatividade, gráficos comparativos com a previsão astronômica, estatísticas de *downloads*, e o gerenciamento das plataformas. A Figura 12 mostra a interface do MAREGRAF e algumas de suas funcionalidades.

Figura 12 - Sistema de apoio MAREGRAF



Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

## Processamento e análise das observações maregráficas

Neste tópico, são descritas as etapas necessárias ao processamento das observações maregráficas com o objetivo de determinar as séries do nível médio do mar nas estações maregráficas da RMPG.

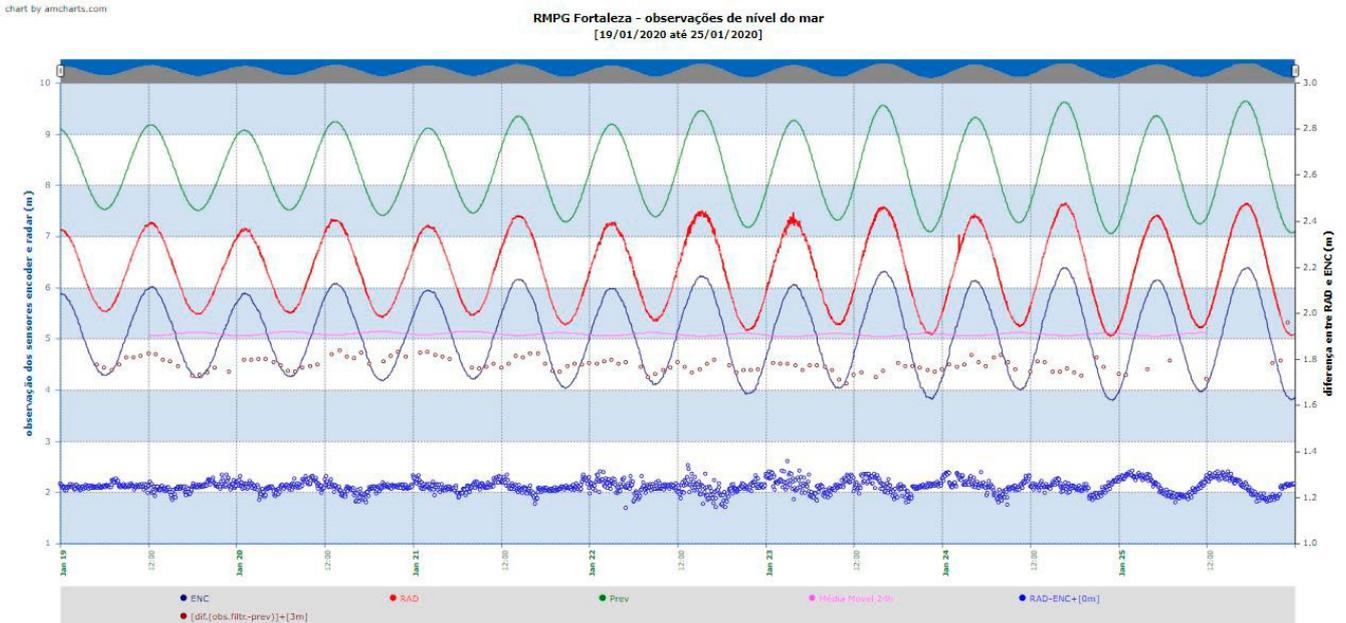
### Soluções computacionais

O centro de controle da RMPG utiliza quatro soluções computacionais para tratamento e análise das observações que são disponibilizadas ao usuário. A primeira delas é o MAREGRAF, responsável pelo gerenciamento, análise preliminar e divulgação diária das observações maregráficas. As demais soluções computacionais são utilizadas para a determinação das séries temporais consolidadas utilizadas no presente estudo, isto é, observações que passaram por um controle completo. São elas: o programa CRITNM (LUZ, 2008, p. 167), que faz uma crítica rigorosa das observações, identificando possíveis inconsistências e gerando arquivos anuais no formato SLP64; o programa SLP64 (CALDWELL, 2014), responsável pelo processamento de dados horários e controle de qualidade; e, por fim, o programa SLPLAC (LUZ, 2008, p. 174), que traduz as saídas do SLP64, aplicando, em seguida, um filtro de 168 horas, equivalente a sete dias, conforme recomendado por Pugh (1996) para a eliminação das componentes harmônicas mais significativas, como a preparação para a obtenção de dados sobre o nível médio do mar mensais e anuais das estações, os quais são posteriormente organizados e analisados.

A seguir, são descritas as principais funcionalidades e objetivos de cada uma das soluções empregadas:

- **MAREGRAF** - Programa de gerenciamento das estações maregráficas da RMPG responsável pela coleta, formatação, análise preliminar e divulgação diária de arquivos contendo informações de data, hora e nível coletado pela dupla de sensores (radar e encoder). Na análise preliminar, as observações são comparadas com a previsão astronômica para identificação de inconsistência ou outlier. Na Figura 13, podem ser observadas, em verde, a previsão astronômica, e, em vermelho e em azul escuro, as observações dos sensores radar e encoder, respectivamente. Ademais, possibilita o acompanhamento da situação operacional das estações maregráficas, mostrando, por exemplo, quantidade de acesso aos dados, relatório de inatividade, gráficos, metadados, entre outras informações. Desde sua implementação, em 2015, novas ferramentas estão sendo agregadas para automatizar o gerenciamento da RMPG;
- **CRITNM** - Programa que realiza a crítica preliminar e a filtragem dos dados diários de altura do nível do mar, ou seja, cada arquivo diário é varrido pelo programa a fim de apontar possíveis inconsistências horárias, falta de dados

Figura 13 - Análise gráfica das observações no MAREGRAF



Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

Figura 14 - Estrutura dos dados de entrada no programa SLP64

ID da Estação	Estação	Latitude e Longitude	Referência meridiana da hora local	Intervalo de tempo
			Posição de referência	Ano
				Mês
				Unidade
716Santana		LAT=00 03.7S LONG=051 10.1W	TMZONE=045W	REF=00000 60 JAN 19 M
				Ano
ID da Estação	Estação	Mês	Dia	Período de gravação (1 00:00-11:00 e 2 12:00-23:00)
				Valores horários em mm
716Santana	2019	1	11	3710 3560 3107 2604 2171 1823 1534 1311 1195 1428 2193 3147
716Santana	2019	1	12	3532 3583 3333 2861 2395 2001 1692 1431 1273 1412 2089 3098
716Santana	2019	1	21	3624 3735 3576 3106 2591 2161 1813 1520 1294 1179 1474 2315
716Santana	2019	1	22	3302 3664 3703 3438 2934 2436 2046 1745 1471 1316 1516 2318

Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

## Preparação e controle preliminar dos dados

Mensalmente, é realizado um processo que consiste em analisar falhas na série do mês anterior. Nos casos em que são identificadas faltas de dados, é feita uma investigação para se determinar a causa da falha e se é possível recuperar tal dado. Essa etapa é de fundamental importância, pois a recuperação de dados contribui para uma série íntegra. Geralmente, a falta de dados pode ser ocasionada por falha na transmissão ou possível defeito em um dos sensores.

Realizada a etapa anterior, são gerados gráficos, tanto com as observações coletadas em cada sensor quanto com a previsão em intervalos de cinco minutos. O controle de qualidade simplificado é realizado por meio da diferença entre a observação e os níveis previstos. Caso exista alguma alteração mais significativa – por exemplo, de ordem meteorológica –, esses casos são documentados e analisados em outro momento, com mais rigor. Por fim, têm-se como resultado os arquivos padronizados que são disponibilizados ao usuário no portal do IBGE. Cabe informar que essa etapa é realizada utilizando o programa MAREGRAF.

## Crítica dos dados

O segundo passo para o processamento das observações maregráficas é a crítica. Esse procedimento é realizado por meio do programa CRITNM. Nesta etapa, todos os arquivos de cada estação são transferidos do servidor do FTP/RMPG e colocados em uma pasta específica onde é executado o CRITNM. Esse, por sua vez, faz uma análise criteriosa de cada arquivo em busca de lacunas de observações e organiza os dados na ordem estação, ano e mês, além de gerar os arquivos executáveis para o processamento de crítica e a geração dos arquivos WA que, como já mencionado, consistem em arquivos contendo a sumarização das observações de minuto para observações horárias no formato SLP64.

A ausência de observações em períodos de até três horas é preenchida com a previsão de maré astronômica. A ausência de observações em períodos superiores a três horas recebe o código 9999, pois o SLP64 identifica esse valor como ausência de dado. Na etapa seguinte, os períodos superiores a três horas são preenchidos pela rotina FILLVM e, posteriormente, as informações são inseridas nos arquivos WAs. Ao fim do processamento, são gerados três relatórios, sendo eles: de leituras rejeitadas, de leituras filtradas, e de leituras criticadas. Com base nesses relatórios, é possível ter um diagnóstico da situação, para cada ano, por estação maregráfica, em relação à qualidade dos dados.

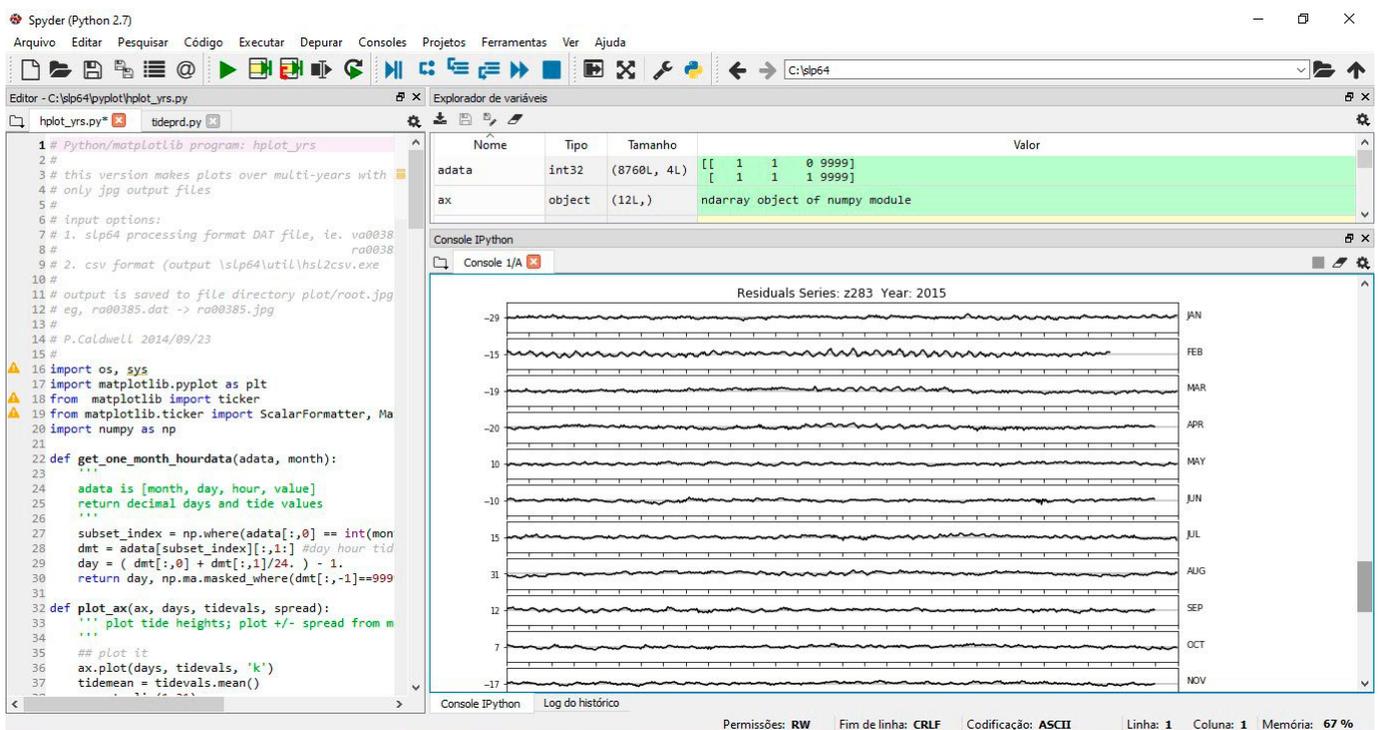
Por meio do CRITNM, é possível também aplicar correções de “saltos” que acontecem na posição dos sensores (detectados no Teste de Van de Castele). Ao aplicar um determinado valor de correção, esse é transferido para todas as observações usadas na determinação do WA. Esse procedimento requer cuidado e documentação para evitar possíveis divergências futuras entre os dados diários e a série temporal. Finalizada essa etapa, já se dispõe das entradas prontas para o processamento no SLP64.

## Processamento no SLP64

Uma série de etapas são realizadas no SLP64 a fim de obter os resultados para a filtragem final no SLPLAC. Além dos dados finais, são gerados diversos produtos indispensáveis ao controle de qualidade. Utilizou-se o ambiente de desenvolvimento integrado Spyder 3.3.3 (SPYDER..., 2021) para leitura dos códigos do SLP64 escritos em Python 2.7.

Os arquivos WAs são entradas para o programa SLP64. A primeira etapa consiste em gerar os gráficos das observações, para cada ano, de uma determinada estação maregráfica (Figura 15). Por meio desta operação, é possível fazer a segunda crítica de erros nos arquivos de observações, mostrando, assim, onde podem estar ocorrendo observações discrepantes, geralmente relacionadas a falhas dos sensores. Essas observações são retiradas do conjunto caso não seja possível a sua recuperação.

**Figura 15 - Rotina do SLP64 em ambiente Spyder 3 para cálculo e geração de gráfico dos resíduos**



Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

Após a segunda crítica, é realizada a geração das componentes harmônicas para cada ano. Em seguida, deve-se analisar qual das séries anuais oferece melhor *root mean square*, isto é, melhor consistência entre os níveis observados e os respectivos valores previstos com as componentes harmônicas resultantes da análise espectral por mínimos quadrados. Outro fator que é levado em consideração nessa análise é a atualidade dos dados; logo, quanto mais atual o dado, maior a sua preferência em relação aos demais, uma vez satisfeitas as condições anteriores (UNESCO, 2020, p. 18). Feita essa análise, utiliza-se o conjunto selecionado de componentes harmônicas

para geração das previsões anuais que serão utilizadas no cálculo final. Esses arquivos são nomeados conforme as convenções específicas do SLP64; neste caso, como QA, onde: Q representa o século (2000-2099), e A representa a primeira versão, podendo variar até Z) (Caldwell, 2014). As previsões geradas são também interpoladas para cinco minutos e utilizadas no MAREGRAF como insumo à análise dos dados diários.

A terceira parte do processamento versa sobre a geração dos resíduos anuais. Nesta etapa, são calculadas as diferenças entre a previsão e a observação. Com o arquivo de saída dos resíduos, são gerados gráficos da série residual que serão posteriormente analisados. Caso existam anomalias não detectadas nas etapas anteriores, inicia-se uma nova investigação para o tratamento do conjunto de dados. Essa etapa é entendida como terceira filtragem. Realizado todo esse controle, o próximo passo é calcular os níveis médios mensais.

## Processamento no SLPLAC

O programa SLPLAC realiza uma filtragem das componentes de alta frequência das observações do nível do mar por meio da aplicação de um filtro de 168 horas. Antes do cálculo propriamente dito, é necessário fazer a preparação dos dois arquivos de entrada para o SLPLAC, sendo eles: o de previsão geral de todo o período, e o de observações gerais do mesmo período. Essa preparação é feita por meio da concatenação dos arquivos anuais com uma posterior análise do arquivo resultante para dirimir alguma inconsistência na formatação. Suprida essa demanda, executa-se o cálculo no SLPLAC, que tem como saída um arquivo contendo informações de data, hora, observações, previsão, resíduos, nível médio produzido pelo filtro de 168 horas, e possíveis preenchimentos de ausência de observações com a previsão, quando inferiores a três horas.

## Determinação dos níveis médios e da tendência

O resultado obtido pelo SLPLAC é posto em uma planilha específica que recalcula e organiza os níveis médios mensais para cada estação maregráfica. Nessa mesma planilha, é feito um gráfico com os resíduos e realizada uma avaliação de outras possíveis inconsistências posicionais dos sensores, as quais, conforme aconteçam, são corrigidas. Em seguida, é realizado o cálculo das médias mensais e anuais para a determinação das tendências observadas nas estações.

Existem diversos métodos para calcular a reta que melhor representa a tendência do nível médio do mar. A regressão linear simples é uma das mais utilizadas nessa determinação, onde  $X_i$  e  $Y_i$  representam, respectivamente, o mês e o nível médio do mar mensal correspondente, após a subtração de suas respectivas médias. Assim, a inclinação da reta de regressão linear ( $b$ ), também conhecida como coeficiente angular, representa a tendência da série, e  $(S_b)$ , o seu erro padrão, os quais podem ser expressos pelas equações 1 e 2, respectivamente (ZERVAS, 2001; 2009):

$$b = \frac{\sum_i X_i Y_i}{\sum_i X_i^2} \quad (1)$$

$$S_b = \frac{S_{xy}}{\sqrt{\sum_i X_i^2}} \quad (2)$$

Onde:

$$S_{xy} = \sqrt{\frac{\sum_i Y_i^2 - b(\sum_i X_i Y_i)}{n - 2}} \quad (3)$$

$S_{xy}$  é o erro padrão da regressão (desvio padrão da reta de regressão), e  $n$  é o número total de meses observados para cada estação maregráfica.

## Análise de deriva instrumental dos sensores eletrônicos

A deriva instrumental dos sensores eletrônicos causa uma tendência fictícia na série maregráfica, o que distorce os valores do nível médio do mar, bem como a indicação correta das taxas anuais de descida e subida do nível do mar. Em 2010, foi identificado que a Estação Maregráfica de Macaé (RJ) apresentava uma deriva em seu sensor de pressão (SANTOS, 2010), e, em decorrência disso, todos os sensores utilizados na RMPG foram avaliados a fim de detectar tal situação. Esse estudo foi publicado pelo IBGE (ANÁLISE..., 2016), e seu resultado apontou que os sensores de pressão sofrem uma deriva significativa, conseqüentemente as Estações Maregráficas de Macaé (RJ) e Imbituba (SC) que possuíam esse tipo de sensor apresentaram tendências acentuadas que foram, em seguida, corrigidas. Os sensores do tipo radar e encoder não apresentaram deriva. No presente estudo, tais análises foram consideradas, uma vez que parte dos dados aqui utilizados são provenientes dos sensores de pressão existentes à época.

## Qualidade na determinação do nível médio do mar

O controle de qualidade das observações coletadas por meio das estações maregráficas é de fundamental importância para fornecer informações confiáveis ao usuário. Dada essa necessidade, uma série de procedimentos voltados a essa questão são realizados pelo centro de controle da RMPG, tanto no escritório como também em campo. A qualidade dos dados depende de uma série de fatores, a começar pela instalação da estação, com critérios que garantam boa estabilidade ao posicionamento de seus componentes, seguindo-lhe as manutenções e o controle geodésico periódicos, bem como o acompanhamento contínuo de seu funcionamento por meio dos relatórios diários emitidos.

A qualidade das observações é uma preocupação dos órgãos que trabalham com o monitoramento da variação do nível do mar. Esses órgãos têm coordenado esforços no sentido de prover um intercâmbio de informações e padronizações para que os bancos de dados oceanográficos e geodésicos possam fornecer informações confiáveis e de fácil entendimento, sobretudo em relação aos metadados (UNESCO, 2020).

Os dados coletados pelas estações da RMPG vão além da altura do nível do mar instantâneo. São coletados ainda dados relacionados à meteorologia, tais como: pressão atmosférica, velocidade e direção do vento, pluviosidade, umidade relativa

do ar, e temperatura. Essas observações meteorológicas são fundamentais para o refinamento das observações do nível do mar. É importante pontuar que tais informações meteorológicas ainda não são publicadas na página da RMPG, no portal do IBGE. Essa demanda será implementada ao MAREGRAF em momento oportuno. Outro procedimento importante para a garantia da qualidade das informações da RMPG é o controle geodésico das estações maregráficas, por meio do qual são realizadas várias atividades voltadas ao controle dos componentes da estação. Esse procedimento será detalhado no tópico a seguir.

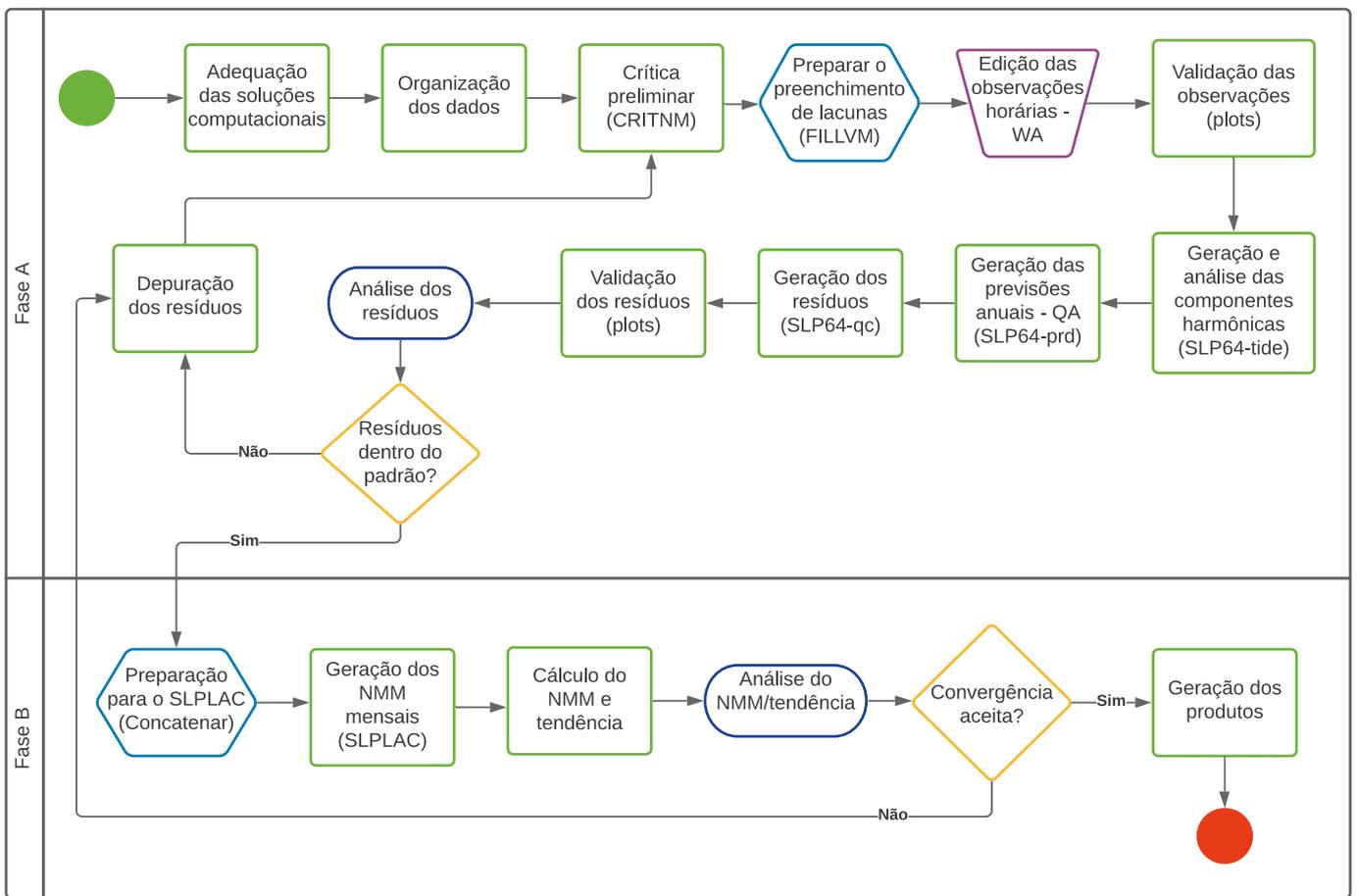
Os erros e as inconsistências apresentados nas observações de nível do mar podem ser originados de diversas formas. Em decorrência disso, é essencial que o centro de controle da RMPG esteja atento para interpretar suas ocorrências em cada situação, cujas causas mais frequentes são: falha na transmissão dos dados; picos provocados por ruído eletrônico; alteração da posição do sensor; enganchamento da corda do contrapeso e boia; objetos posicionados temporariamente na linha do feixe do radar; entupimento do poço de tranquilização; e problemas de alimentação da estação maregráfica. Além dos erros de ordem instrumental, o usuário deve estar atento aos metadados de cada estação. Em regra, o sensor primário adotado, atualmente, pela RMPG é o radar, contudo é importante notar que são disponibilizados, também, os dados do sensor encoder no mesmo arquivo. A ordem, portanto, da altura do nível do mar se refere ao sensor radar e ao sensor encoder. Logo, o usuário deve observar a integridade de cada arquivo que esteja utilizando. Neste estudo, o resultado da série temporal consolidada foi reduzido à atual posição do sensor radar.

Outro fator importante relacionado à qualidade dos dados diz respeito à limpeza dos componentes da estação maregráfica, tendo em vista que o ambiente marinho tem suas peculiaridades bioquímicas que trazem resíduos e sujeiras que são prejudiciais ao seu funcionamento. Dos componentes, os que mais sofrem com tais problemas são os que ficam parcialmente submersos, como a régua de maré e o poço de tranquilização, o qual, inclusive, pode entupir em decorrência de incrustações e sedimentos, prejudicando o registro correto das observações. Por sua vez, os sensores meteorológicos e as antenas GSM e GOES geralmente sofrem com as sujeiras distribuídas por suas estruturas, mas, nesse caso, são de fácil remoção. Os cabos elétricos, apesar da cuidadosa e robusta vedação, também sofrem com a salinidade marinha.

Ao considerar os referidos aspectos sobre a qualidade dos dados e do processamento do nível médio do mar da RMPG, em concordância com o que é preconizado no manual de qualidade da IOC n. 83 (UNESCO, 2020), pode-se sumarizar que os principais procedimentos de controle de qualidade aplicados são: verificação das componentes harmônicas e geração das previsões; inspeção dos resíduos oceânicos e não oceânicos; correção de eventual mau funcionamento dos equipamentos; detecção e preenchimento de lacunas de observações, quando possível, nas séries maregráficas; averiguação e controle do posicionamento dos sensores da estação maregráfica; aplicação de estatísticas adequadas de análise das informações; e conservação e manutenção do local e dos componentes das estações.

Nos tópicos anteriores, foram descritas as etapas necessárias ao processamento e ao controle de qualidade na determinação do nível médio do mar e dos demais produtos disponibilizados pela RMPG aos usuários. Essas etapas são organizadas como apresentado na Figura 16, na qual observa-se que esse processo exige, muitas vezes, sucessivas iterações, uma vez que, ao longo do tempo, ocorrem diversos tipos de situações na coleta dos dados, bem como na manutenção das estações maregráficas.

**Figura 16 - Fluxograma das etapas necessárias à determinação do nível médio do mar nas estações maregráficas da RMPG**



Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

## Controle geodésico de estações maregráficas

A RMPG tem como finalidade determinar e acompanhar as evoluções temporal e espacial dos referenciais altimétricos do SGB. Contribuindo para esse propósito, o controle geodésico de estações maregráficas possibilita o controle temporal e de precisão da correlação entre diversas superfícies físicas e geométricas de referência altimétrica, como observa o manual sobre especificações e normas de levantamento geodésico elaborado pelo IBGE (2017).

A periodicidade do controle geodésico de estações maregráficas é essencial para a vinculação temporal e espacial dos *Data Verticais Brasileiros*, em Imbituba (SC) e Santana (AP), aos demais níveis de referência maregráficos utilizados na Cartografia Náutica e na Engenharia Costeira, conforme disposto pelo IBGE (RELATÓRIO..., 2013). Suas principais atividades compreendem a aferição dos sensores de nível (Teste de Van de Castele), o nivelamento geométrico científico, e o rastreo GNSS (Figura 17). A gravimetria absoluta nas estações maregráficas seria a quarta atividade. Ela contribui para a análise da movimentação vertical, fornecendo informações complementares, derivadas da Física, enquanto as informações GNSS são geométricas (WILLIAMS; BAKER; JEFFRIES, 2001; ZERBINI *et al.*, 2001). Até a elaboração final do presente estudo, não foram realizadas medições gravimétricas absolutas nas estações maregráficas da RMPG.

Figura 17 - Partes fundamentais do controle geodésico de estações maregráficas



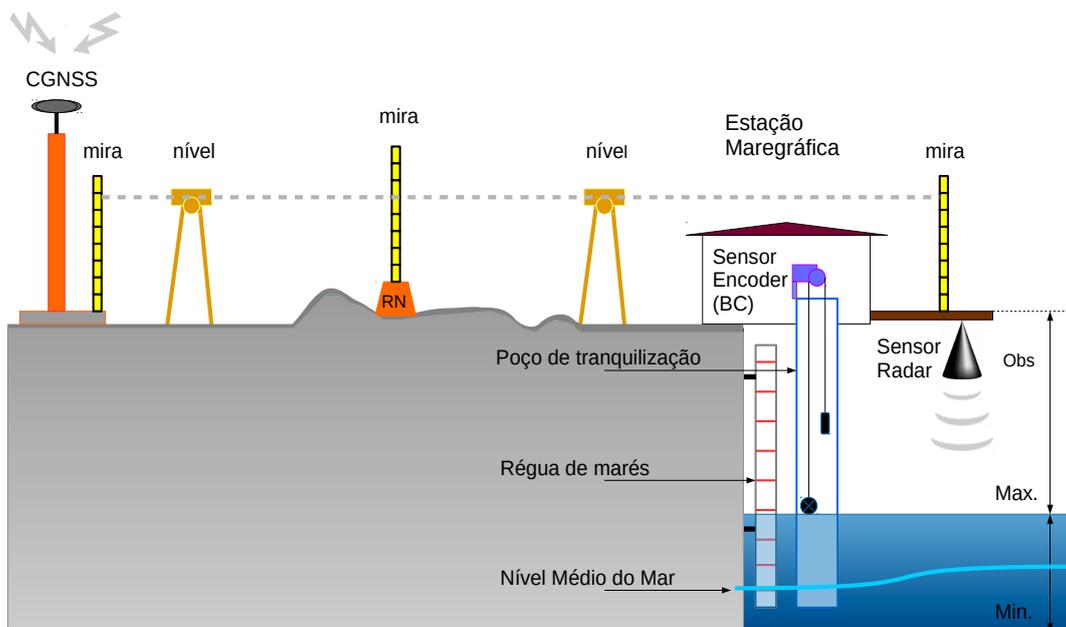
Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

O principal objetivo do controle geodésico de estações maregráficas é detectar e quantificar movimentos verticais de origem não oceânica, tais como a movimentação da crosta terrestre, a subsidência de estruturas de suporte dos sensores, a substituição ou o reposicionamento de sensores, entre outros, para posterior correção das observações maregráficas (IBGE, 2010).

Além disso, com o advento da altimetria por satélite (ALTSAT), a integração das observações maregráficas com as observações ALTSAT tornaram-se úteis para o refinamento da componente vertical do SGB, auxiliando estudos sobre a modelagem da topografia do nível médio do mar ao longo da costa brasileira, e sua contribuição para a modelagem matemática do Problema de Valor de Contorno da Geodésia. A determinação da posição geocêntrica (latitude, longitude e altitude elipsoidal) obtida pelo rastreamento GNSS nas referências de nível no entorno da estação maregráfica possibilita a transformação para o mesmo sistema de referência da ALTSAT (IBGE, 2010).

Uma vez determinadas as corretas vinculações entre níveis de referência altimétrica, as informações produzidas pelas estações da RMPG também são úteis para diversas aplicações não geodésicas em regiões litorâneas, possibilitando, inclusive, estudos de medidas de adaptação e mitigação dos impactos da elevação do nível médio do mar, entre outras aplicações. A Figura 18 esquematiza as etapas do controle geodésico de estações maregráficas no qual, por meio do nivelamento geométrico científico, é feita a vinculação da referência do sensor de nível e régua de maré às referências de nível do SGB, bem como ao sistema GNSS.

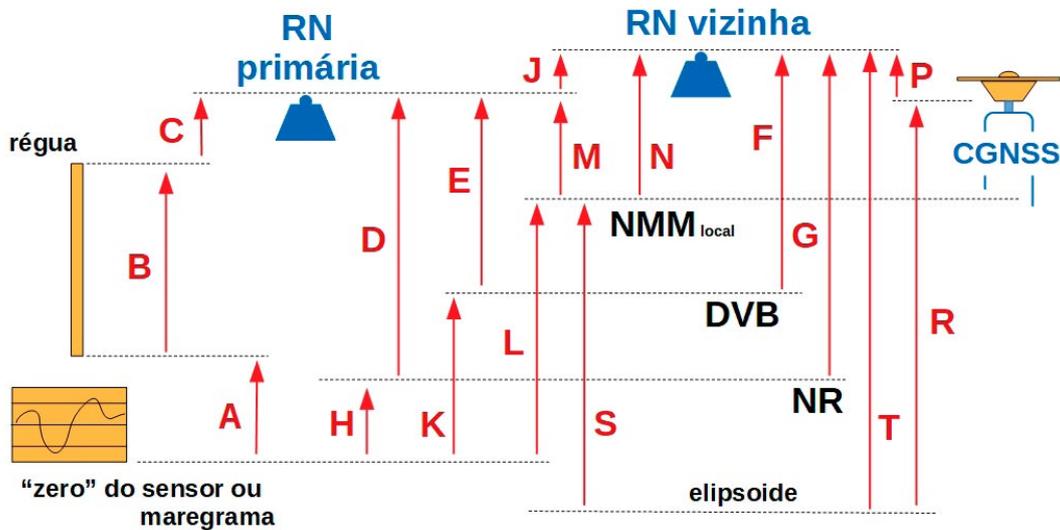
Figura 18 - Esquema do controle geodésico de estações maregráficas



Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

O principal produto do controle geodésico de estações maregráficas é a ficha de correlação de níveis atualizada de cada estação maregráfica. A correta compreensão dessas relações de níveis auxilia na utilização dos dados disponibilizados pela RMPG, já que os valores apresentados para o nível d'água são relativos, ou seja, utilizam um referencial próprio do IBGE. Apenas as variações do nível devem ser consideradas como informações absolutas. Para vinculação com o *Datum* Vertical Brasileiro (DVB), com o nível de redução (NR) informado pela Diretoria de Hidrografia e Navegação - DHN, da Marinha do Brasil, ou com o elipsoide de referência GNSS, é necessário utilizar as constantes disponíveis na ficha de correlação de níveis. A Figura 19 apresenta as relações entre os componentes para as devidas vinculações dos diversos níveis de referência.

Figura 19 - Relações entre os níveis de referência em uma estação maregráfica



Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

A seguir, são descritos cada componente, de acordo com o apresentado na Figura 19. Informações mais detalhadas podem ser encontradas em IBGE (2009, 2010).

- A. Desnível entre os “zeros” dos marógrafos e da régua, resultante da aferição dos sensores (Teste de Van de Castele);
- B. Leitura nominal do pino/topo da régua;
- C. Desnível do pino/topo da régua até a referência de nível primária (nivelamento geométrico da régua);
- D. Altura da referência de nível primária acima do nível de redução informado pela Diretoria de Hidrografia e Navegação - DNH, da Marinha do Brasil;
- E. Altitude da referência de nível primária referida ao *Datum* Vertical Brasileiro – Imbituba (SC) ou Santana (AP) – obtida no Banco de Dados Geodésicos - BDG, do IBGE;
- F. Altitude da referência de nível vizinha referida ao *Datum* Vertical Brasileiro – Imbituba (SC) ou Santana (AP) – obtida no Banco de Dados Geodésicos - BDG, do IBGE;
- G. Altura da referência de nível vizinha acima do nível de redução informado pela Diretoria de Hidrografia e Navegação - DNH, da Marinha do Brasil (ficha F - 41);
- H. Constante a ser subtraída das leituras do marógrafo para referenciá-las ao nível de redução informado pela Diretoria de Hidrografia e Navegação - DNH, da Marinha do Brasil;
- J. Desníveis entre as referências de nível primária e vizinha (nivelamento de controle geodésico de estações maregráficas);
- K. Constante a ser subtraída das leituras do marógrafo para referenciá-las ao *Datum* Vertical Brasileiro – Imbituba (SC) ou Santana (AP);
- L. Nível médio local obtido das leituras do sensor/maregrama;
- M. Altura da referência de nível primária acima do nível médio local;

- N. Altura da referência de nível vizinha acima do nível médio local;
- P. Desníveis entre as referências de nível primária/vizinhas e o ponto de referência da estação de monitoramento contínuo de sinais dos sistemas globais de navegação e posicionamento por satélites (Continuously Global Navigation Satellite System - CGNSS) da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo - RBMC;
- R. Altitude elipsoidal da estação CGNSS, resultante do processamento das respectivas observações com metodologia específica;
- S. Altitude elipsoidal do nível médio local, obtida via nivelamento de controle geodésico de estações maregráficas entre as referências de nível e a estação CGNSS; e
- T. Altitude elipsoidal da referência de nível vizinha.

### Teste de Van de Castele

Possíveis erros sistemáticos, tais como derivas instrumentais, entupimento de poços de tranquilização e erros de escala devidos à calibração inadequada, inclusive de sensores do tipo radar, podem ser identificados por meio do Teste de Van de Castele, o qual consiste em repetições exaustivas de leituras do nível d'água na régua de maré durante um ciclo completo de marés (MIGUEZ; TESTUT; WÖPPELMANN, 2008). Mesmo nos casos em que a coleta das observações é realizada com um tempo curto em torno da maré alta ou baixa, preferencialmente nas marés de sizígia, ainda assim é possível realizar tais análises (UNESCO, 2016a, p. 38).

**Figura 20 - Operador anotando o valor de nível d'água observado na régua de marés**

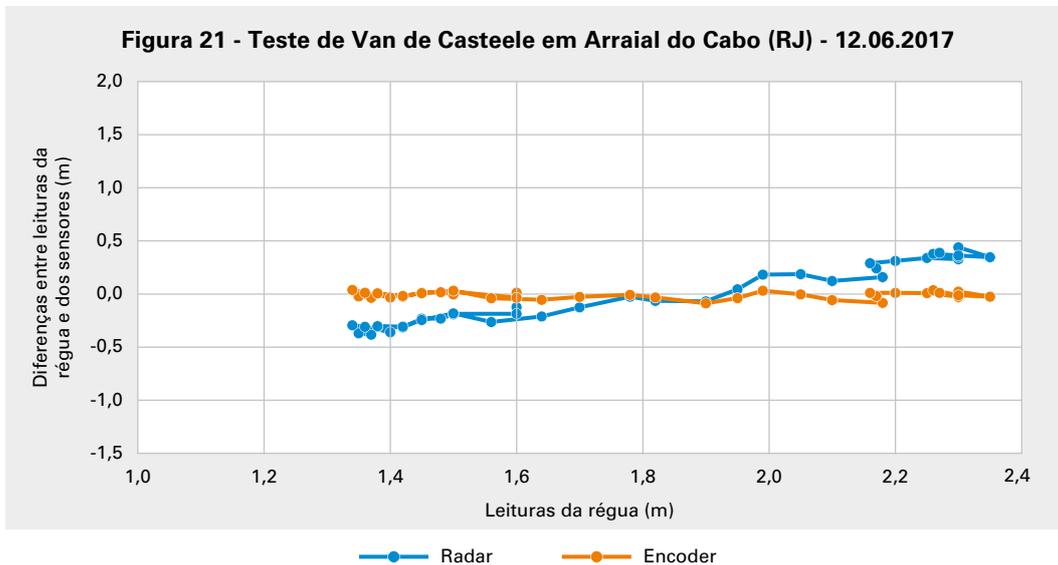


Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

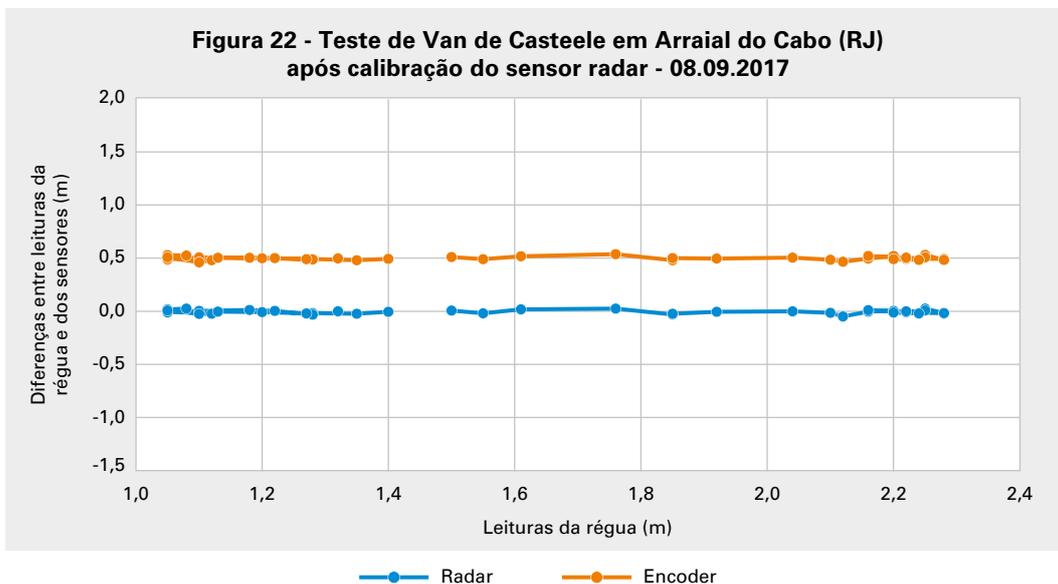
Na prática, por mais que os sensores digitais sejam projetados para terem alta *performance* a longo prazo, todos os equipamentos estão sujeitos ao envelhecimento das peças.

Todos os sensores terão uma frequência interna ou referência de tempo que normalmente seria um oscilador de cristal com compensação de temperatura que estará sujeito a algum envelhecimento a longo prazo. Além, das propriedades elétricas de componentes mecânicos, como antena e cabos de conexão, incluindo placas de circuito impresso (UNESCO, 2016a, p. 38, tradução nossa).

Na Figura 21, tem-se o resultado do Teste de Van de Castelee durante a instalação da Estação Maregráfica de Arraial do Cabo (RJ) em junho de 2017. Identificou-se erro de escala no sensor radar que estava calibrado para uma distância superior à realidade local. A Figura 22 mostra o Teste realizado depois da calibração do sensor radar. Observa-se que ele fica similar ao sensor encoder. Essa situação se coaduna com o apresentado na Figura 23, situação (a).



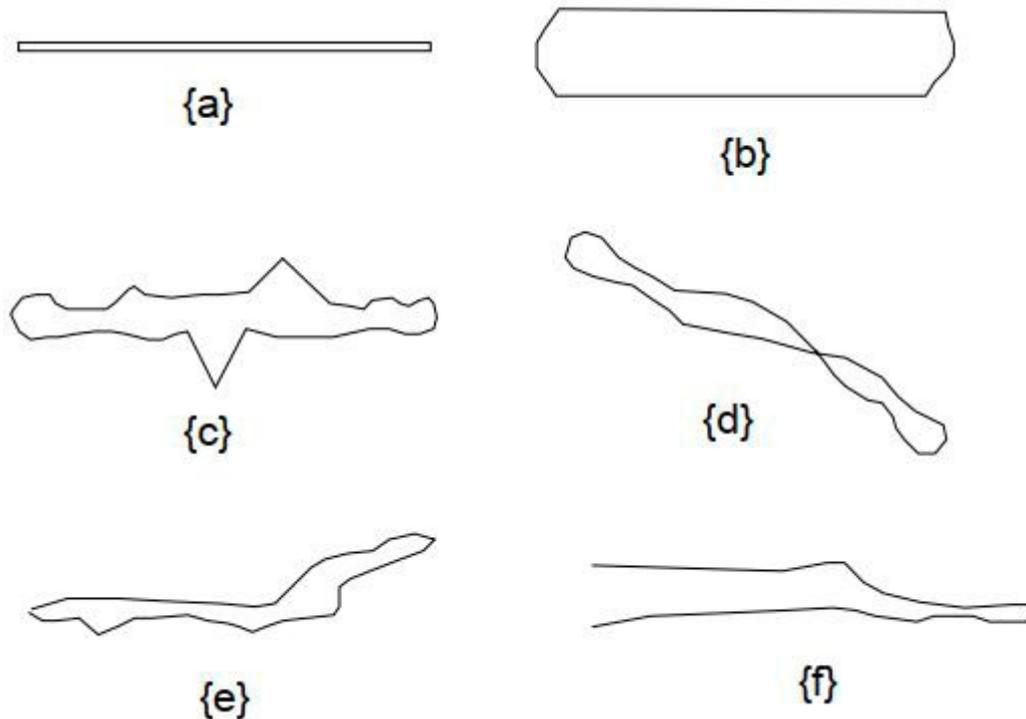
Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.



Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

Ademais, através do Teste de Van de Castele, determina-se a relação entre os diferentes referenciais instrumentais (“zeros” da régua e dos sensores) (DALAZOANA *et al.*, 2005), sendo etapa essencial no processo de correlação de níveis de referência. Na Figura 23, são colocadas as possíveis situações concernentes aos resultados dos gráficos fornecidos pelo Teste, e, em seguida, é feita a descrição de cada uma.

Figura 23 - Possíveis resultados do Teste de Van de Castele



Fontes: 1. DALAZOANA, R. et al. *Controle vertical das RRNN e da posição geocêntrica do marégrafo no Porto de Imbituba*. 2005. Trabalho apresentado no IV Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, realizado em Curitiba, em 2005. Disponível em: <https://artigos.ibge.gov.br/artigos-home/geodesia/2008-2005>. Acesso em: ago. 2021. 2. UNESCO. Intergovernmental Oceanographic Commission. *Manual de medição e interpretação do nível do mar*. Tradução Rita Monteiro, sob a orientação de Armando Fiúza. Paris: IOC, 1985. (Manuais e guias, n. 14, v. 1). Título original: Manual on sea level measurement and interpretation: basic producers. Disponível em: [http://www.psmsl.org/train\\_and\\_info/training/manuals](http://www.psmsl.org/train_and_info/training/manuals). Acesso em: ago. 2021. Adaptada.

Nota: {a} Indica que o marégrafo está perfeito; {b} Indica um atraso na resposta do marégrafo, o qual pode ser causado por problemas no mecanismo de medida ou por obstruções no orifício do tubo do sensor, por mau dimensionamento, ou por atraso de relógio; {c} Indica fricção mecânica no mecanismo do marégrafo ou da boia no tubo; {d} Indica erro de escala possivelmente causado por um mau dimensionamento das engrenagens, do papel registrador, ou do diâmetro do fio da boia, por calibração inadequada da distância em sensores radares para correta conversão de sinais analógicos em digitais, entre outros fatores; {e} Indica erro de escala em parte do registro; e {f} Indica deslizamentos ou saltos no mecanismo do marégrafo.

## Procedimento de nivelamento geométrico científico para controle geodésico de estações maregráficas

As estações maregráficas e seus circuitos de controle são estabelecidos em ambientes portuários extremamente dinâmicos, sempre envoltos em grandes obras para adequações e ampliações para recebimento e escoamento de cargas, ocasionando, muitas vezes, perdas de referências de nível. Sendo assim, é extremamente importante ter um quantitativo mínimo adequado dessas referências.

O manual técnico em Geociências elaborado pelo IBGE (2010) recomenda que os circuitos das estações maregráficas sejam feitos com a seguinte configuração: duas referências de nível em um raio aproximado de 30 m; no mínimo duas outras em um raio aproximado de 100 m; no mínimo duas outras em um raio aproximado de 500 m; e no mínimo três outras em um raio de aproximadamente 1 km. Além disso, dessas nove referências de nível, pelo menos uma e idealmente três deverão ser ocupadas com receptor GNSS de dupla frequência. Além disso, para a otimização dos resultados na ocupação com o receptor, a referência de nível não deverá ter obstruções acima e no seu entorno; e, preferencialmente, deve ser materializada por dispositivos de centragem forçada (DCF) padrão IBGE (IBGE, 2008, p.19-21). Esta alta densidade de referências de nível se justifica pela necessidade de se manter uma estrutura de referência espacial que preserve os resultados dos monitoramentos maregráficos e de rastreamento GNSS.

A metodologia de controle geodésico de estações maregráficas (IBGE, 2010), associada às devidas atualizações incorporadas nas especificações e normas de levantamento geodésico (IBGE, 2017), bem como a inclusão do nível digital de alta precisão resultaram em ganhos de produção e qualidade nas atividades de levantamento geométrico científico. Foram minimizadas as repetições após a análise de fechamento dos circuitos, apesar de se trabalhar com um erro de fechamento de  $1,5\text{mm} \sqrt{D_{km}}$ , artifício esse utilizado para proporcionar, em distâncias um pouco menores que 500 m, um erro esperado de 1 mm (IBGE, 2010), adequado aos circuitos de nivelamento com levantamento utilizando-se instrumental ótico.

Com a metodologia atual (Quadro 3), as especificações da IOC que estabelecem o limite de 1 mm, em 1 km, para a precisão do nivelamento de estações maregráficas (UNESCO, 1994, p. 26; UNESCO, 2002, p. 37; UNESCO, 2006, p. 31) passam a ter suas tolerâncias obedecidas.

**Quadro 3 - Estratégia de nivelamento geométrico científico para controle geodésico de estações maregráficas**

<b>Estratégia de nivelamento geométrico científico para controle geodésico de estações maregráficas</b>	
Objetivo	Controle geodésico de estações maregráficas
<b>Equipamentos</b>	
Equipamento de medição	Nível digital
Precisão nominal do nível	0,3 mm para 1 km de nivelamento duplo com mira de invar
Precisão do compensador	0,3"
Tipo de miras	Mira de Invar
Tripé	Fixo não extensível
<b>Geometria da Rede</b>	
Perímetros máximo dos circuitos	1,5 km
Comprimento máximo das seções	450 m
<b>Medição de desníveis</b>	
Colimação do nível digital (C) - mm/m	Sempre habilitar no equipamento a função de correção da colimação durante o nivelamento
Diferença máxima tolerável entre os comprimentos das visadas de ré e vante, acumulada para a seção	1 m
Comprimento máximo da visada	30 m
Medição de desníveis	Nivelamento duplo (N e CN)
Método de leitura	AFFA (ré-vante-vante-ré) Média de 5 leituras (total 20 leituras)
Valor máximo aceitável para fechamento de circuito	1,5mm.√Km

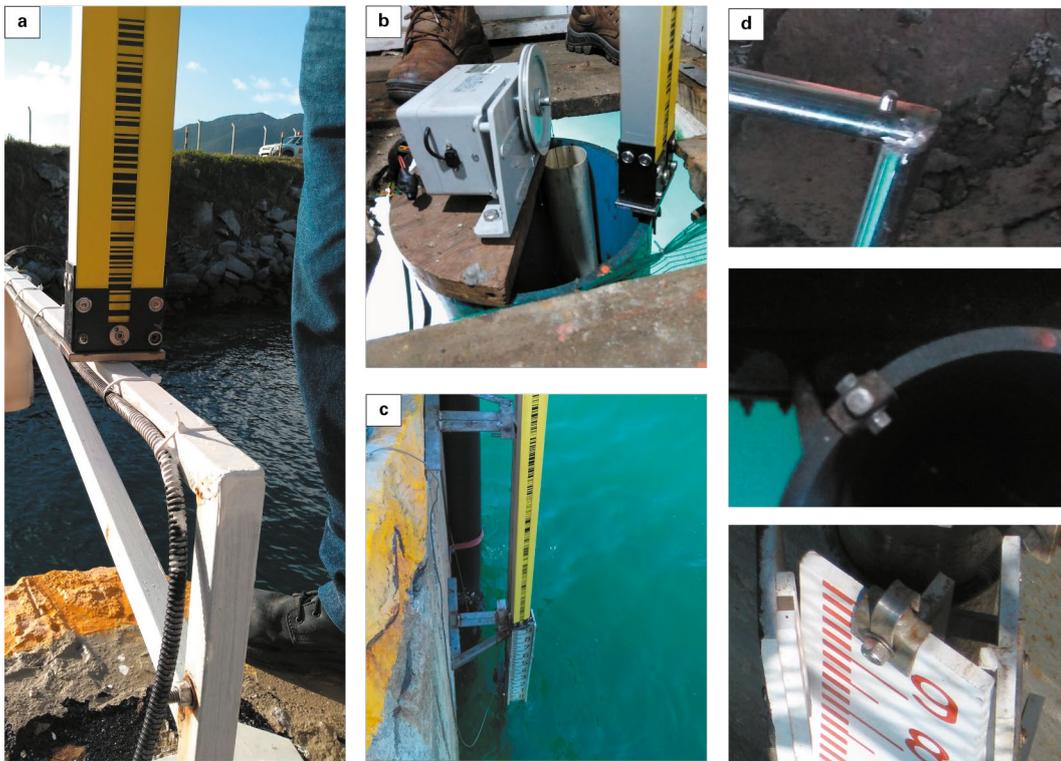
Fonte: IBGE. *Especificações e normas para levantamentos geodésicos associados ao Sistema Geodésico Brasileiro*. Rio de Janeiro, 2017. p. 36-37. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/metodos-e-outros-documentos-de-referencia/normas/16463-especificacao-e-normas-gerais-para-levantamentos-geodesicos-em-territorio-brasileiro.html?edicao=16469&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: ago. 2021. Adaptado.

## Controle dos sensores maregráficos

O controle dos sensores maregráficos (régua de marés, radar e encoder) segue a mesma metodologia apresentada no Quadro 3. Essa conexão é essencial para garantir a qualidade dos dados maregráficos. Existem pinos em cada um dos sensores que são medidos, regularmente, a fim de quantificar possíveis soerguimentos e subsidências que porventura possam afetar os dados maregráficos. Até o momento, o nivelamento geométrico científico é a melhor técnica a ser empregada nesse monitoramento.

A possibilidade de detecção de pequenas alterações na altura da referência do marégrafo com os resultados GNSS pode ser limitada por erros relacionados ao GNSS, os quais podem ser de até vários milímetros, mesmo em uma linha de base de 10 km (TERVO; POUTANEN; KOIVULA, 2007). A Figura 24 exemplifica a medição nos sensores: em **a**, tem-se a medição no suporte do radar; em **b**, na referência do tubo de tranquilização do encoder; em **c**, no topo da régua de maré; e, em **d**, apresenta-se o detalhe dos pinos instalados em cada sensor.

**Figura 24 - Medições dos pontos de controle dos sensores maregráficos**



Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

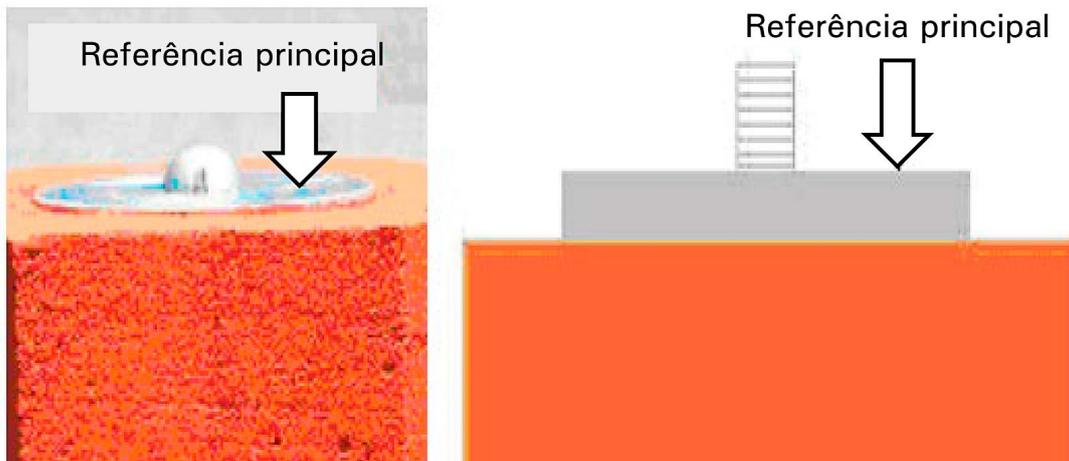
## Conexão de estações SAT ao circuito de nivelamento

Conforme informado no tópico **Procedimento de nivelamento geométrico científico para controle geodésico de estações maregráficas**, algumas referências de nível são ocupadas com receptores GNSS geodésicos, as quais também são identificadas por estações SAT. Essas conexões das referências de nível com as estações SAT são essenciais para a determinação da posição geocêntrica de tais referências, conforme relatado anteriormente. Apesar de parecer trivial essa conexão, quando a marca de referência é diferente da chapa metálica tradicional, pode gerar dúvidas para o operador de nível, o que impacta diretamente o resultado.

Nesses casos, deve-se prestar atenção na medição correta da referência principal e de seus pontos auxiliares, sempre em relação à referência principal, pois o valor de altitude está vinculado a esse ponto. A conexão se dará de acordo com as características do dispositivo de centragem forçada (DCF) da estação SAT:

- DCF padrão UFPR - Conforme descrito no manual técnico em Geociências elaborado pelo IBGE (2010, p. 27), a rosca é incorporada ao pino engastado no pilar (ver Figura 25), cuja face superior é constituída por placa metálica que serve de base ao equipamento geodésico. Assim, três são os pontos de referência obrigatórios para o nivelamento: a placa-base (referência principal - Figura 26), o topo da rosca, e o topo da tampa (referências auxiliares). Para o nivelamento da placa-base e da rosca, a tampa deve ser retirada com chave específica.

Figura 25 - Exemplo de DCF padrão UFPR



Fonte: IBGE. *Instruções técnicas para Controle Geodésico de Estações Maregráficas - CGEM e sua vinculação vertical ao Sistema Geodésico Brasileiro - SGB*. Rio de Janeiro, 2010. (Manuais técnicos em Geociências, n. 11). Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/metodos-e-outros-documentos-de-referencia/revista-e-manuais-tecnicos/15826-manual-tecnico-em-geociencias.html?edicao=16446&t=publicacoes>. Acesso em: ago. 2021. Adaptada.

Figura 26 - Técnico posicionando na mira para medição correta da referência principal sobre a placa-base

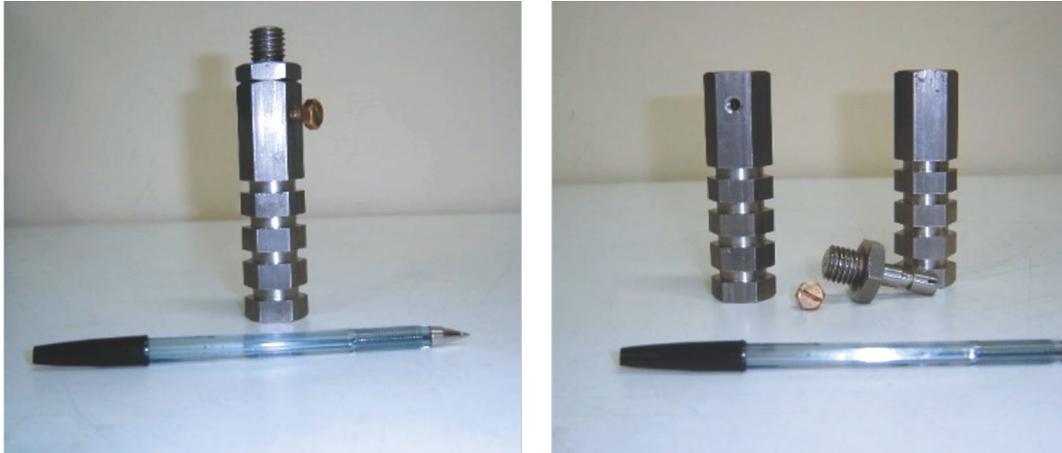


Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

- DCF padrão IBGE - Constituído por pino cilíndrico dotado de “cava” axial na qual se encaixa a peça destacável onde é rosqueado o equipamento geodésico adequado – geralmente, uma antena GNSS (IBGE, 2010). Na Figura 27,

é mostrado esse tipo de pino e seu detalhamento, isto é, a base, a rosca e o parafuso lateral de regulação.

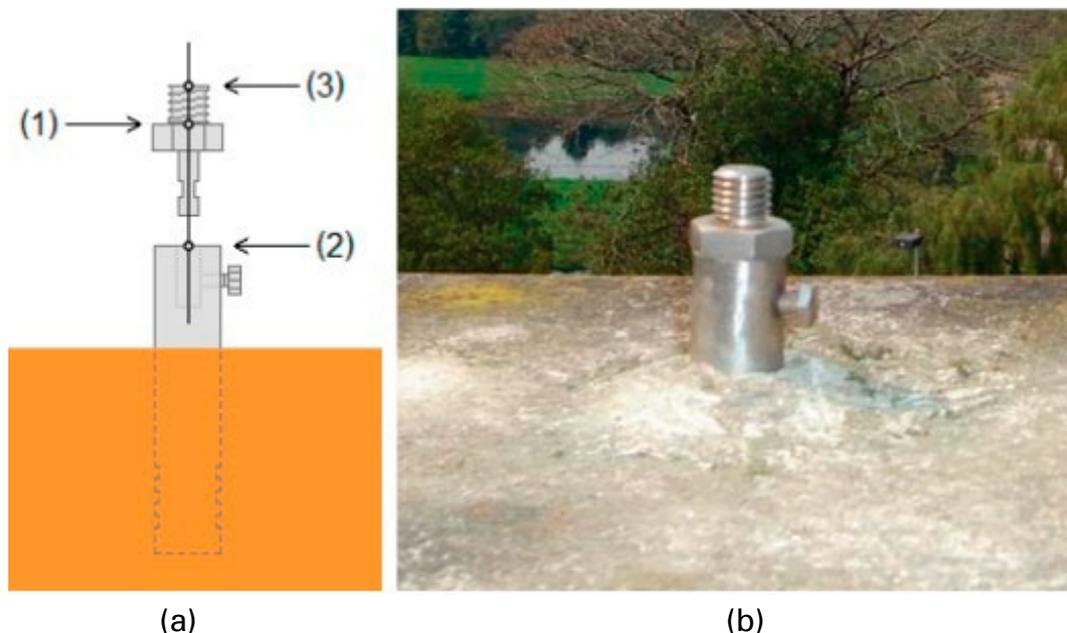
**Figura 27 - Exemplo de DCF padrão IBGE montado e sem a rosca superior**



Fonte: IBGE. *Padronização de marcos geodésicos*. Rio de Janeiro, 2008. Norma de serviço n. 1/2008, da Diretoria de Geociências. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/metodos-e-outros-documentos-de-referencia/normas/16466-padronizacao-de-marcos-geodesicos.html?edicao=16471&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: ago. 2021.

Deve-se prestar atenção ao medir o ponto principal (2), mostrado na Figura 28, pois é necessário retirar a parte móvel que possui um parafuso lateral. A altura da antena para os rastreios GNSS será a diferença entre os pontos (1) e (2). O ponto (3) é apenas um ponto complementar que, uma vez medido, evitará dúvidas sobre o levantamento.

**Figura 28 - Exemplo de DCF do IBGE**

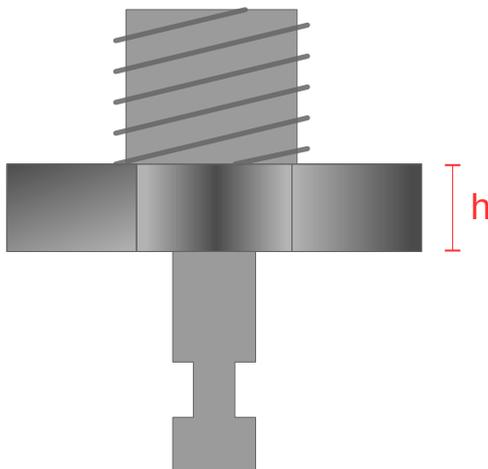


Fonte: IBGE. *Instruções técnicas para Controle Geodésico de Estações Maregráficas - CGEM e sua vinculação vertical ao Sistema Geodésico Brasileiro - SGB*. Rio de Janeiro, 2010. (Manuais técnicos em Geociências, n. 11). Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/metodos-e-outros-documentos-de-referencia/revista-e-manuais-tecnicos/15826-manual-tecnico-em-geociencias.html?edicao=16446&t=publicacoes>. Acesso em: ago. 2021.

Nota: (a) Representação esquemática, com indicação dos pontos de referência principal (2) e auxiliares (1 e 3); e (b) Exemplo instalado em viga.

As Figuras 29 e 30 apresentam, respectivamente, o detalhe da altura a ser considerada nos rastreios GNSS e a medição do ponto de referência principal, a parte não móvel do DCF.

**Figura 29 - Detalhe da altura a ser considerada nos rastreios GNSS**



Fonte: IBGE. *Instruções técnicas para Controle Geodésico de Estações Maregráficas - CGEM e sua vinculação vertical ao Sistema Geodésico Brasileiro - SGB*. Rio de Janeiro, 2010. (Manuais técnicos em Geociências, n. 11). Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/metodos-e-outros-documentos-de-referencia/revista-e-manuais-tecnicos/15826-manual-tecnico-em-geociencias.html?edicao=16446&t=publicacoes>. Acesso em: ago. 2021. Adaptada.

**Figura 30 - Medição correta da referência principal do DCF padrão IBGE, após a retirada da rosca**



Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

- Outros tipos de DCF - Além dos modelos descritos anteriormente, podem ser encontrados outros modelos de DCF, como o apresentado na Figura 31. Nesses casos, deve-se fazer uma análise específica, avaliando cada situação particular, como recomendado no manual técnico em Geociências do IBGE (2010).

**Figura 31 - Exemplo de DCF sem parte móvel**



Fonte: IBGE. *Instruções técnicas para Controle Geodésico de Estações Maregráficas - CGEM e sua vinculação vertical ao Sistema Geodésico Brasileiro - SGB*. Rio de Janeiro, 2010. (Manuais técnicos em Geociências, n. 11). Acompanha 1 CD-ROM. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/metodos-e-outros-documentos-de-referencia/revista-e-manuais-tecnicos/15826-manual-tecnico-em-geociencias.html?edicao=16446&t=publicacoes>. Acesso em: ago. 2021.

Para DCFs sem parte móvel, como o do exemplo mostrado na Figura 32, a referência principal é na aba final da rosca, e o ponto auxiliar é o topo da rosca.

**Figura 32 - Exemplo de medição da referência principal de DCF sem partes móveis**

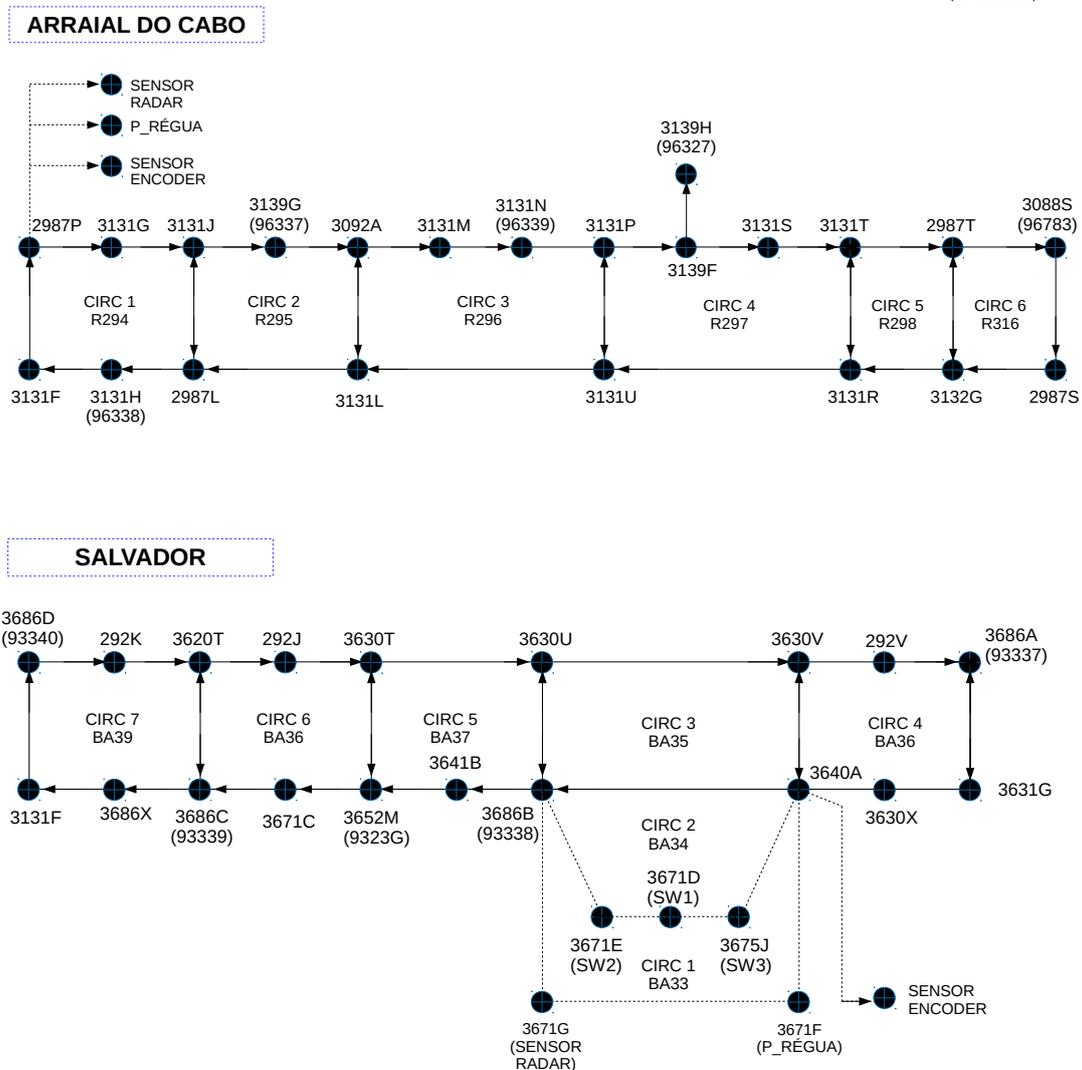


Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

Ao final, são realizados ajustamentos dos circuitos do controle geodésico de estações maregráficas, partindo de referências já existentes no Banco de Dados Geodésicos - BDG do IBGE. O programa utilizado no ajustamento é o GHOST (Geodetic Adjustment using Helmert Blocking of Space and Terrestrial Data), desenvolvido pela Geodetic Survey Division - GSD, do Natural Resources Canada - NRCan e empregado no último reajustamento da rede altimétrica brasileira com números geopotenciais (IBGE, 2019). Esses ajustamentos locais tiveram como intuito minimizar a influência residual da rede completa na região de estudo. A configuração atual dos circuitos de nivelamento das referências de nível utilizadas para o controle geodésico de estações maregráficas nas estações da RMPG é mostrada na Figura 33.

Figura 33 - Esquema dos circuitos da RMPG

(continua)



**Figura 33 - Esquema dos circuitos da RMPG**

(continuação)

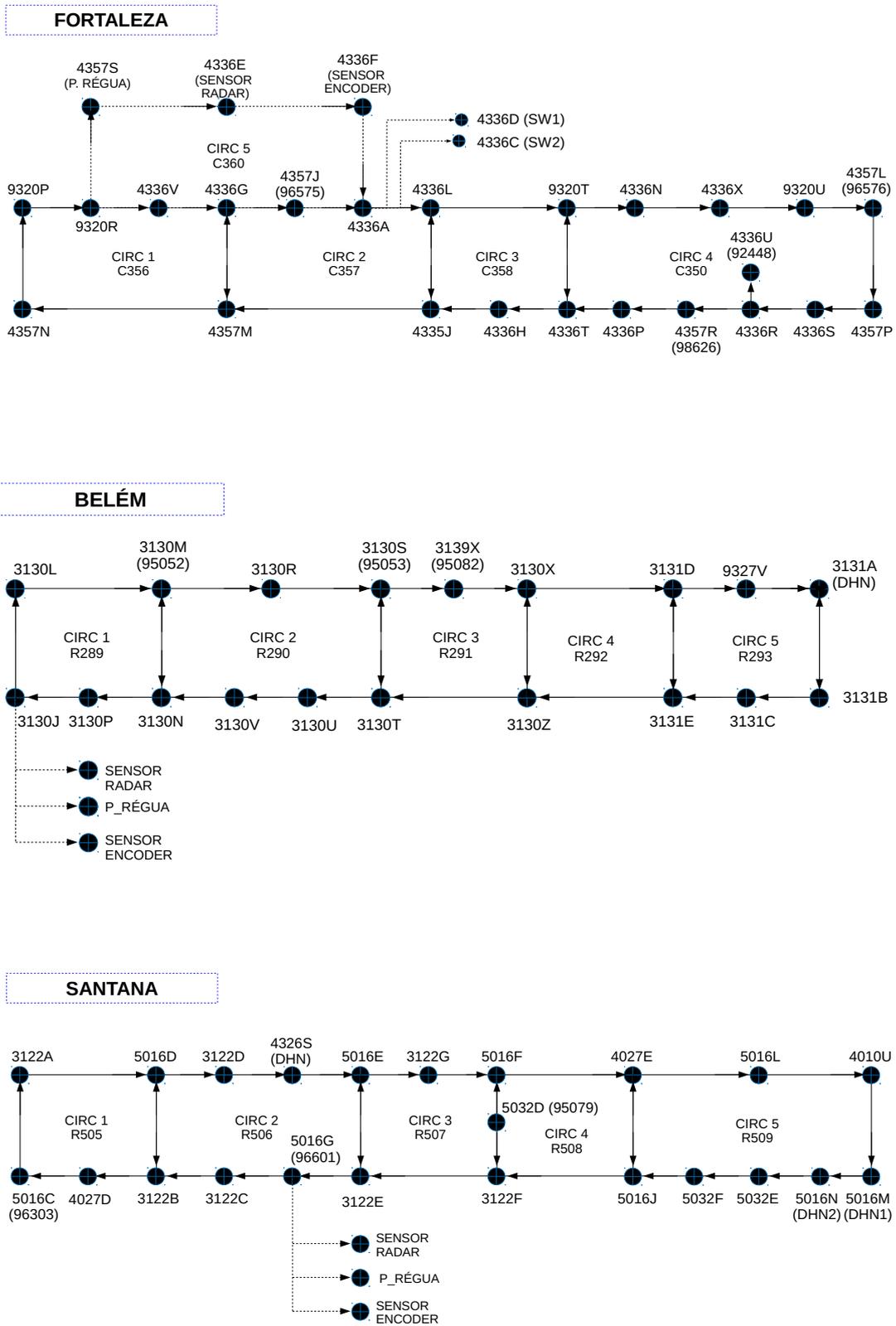
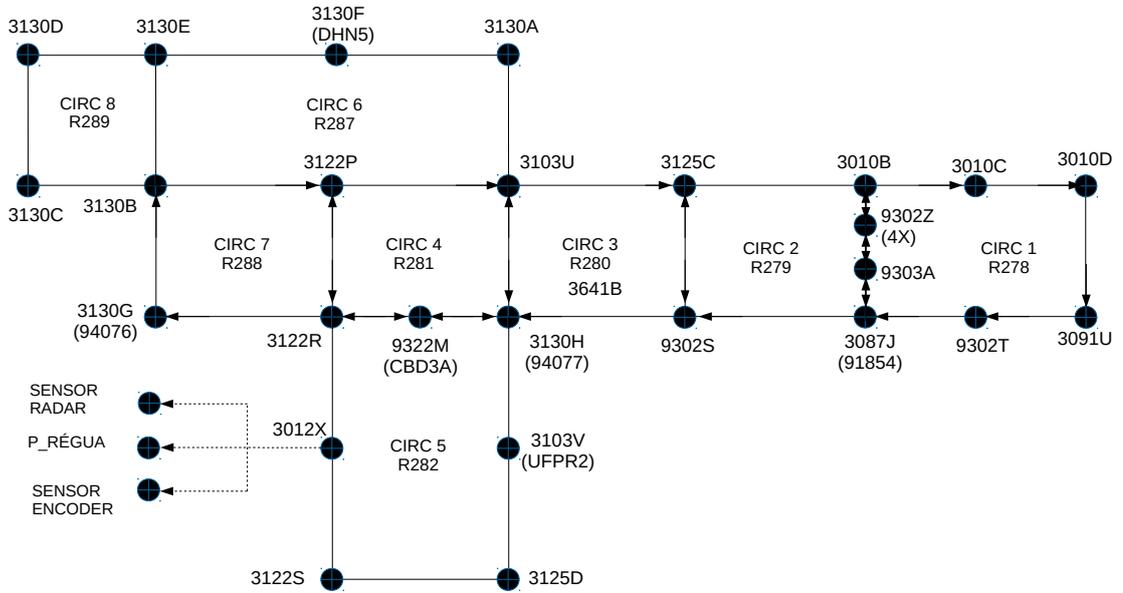


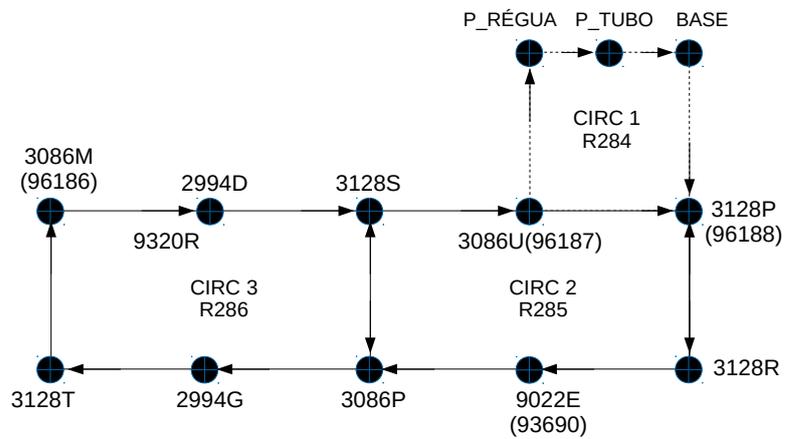
Figura 33 - Esquema dos circuitos da RMPG

(conclusão)

**IMBITUBA**



**MACAÉ**



Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

## Procedimentos para rastreamento e processamento das observações GNSS para controle geodésico de estações maregráficas

Com o advento do GNSS, diversas aplicações que necessitam do conhecimento das coordenadas geodésicas precisas foram beneficiadas, como, por exemplo, a agricultura de precisão, a geodinâmica, o monitoramento estrutural, entre outras (ZUMBERGE *et al.*, 1997; SEEBER, 2003; MONICO, 2008).

No controle geodésico de estações maregráficas, o Teste de Van de Casteele e o nivelamento geométrico científico são complementados com o rastreamento com um receptor GNSS geodésico, essencial para obtenção de variações absolutas, isto é, a variação da posição geocêntrica do nível médio do mar, possibilitando estudos de conexão entre diferentes redes verticais e a correlação com dados oriundos da altimetria por satélite. Além disso, a repetição periódica da atividade possibilita o acompanhamento temporal da própria estrutura onde se encontra a estação CGNSS.

Com a incorporação dos dispositivos de centragem forçada (DCFs) aos circuitos de nivelamento, erros de centragem e altura da antena foram minimizados, contribuindo para um melhor controle da conexão das séries temporais. Na Figura 34, observa-se o rastreamento GNSS dos dispositivos implantados na Estação Maregráfica de Imbituba (SC).

Figura 34 - Rastreamento nos DCFs em Imbituba (SC)



Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

O processo de medição está de acordo com as especificações e normas de levantamento geodésico definidas em manual elaborado pelo IBGE (2017, p. 25), seguindo a metodologia de rastreamento GNSS para vincular as referências de nível dos circuitos de nivelamento do controle geodésico de estações maregráficas à estação pertencente à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo - RBMC (CGNSS).

Entretanto, a solução final desenvolvida no presente estudo, para acompanhamento de longo prazo, difere um pouco das especificações nos casos em que a estação da RBMC encontra-se numa distância inferior a 10 km. Nestes casos, adotou-se o posicionamento relativo estático, sendo as coordenadas da estação da RBMC oriundas das soluções semanais SIRGAS-CON (SISTEMA DE REFERÊNCIA GEOCÊNTRICO PARA AS AMÉRICAS, [2021]), já que a época do levantamento é essencial para a análise temporal. A Tabela 1 traz as distâncias entre as estações da RBMC e da RMPG.

**Tabela 1 - Distância aproximada entre as estações da RBMC e da RMPG**

Local	Estações da RBMC	Distância até a estação da RMPG (m)
Imbituba (SC)	IMBT	657
Santana (AP)	APS1	240
Fortaleza (CE)	CEFT	605
Salvador (BA)	SSA1	157
Belém (PA)	BELE	5 280
Arraial do Cabo (RJ)	RJCG	150 000

Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

Para a Estação Maregráfica de Arraial do Cabo (RJ), distante 150 km de uma estação da RBMC, a solução adotada inicialmente foi o posicionamento por ponto preciso, sendo posteriormente substituído pelo posicionamento relativo estático, utilizando-se uma estação SAT implantada no Porto do Forno e pertencente ao Banco de Dados Geodésicos - BDG do IBGE. Estudos comparativos dos dois métodos (posicionamento por ponto preciso e posicionamento relativo) apresentados em Almeida e Dal Poz (2016) e Zanetti, Veiga e Oliveira Júnior (2020) apontam que o método de posicionamento relativo ainda é a melhor opção de posicionamento GNSS em termos de acurácia posicional, corroborando a escolha dessa técnica.

Apesar de fazer parte dos planos, ainda não foi possível a implantação da estação GNSS contínua em Arraial do Cabo (RJ) devido a questões alheias à técnica. O pilar já se encontra pronto (Figura 35), em posição que atende às necessidades da RMPG e possibilita apoio a estudos sobre reflectometria GNSS para o monitoramento do nível do mar (NIEVINSKI; MONICO; SILVA, 2013; LARSON *et al.*, 2013).

Figura 35 - Estação SAT 96327



Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

Os dados GNSS coletados e processados nas estações de conexão SAT/RN são oriundos de levantamentos de longos períodos, aproximadamente seis horas, o que atende à finalidade de conexão descrita anteriormente, pois, apesar de as componentes planimétricas (latitude e longitude) convergirem rapidamente nessas distâncias curtas, a componente altimétrica continua sendo um desafio.

Ademais, nesse tipo de levantamento de bases curtas, isto é, inferiores a 10 km, optou-se por negligenciar os efeitos atmosféricos na propagação dos sinais GNSS ao passar pelas camadas da atmosfera, pressupondo que as influências da ionosfera e da troposfera são minimizadas em aplicações GNSS de alta precisão via diferenciação, quando se emprega o método de posicionamento relativo (SEEBER, 2003, p. 315; WERLICH; KRUEGER; HUINCA, 2012). Detalhes sobre essa estratégia são apresentados no Quadro 4.

Essa etapa ocorreu com o auxílio do *software* Leica Infinity. A partir dos resultados do processamento, obtém-se desníveis ajustados que melhor definem a posição da estação CGNSS em relação às estações SAT, possibilitando a conexão da estação maregráfica a uma referência absoluta com precisão esperada melhor que 1 cm.

**Quadro 4 - Estratégia de processamento GNSS para controle geodésico de estações maregráficas**

Estratégia de rastreamento GNSS para controle geodésico de estações maregráficas	
Objetivo	Vincular as referências de nível dos circuitos de nivelamento do controle geodésico de estações maregráficas à estação da RBMC
Tipo de equipamento	Geodésico
Tempo de observação (horas/sessão)	6
Número de sessões	4
Taxa de coleta	15 segundos
Máscara de elevação	10°
Altura da antena	Vertical
Orientação da antena	Norte
Fixação da antena	Pino de centragem forçada
Estratégia de processamento GNSS para controle geodésico de estações maregráficas	
Coordenadas da estação de referência da RBMC	Coordenadas semanais Sirgas-CON
Solução do processamento	Fixa
Tipo de levantamento	Relativo estático
Correção do centro de fase da antena	IGS
Constelação GNSS	GPS/GLONASS
Efemérides	Precisas
Modelo troposférico	-
Modelo ionosférico	-
Observáveis	L1/L2
Máscara de elevação	10°

Fonte: IBGE. *Especificações e normas para levantamentos geodésicos associados ao Sistema Geodésico Brasileiro*. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/metodos-e-outros-documentos-de-referencia/normas/16463-especificacao-e-normas-gerais-para-levantamentos-geodesicos-em-territorio-brasileiro.html?edicao=16469&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: ago. 2021. Adaptado.

## Compatibilização dos sistemas de maré permanente

As deformações elásticas da crosta (marés terrestres) e o deslocamento de partículas líquidas (marés oceânicas), sob a ação gravitacional dos astros perturbadores, principalmente da Lua e do Sol, são de grande relevância para as determinações geodésicas de alta precisão (GEMAEL, 2012, p. 283).

Os efeitos das forças de maré em uma terra rígida podem ser calculados a partir das efemérides da Lua, do Sol e dos planetas, onde a Terra sólida reage àquelas forças como um corpo elástico, produzindo deformações no corpo planetário, ocasionando redistribuição de massas e, conseqüentemente, alterações no valor do geopotencial (TORGE; MÜLLER, 2012, p. 375). Parte dessas deformações não apresenta comportamento periódico, mas, sim, permanente, e o tratamento destes efeitos envolve três diferentes sistemas de maré permanente, conforme descrito a seguir (EKMAN, 1989; IHDE; MÄKINEN; SACHER, 2008):

- Sistema livre de maré (*tide-free*): busca eliminar totalmente os efeitos das deformações permanentes pelas forças de maré nos levantamentos, posição e

potencial, e considera como se o Sol e a Lua não existissem ou fossem trasladados artificialmente ao infinito. As coordenadas calculadas no processamento GNSS, geralmente, estão referidas a um sistema livre de maré. São exemplos os sistemas de referência ITRF e SIRGAS;

- Sistema de maré média (*mean tide*): considera o efeito médio da maré permanente e os respectivos efeitos diretos e indiretos no potencial e nas posições determinadas, e elimina todos os efeitos das componentes periódicas. São exemplos as redes de nivelamento;
- Sistema de maré zero (*zero tide*): mantém a deformação permanente do potencial gravitacional do planeta, também chamado efeito indireto. Os efeitos diretos sobre a crosta e o potencial são eliminados. São exemplos os trabalhos de gravimetria e os modelos globais do geopotencial.

Vale destacar que os dados oriundos dos levantamentos GNSS são referidos ao sistema livre de maré permanente, e as altitudes do nivelamento, ao sistema de maré média. Para uma correta comparação entre os levantamentos, os dados precisam ser compatibilizados para um mesmo sistema de maré permanente (MOREIRA; FREITAS, 2016; SANTANA, 2020). Negligenciar essa compatibilização pode resultar em análises equivocadas, porque, globalmente, as diferenças entre os sistemas podem alcançar 20 cm para altitudes definidas entre os sistemas de maré média e maré zero; 14 cm para aquelas definidas entre os sistemas de maré média e livre de maré; e 6 cm para as definidas entre os sistemas de maré zero e livre de maré (TENZER *et al.*, 2011).

As deformações na crosta e no potencial causadas pelas forças de maré podem ser representadas aplicando-se os coeficientes de proporcionalidade chamados Números de Love sobre o potencial de maré de uma Terra rígida. Os adimensionais Números de Love (ou Love-Shida)  $k_n$ ,  $h_n$  e  $l_n$  são funções da densidade e dos parâmetros de Lamé (compressibilidade e rigidez) e dependem do grau de desenvolvimento das funções harmônicas esféricas. De forma geral, o termo dominante de grau 2 elimina grande parte dos efeitos, para um modelo de Terra esférica com manto sólido, núcleo externo líquido e núcleo interno sólido, como, por exemplo, o modelo de referência preliminar da Terra (TORGE; MÜLLER, 2012, p. 376).

Ainda de acordo com as orientações da Associação Internacional de Geodésia - AIG, no âmbito da Resolução n. 1 que trata do International Height Reference System - IHRS e do International Height Reference Frame - IHRF (International Association of Geodesy, 2015), parâmetros, observações e dados devem ser relacionados ao sistema de maré média. Sendo assim, as conversões entre as altitudes ( $H$ ) dos resultados do rastreamento GNSS são compatibilizados com o nivelamento geométrico, através da Equação 4 (TENZER *et al.*, 2011).

$$H_{\text{maré média}} = H_{\text{livre de maré}} - (1 + k_n - h_n) \left[ -0,198 \left( \frac{3}{2} \text{sen}^2 \varnothing - \frac{1}{2} \right) \right] \quad (4)$$

Onde:

$k_n$  e  $h_n$  são os Números de Love que, para o termo de grau 2, correspondem a  $k_2 = 0,3$ ,  $h_2 = 0,6$  e  $\varnothing$  é a latitude geocêntrica.

Para relacionar as latitudes geodésicas ( $\varphi$ ) e geocêntricas ( $\emptyset$ ), aplica-se a Equação 5 (TORGE; MÜLLER, 2012, p. 94):

$$\tan \emptyset = (1 - \epsilon^2) \tan \varphi \quad (5)$$

Onde:

$$\emptyset = \tan^{-1}(1 - f)^2 \tan \varphi \quad (6)$$

$\epsilon^2$  corresponde à primeira excentricidade, e  $f$ , ao achatamento, sendo o elipsoide de referência deste trabalho o GRS80.

## Apresentação dos resultados

Neste tópico, são apresentados os resultados dos processamentos das observações maregráficas e das atividades do controle geodésico de estações maregráficas, culminando com as fichas de correlação de níveis de cada estação atualizadas com as séries temporais ajustadas ao sensor primário radar, exceto a Estação Maregráfica de Macaé (RJ) que teve a sua série temporal referida ao sensor de pressão.

### Observações maregráficas

Os resultados das observações maregráficas foram subdivididos nos seguintes tópicos: análise harmônica e resíduos, detecção de saltos, deriva instrumental, análise dos resíduos anuais, níveis médios do mar mensais, e variação do nível médio do mar, descritos no tópico **Processamento e análise das observações maregráficas**.

### Análise harmônica e resíduos

A análise dos conjuntos anuais de resíduos permite não só selecionar o ano com observações mais consistentes para servir de referência a toda série, como também apontar possíveis saltos ou ruídos (por exemplo, influências meteorológicas, mudança de posição do sensor) que podem ser apresentados na série maregráfica. Adicionalmente, apresenta o comportamento preliminar da tendência, possibilitando analisar a série de forma ampla, identificando, assim, as características das marés observadas e possíveis inconsistências. Vale ressaltar que essa etapa é diferente da comparação preliminar entre observação e previsão gerada pelo SLP64 para cada ano; trata-se, portanto, do processo realizado pelo SLPLAC na série geral.

A determinação das constantes harmônicas das componentes de maré para cada estação maregráfica possibilita realizar as aplicações não só para o cálculo da previsão, como também para os seus níveis de referência, tais como: o nível médio das preamares e baixa-mares de sizígia e quadratura, os níveis de redução de sondagens, e o número de forma da maré. Os registros longos e íntegros proporcionam maior precisão na determinação dos citados níveis de referência.

No que se refere ao número de forma da maré ( $f_m$ ) e, conseqüentemente, à sua classificação, a Tabela 2 apresenta os resultados tocantes às estações da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia - RMPG provenientes das constantes harmônicas de amplitude das componentes M2, S2, K1 e O1. Adicionalmente, são apresentados, na citada tabela, os valores das amplitudes máximas astronômicas de maré para o período de sizígia e quadratura. Informações mais detalhadas sobre as fórmulas utilizadas para o cálculo dos valores apresentados podem ser encontradas em Franco (2009, p. 261).

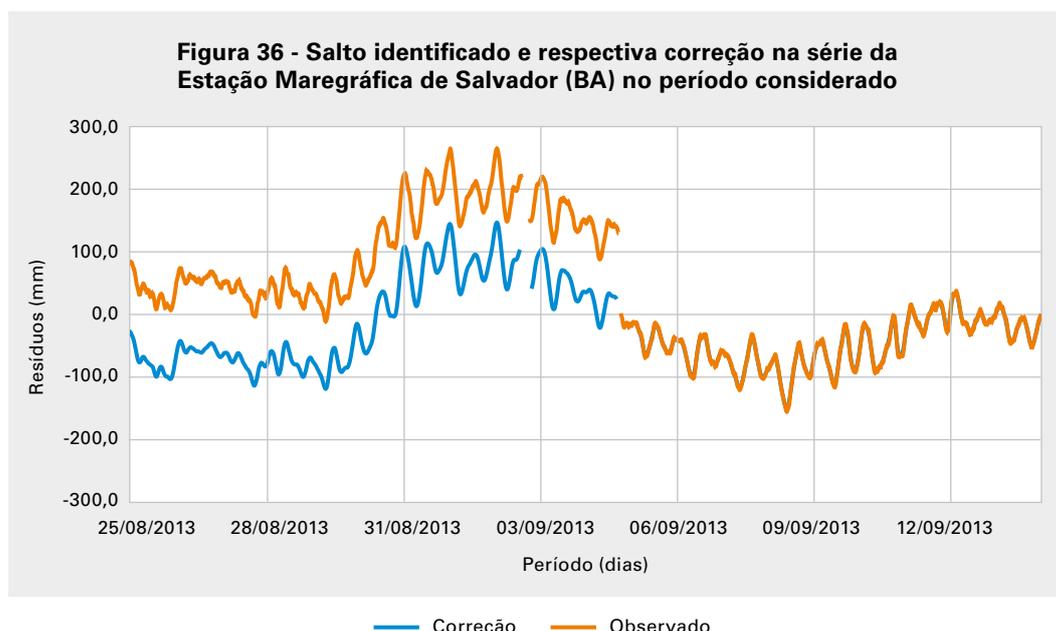
**Tabela 2 - Amplitude, número de forma e classificação da maré, segundo as estações maregráficas**

Estação Maregráfica	Amplitude máxima de maré (m)		Valor de $f_m$	Classificação
	Sizígia	Quadratura		
Imbituba (SC)	0,44	0,08	0,69	Maré semidiurna com desigualdades diurnas
Arraial do Cabo (RJ)	0,66	0,20	0,33	Maré semidiurna com desigualdades diurnas
Macaé (RJ)	0,75	0,24	0,29	Maré semidiurna com desigualdades diurnas
Salvador (BA)	1,25	0,49	0,11	Maré semidiurna
Fortaleza (CE)	1,39	0,63	0,11	Maré semidiurna
Belém (PA)	1,73	0,82	0,13	Maré semidiurna
Santana (AP)	1,63	0,79	0,16	Maré semidiurna

Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

## Detecção de saltos

A fim de obter uma série íntegra dos dados de nível do mar, as descontinuidades na série foram minuciosamente analisadas. Utilizando-se os dados históricos do controle geodésico de estações maregráficas e os resultados dos resíduos da comparação dos dados observáveis com suas respectivas previsões, ajustes foram realizados para correlacionar os dados históricos ao referencial atual. Falha do tipo identificada por Ribas Junior e outros (2021), de 12 cm em 2013, na Estação Maregráfica de Salvador (BA) foi corrigida com a recombinação de sensores. Com a correção de saltos, foi possível recuperar a série histórica da Estação Maregráfica de Santana (AP) que possui diversas mudanças de posição ao longo do tempo, conforme explicitado no tópico **Histórico dos Testes de Van de Casteele**. Na Figura 36, observa-se a correção de salto na Estação Maregráfica de Salvador (BA) em 2013.



Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

Essas mudanças de referencial ocorrem quando o sensor ou o local onde ele se encontra passam por algum tipo de manutenção, como, por exemplo, desobstrução do tubo tranquilizante. Estes eventos são mais comuns em sensores que necessitam de um contato direto com a água, como os do tipo encoder e de pressão. Sensores do tipo radar tendem a manter a estabilidade posicional por longos períodos, pois sua fixação é feita sobre o píer e sem contato direto com a água. As séries com as correções dos saltos estão disponíveis na página da RMPG, no portal do IBGE.

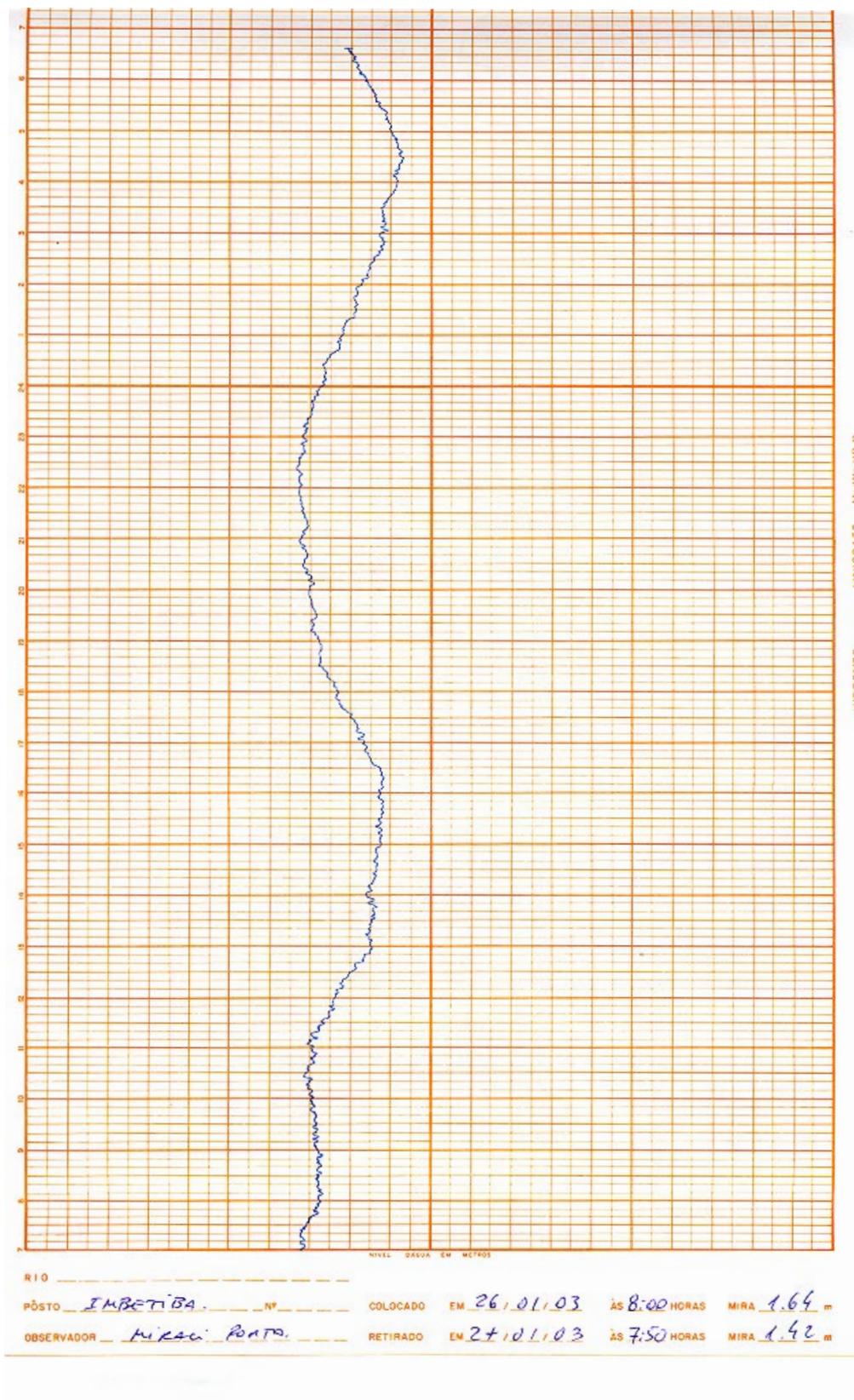
## Deriva instrumental

As questões relacionadas às derivas identificadas nos sensores de pressão nos estudos do IBGE (RELATÓRIO..., 2013; ANÁLISE..., 2016) foram mantidas, pois o problema foi identificado com grande influência em Macaé (RJ) e Imbituba (SC). A análise consistiu em comparações entre os dados de colocação/retirada de maregramas, em que o operador anotava o valor no nível lido na régua de marés e os valores oriundos dos sensores digitais. Esses maregramas encontram-se disponíveis na página da RMPG, no portal do IBGE<sup>3</sup>.

A Figura 37 mostra um exemplo de maregrama utilizado nas estações maregráficas.

<sup>3</sup> Para informações mais detalhadas, consultar o endereço: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/rede-geodesica/10842-rmpg-rede-maregrafica-permanente-para-geodesia.html?edicao=16277&t=downloads>.

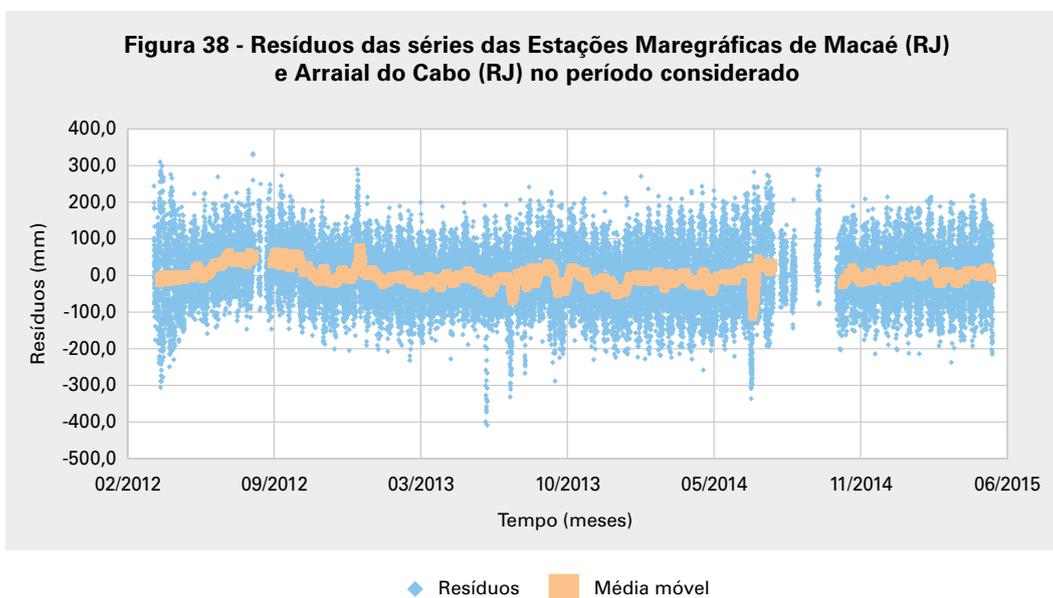
Figura 37 - Maregrama da Estação Maregráfica de Macaé (RJ) nas datas consideradas



Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

O sensor de pressão para a Estação Maregráfica de Imbituba (SC) foi substituído por um sensor encoder no ano de 2013. Em 2016, duas novas plataformas de coleta de dados independentes com sensores do tipo radar foram instaladas em Imbituba (SC) pela Universidade Federal do Rio Grande - FURG e pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina - EPAGRI, contribuindo para a identificação de problemas relacionados à deriva e a saltos. A Estação Maregráfica de Macaé (RJ) foi desativada em 2015.

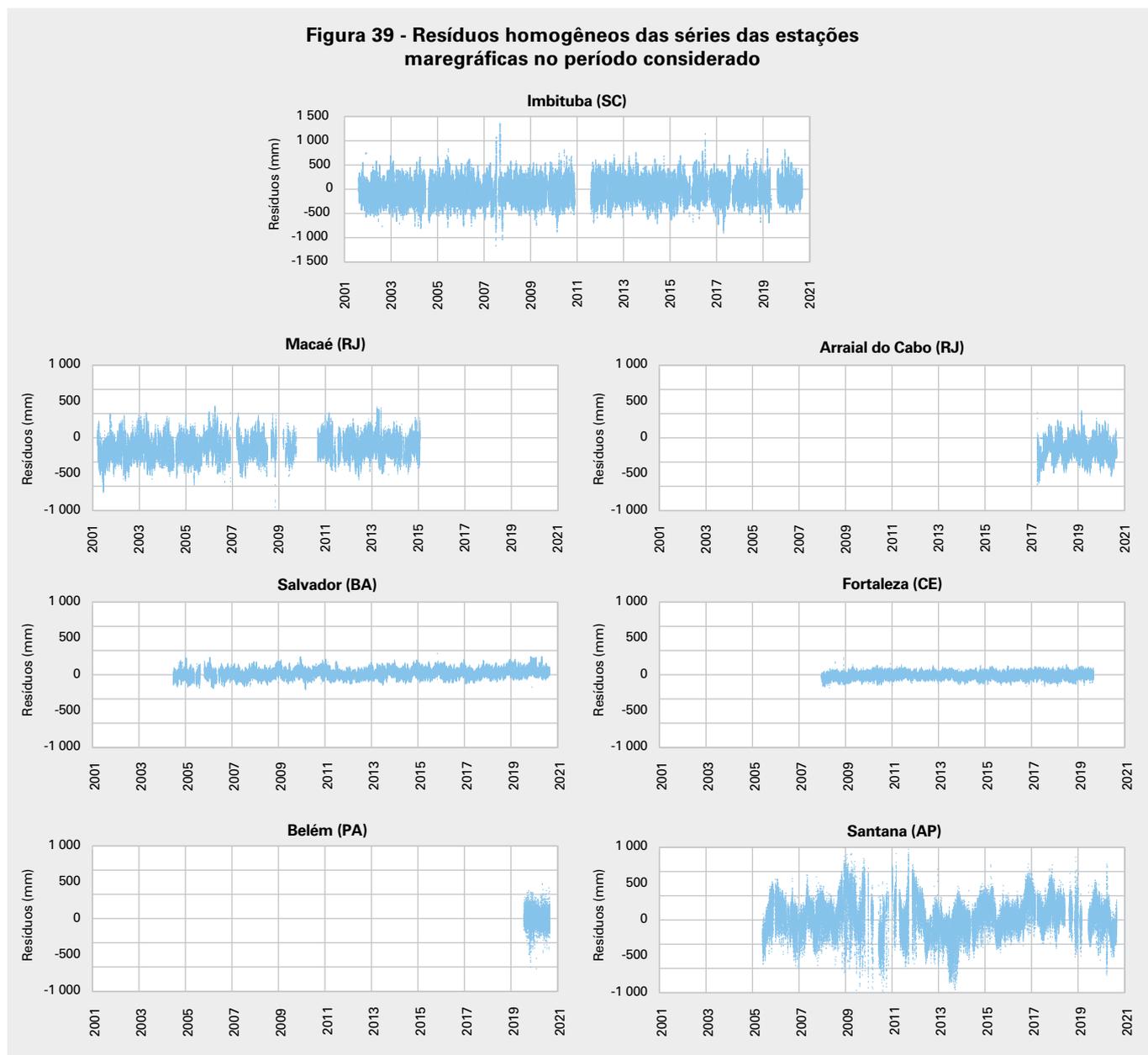
A partir da investigação da anomalia na Estação Maregráfica de Macaé (RJ) (SANTOS, 2010), os estudos do IBGE (RELATÓRIO..., 2013; ANÁLISE..., 2016) confirmaram a deriva, sendo aplicada, no estudo de 2016, uma correção para os dados. A fim de avaliar a qualidade da correção aplicada na Estação Maregráfica de Macaé (RJ), analisou-se o período comum de atividade na Estação Maregráfica de Arraial do Cabo (RJ) do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira - IEAPM, distante, aproximadamente, 70 km de Macaé. Os resíduos dos dados observados foram correlacionados com o intuito de identificar saltos, falhas, derivas, entre outros aspectos. A Figura 38 resume os resultados dessa correlação entre as séries temporais. Para o período analisado, identificaram-se algumas divergências que foram devidamente discretizadas. Os resultados apontaram para eventos de curta duração local (frente frias). A taxa de tendência aproxima-se de um resultado em que o marégrafo apresenta boas condições quando realizado o Teste de Van de Castele, visto anteriormente, o que corrobora a confiabilidade da série corrigida de Macaé (RJ).



Fontes: 1. IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia. 2. Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira - IEAPM.

## Análise dos resíduos anuais

As diferenças entre a previsão, gerada a partir da análise das componentes harmônicas de melhor aderência, e os níveis observados resultam nos resíduos homogêneos para cada período. A Figura 39 mostra esses resíduos.



Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

Na série de Imbituba (SC), observam-se sinais pontuais de efeitos meteorológicos acentuados que precisarão ser discretizados futuramente, a fim de avaliar a correlação desses sinais com eventos meteorológicos extremos na região.

Arraial do Cabo (RJ) e Belém (PA) são séries consideradas curtas, com período menor que cinco anos. No caso de Arraial do Cabo (RJ), pode-se ter uma ideia preli-

minar do comportamento da série, dada sua semelhança com a série de Macaé (RJ). Observa-se que ambas as séries estão em faixas próximas de valores, no entanto ainda não se pode garantir a tipicidade do seu comportamento. No caso de Belém (PA), cuja série tem apenas um ano de observação, nota-se uma variação pronunciada com períodos mais ruidosos. Nesse caso, deve-se atentar para o fato de a localização da estação maregráfica estar em região de estuário, o que causa comportamentos diferenciados às marés.

A série referente a Santana (AP) passou por um tratamento mais rigoroso que permitiu estimar a sua tendência, bem como os níveis médios mensais. No entanto, ficam evidentes, na Figura 39, os sinais causados por efeitos meteorológicos. Ademais, tem-se o fato de o pacote SLP64 não ser adequado ao tratamento desse tipo de série, dada sua peculiaridade em decorrência da região estuarina, onde o comportamento da maré apresenta forte influência da vazão fluvial. Dessa forma, a referida série ainda precisa de tratamento mais rigoroso, condizente com a sua realidade. Outros pacotes de programas foram testados a fim de suprir essa demanda, como, por exemplo, o PACMARÉ (FRANCO, 2009), no entanto não foi possível realizar a análise harmônica de longos períodos nesse programa em virtude da ausência de dados em determinados períodos.

As séries de Salvador (BA) e Fortaleza (CE) mostram um comportamento homogêneo dos resíduos com poucos pronunciamentos de efeito meteorológicos. São séries bastante estáveis, tanto na questão de coleta de dados quanto na variação do nível médio do mar.

## Níveis médios do mar mensais

Os resultados obtidos na etapa descrita no tópico **Determinação dos níveis médios e da tendência** são apresentados neste tópico, ou seja, trata-se do processamento dos arquivos diários de observação do nível do mar que foram transformados em arquivos anuais com informações horárias e, ao fim de todo o processo, resultaram nos níveis médios mensais e na média do período contemplado por cada série. A Tabela 3 contém as médias mensais sumarizadas em períodos anuais totais e comuns das séries. A Figura 40 apresenta as médias mensais e a linha de tendência das séries. As médias mensais são apresentadas no apêndice, ao final desta publicação. Os valores constantes na Tabela 3 e no apêndice são referentes ao zero do sensor primário. Para fazer as devidas correlações com outros referenciais e até mesmo com o Sistema Geodésico Brasileiro - SGB (Figura 19), deve-se utilizar as informações contidas nas fichas de correlação de níveis disponíveis na página da RMPG, no portal do IBGE.

É importante ressaltar que a vinculação dos níveis médios ao SGB resulta em alguns níveis com valores negativos. Isso é plenamente aceitável, pois, diferentemente do nível de redução informado pela Diretoria de Hidrografia e Navegação - DHN, da Marinha do Brasil – que normalmente corresponde ao nível médio das baixa-mares de sizígia, atendendo à finalidade de segurança da navegação, sendo rara a ocorrência de marés abaixo dele (MIGUENS, 1996) –, o SGB possui como referência para grande parte das altitudes da Rede Altimétrica de Alta Pre-

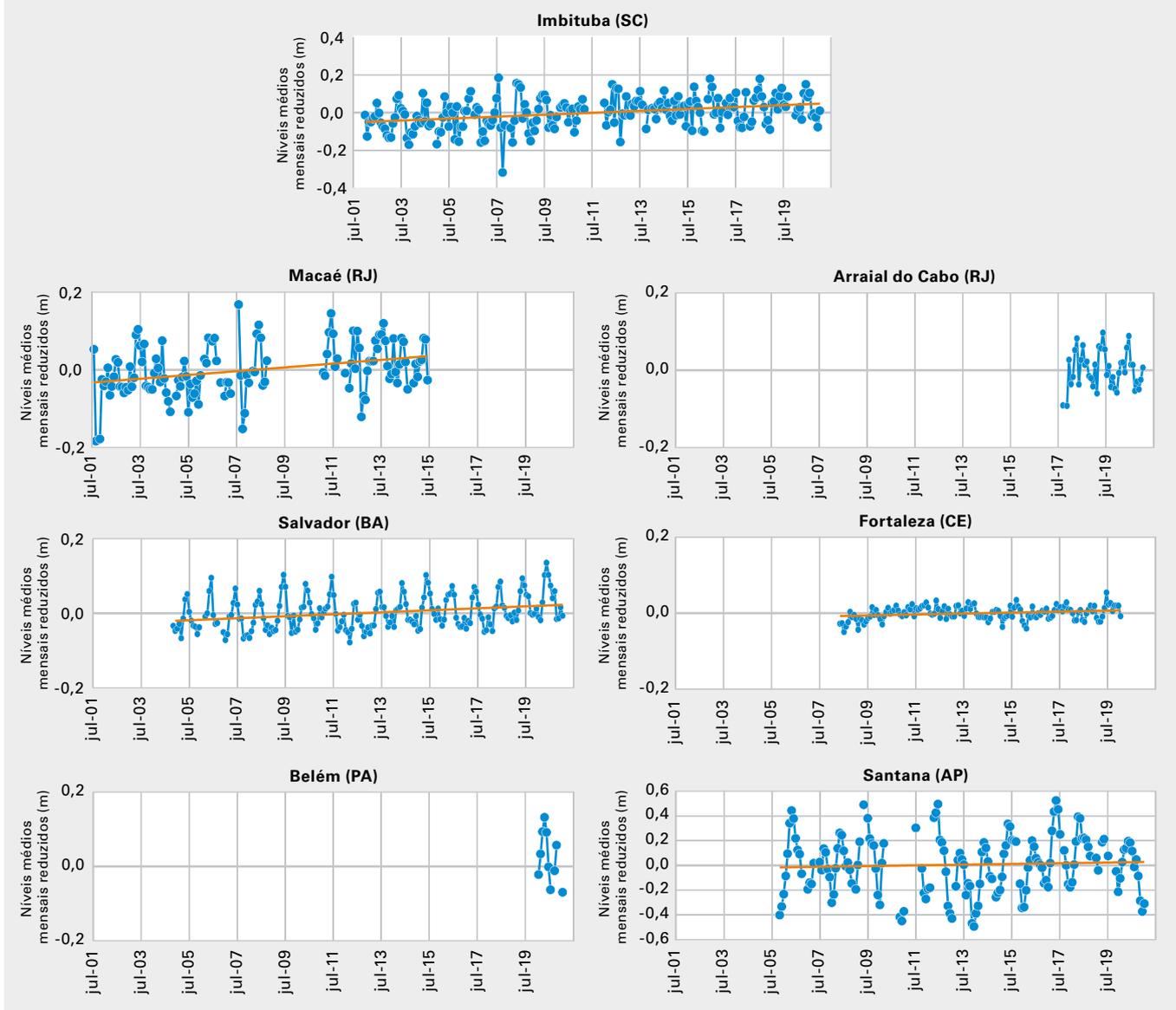
cisão - RAAP o *Datum* de Imbituba (SC), isto é, o nível médio do mar no Porto de Imbituba (SC) entre 1949 e 1957. Para o Estado do Amapá, o *Datum* de referência é o de Santana (AP), definido pelo nível médio do mar no Porto de Santana (AP) entre 1957 e 1958. Assim, os níveis médios do mar locais podem estar acima ou abaixo dos níveis de referência do SGB em certos períodos.

**Tabela 3 - Médias mensais sumarizadas do nível do mar, segundo as estações maregráficas da RMPG no período considerado**

Estação maregráfica	Período	Média (m)	Desvio padrão (m)
Imbituba (SC)	12/2001 - 12/2020	1,580	0,081
	04/2008 - 12/2015	1,597	0,069
	04/2008 - 12/2020	1,602	0,071
Macaé (R)	07/2001 - 05/2015	1,341	0,071
	04/2008 - 12/2015	1,364	0,060
	04/2008 - 12/2020	-	-
Arraial do Cabo (RJ)	08/2017 - 12/2020	1,780	0,048
	04/2008 - 12/2015	-	-
	04/2008 - 12/2020	-	-
Salvador (BA)	10/2004 - 12/2020	7,284	0,044
	04/2008 - 12/2015	7,282	0,044
	04/2008 - 12/2020	7,289	0,044
Fortaleza (CE)	04/2008 - 12/2019	6,343	0,017
	04/2008 - 12/2015	6,342	0,017
	04/2008 - 12/2020	-	-
Belém (PA)	12/2019 - 12/2020	3,603	0,075
	04/2008 - 12/2015	-	-
	04/2008 - 12/2020	-	-
Santana (AP)	10/2005 - 12/2020	2,550	0,232
	04/2008 - 12/2015	2,522	0,257
	04/2008 - 12/2020	2,554	0,237

Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia

**Figura 40 - Níveis médios mensais, segundo as estações maregráficas da RMPG no período considerado**



Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

Foram acrescentados cinco anos de observações às séries das estações maregráficas em relação ao estudo anterior realizado pelo IBGE (ANÁLISE..., 2016). Essa quantidade de dados conferiu às séries a possibilidade de análises mais consistentes, notadamente aquelas que têm um período próximo a 18,6 anos. Apesar de algumas séries apresentarem ausência de observações ou dados que são de difícil recuperação por meios convencionais, existem, atualmente, novas possibilidades de preenchimento dessas informações, como, por exemplo, as modelagens com previsões e dados de altimetria por satélite.

A série de Salvador (BA) teve uma significativa melhora temporal, passando a ter 16 anos de observação praticamente ininterrupta. As outras séries que também

seguiram nesse aumento temporal significativo foram Imbituba (SC), com 19 anos, e Santana (AP), com 15 anos. Os resultados da Estação Maregráfica de Santana (AP) evidenciam a inadequação do modelo de previsão utilizado na região, o qual, agregado às diversas interrupções ocorridas, dificulta a determinação de uma série temporal íntegra. A Estação Maregráfica de Fortaleza (CE) passou a ter 12 anos, com qualidade semelhante à de Salvador (BA), apesar da indisponibilidade de observações no ano de 2020, uma vez que a estação apresentou problema na transmissão via satélite, e, devido à pandemia de COVID-19, os dados não puderam ser coletados de forma remota; serão incluídos posteriormente. As Estações Maregráficas de Arraial do Cabo (RJ) e Belém (PA) possuem um período muito curto de observações, razão pela qual não foram mostradas as linhas de tendência nos gráficos das respectivas estações.

### Variação do nível médio do mar

A Tabela 4 apresenta os valores da variação do nível médio do mar, do erro padrão (ver tópico **Determinação dos níveis médios e da tendência**) e a época de referência para cada Estação Maregráfica da RMPG. Para as de Arraial do Cabo (RJ) e Belém (PA), os valores citados não são apresentados, pois os períodos de análise são insuficientes para apontar tendências. A Estação Maregráfica de Santana (AP) apresenta uma situação em que o erro padrão é superior à variação temporal do nível médio do mar. Diante dessa situação, é fundamental reforçar que essa estação se situa em região estuarina; logo, apresenta oscilações que não são diretamente relacionadas aos movimentos astronômicos, o que dificulta o tratamento rigoroso de sua série com ferramentas computacionais convencionais. No caso em questão, existem alguns fatores peculiares aos estuários que afetam o regime das marés, como a morfologia do local e a drenagem continental, os quais causam assimetria no ciclo da maré (CASTELLO; KRUG, 2015). Essas condições exigem uma modelagem específica às peculiaridades do local, relacionando as observações maregráficas às previsões de forma mais adequada à série.

Os resultados acerca da variação e média mensais do nível do mar apresentados neste estudo não estão corrigidos dos movimentos verticais de origem não oceânica, em decorrência da indisponibilidade da série Continuously Global Navigation Satellite System - CGNSS das estações da RBMC que ficam próximas às estações maregráficas ainda não estarem numa única realização do referencial global. Entretanto, vale destacar que o IBGE prepara, concomitantemente a este estudo, um relatório metodológico intitulado *Solução multianual das estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo no período de 2000 a 2019*, com divulgação prevista para o fim do ano de 2021, o qual poderá lançar luz sobre o tema. Nesse relatório, será apresentada uma avaliação da posição das estações da RBMC ao longo do tempo, com base em um único referencial, o IGS14, levando em consideração diversos aspectos que influenciam na posição, como a dinâmica da crosta terrestre, as movimentações locais, a mudança de referencial global, os efeitos ocasionados por terremotos, os deslocamentos em função de troca de equipamentos, entre outros.

Em relação aos dados GNSS coletados nas estações SAT instalados a partir de 2016, ainda são de curto período, o que não viabiliza a obtenção, de maneira rigorosa, dos sinais da movimentação crustal. Essa série, no entanto, permite a conexão

geocêntrica e aponta aspectos sobre a movimentação da estrutura local na qual as estações maregráficas estão situadas. Mais detalhes sobre essa questão são abordados no tópico **Conexão geocêntrica das observações maregráficas**.

Uma discussão preliminar sobre a movimentação vertical observada pelas estações CGNSS pode ser realizada por meio dos valores disponibilizados pelo Centro de Análise SIRGAS (IBGE, 2016), ou pelo Système d'Observation du Niveau des Eaux Littorales (SONEL, 2021), os quais apresentam as taxas de tendência semanais e anuais, porém, quase sempre, sem correções importantes, como, por exemplo, mudança de referencial.

A determinação da movimentação vertical é essencial nas estações maregráficas, pois visa dissociar a magnitude da variação do nível do mar desse efeito de origem não oceânico. Por exemplo, as variações do nível médio do mar nas Estações Maregráficas de Imbituba (SC) e Macaé (RJ) apresentam valores de tendências maiores do que a média global,  $3,3 \pm 0,4$  mm/ano (Sea Level Research Group, 2021). No entanto, estudos recentes para a Estação Maregráfica de Imbituba (SC) apontam uma significativa subsidência da crosta na região (SILVA, 2017; GIEHL, 2020). Ribas Junior e outros (2021), para a Estação Maregráfica de Salvador (BA), também observaram sinais negativos na estação CGNSS local, os quais indicam subsidência do movimento vertical da crosta nessas regiões. Calado, Garnés e Jamur (2018) identificaram um movimento de soerguimento nas proximidades da Estação Maregráfica de Fortaleza (CE) que poderia ser um fator explicativo para o rebaixamento do nível médio do mar na região.

**Tabela 4 - Taxa de variação do nível médio do mar, segundo as estações maregráficas da RMPG**

Estações maregráficas	Varição do nível médio do mar (mm/ano)	Erro padrão (mm/ano)	Época
Imbituba (SC)	5,1	±0,9	2001-2020
Macaé (RJ)	4,9	±1,2	2001-2015
Arraial do Cabo (RJ)	-	-	2017-2020
Salvador (BA)	2,7	±0,7	2004-2020
Fortaleza (CE)	1,3	±0,4	2008-2019
Belém (PA)	-	-	2019-2020
Santana (AP)	2,9	±4,2	2005-2020

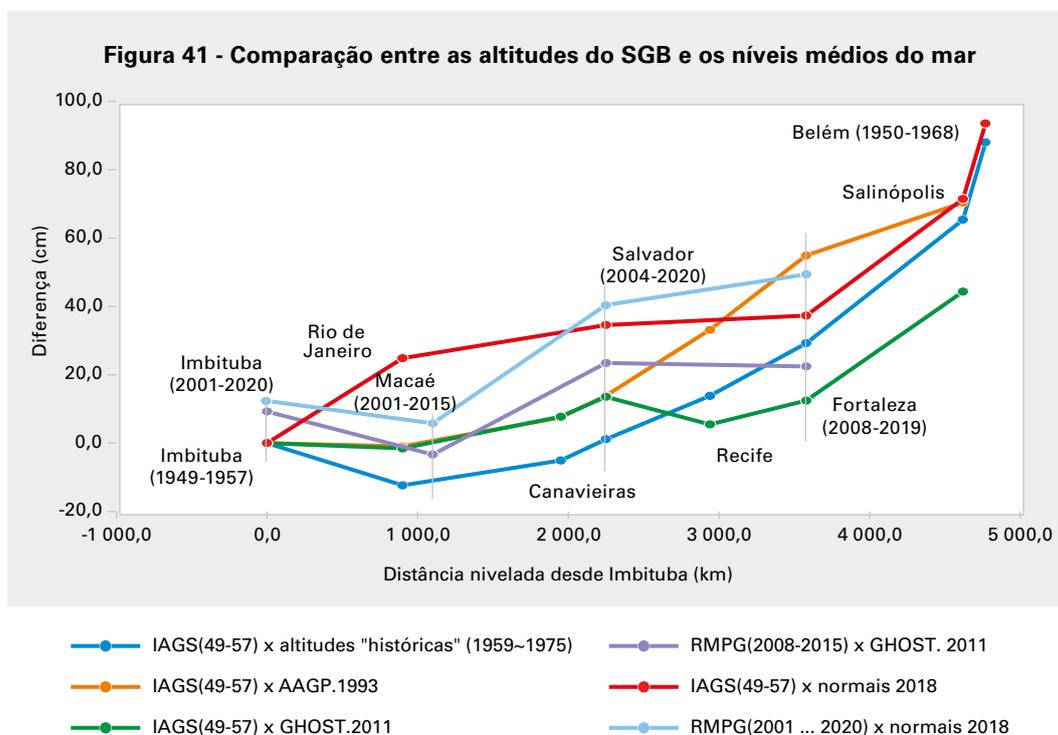
Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

Por meio das médias mensais do período de operação específico de cada estação maregráfica, como mostrado na Figura 40, em conjunto com outros elementos, foi possível atualizar a comparação entre altitudes do SGB e alturas referidas ao nível médio do mar local. A Tabela 5 traz a composição dos tipos de observações necessárias à obtenção da altura da referência de nível selecionada, nas estações maregráficas participantes destas análises, acima do nível médio do mar, e sua comparação com a respectiva altitude do SGB. O valor do nível médio do mar local em relação ao SGB (referidas ao DVB-I) é mostrado no gráfico comparativo com as altitudes históricas, na Figura 41.

**Tabela 5 - Composição do valor do nível médio do mar em relação ao SGB,  
por estações maregráficas da RMPG**

Elemento	Composição do valor do NMM em relação ao SGB, por Estação Maregráfica (m)			
	Imbituba (SC)	Macaé (RJ)	Salvador (BA)	Fortaleza (CE)
A (desnível entre níveis de referência do sensor primário e da régua)	0,998	0,161	5,043	3,257
B (topo da régua, com pino)	2,016	3,013	4,015	6,03
C (desnível entre pino da régua e referência de nível primária)	0,4874	1,4980	0,2330	0,2640
referência de nível primária	3012X	3086U	3640A	4336A
referência de nível vizinha	4P	9004B	292J	465Q
J (desnível entre referência de nível primária e referência de nível vizinha)	19,7798	5,1023	7,8225	3,9947
L (nível médio do mar local)	1,580	1,341	7,284	6,343
N (altura da referência de nível vizinha acima do nível médio do mar local)	21,7012	8,4330	9,8015	7,2027
E (altitude da referência de nível primária referida ao Datum de Imbituba)	2,0449	3,3884	2,4110	3,7019
F (altitude da referência de nível vizinha referida ao Datum de Imbituba)	19,7798	5,1023	7,8225	3,9947

Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.



Fontes: 1. ALENCAR, J. C. M. de. Datum altimétrico brasileiro. *Cadernos de Geociências*, Rio de Janeiro: IBGE, n. 5, p. 69-73, jul. 1990. Disponível em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/116/cgeo\\_1990\\_n5\\_jul.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/116/cgeo_1990_n5_jul.pdf). Acesso em: ago. 2021. Adaptada. 2. LUZ, R. T.; GUIMARÃES, V. M. *Dez anos de monitoramento do nível do mar no IBGE*. Trabalho apresentado no III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, realizado em Curitiba, 2003. Disponível em: <https://artigos.ibge.gov.br/artigos-home/geodesia/2004-2000.html>. Acesso em: ago. 2021. Adaptada. 3. IBGE. *Reajustamento da rede altimétrica com números geopotenciais*. 2. ed. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/rede-geodesica/16283-rede-altimetrica.html?=&t=publicacoes>. Acesso em: ago. 2021.

Na Figura 41, verifica-se a nítida diferença sofrida pelas altitudes da RAAP em função do reajustamento altimétrico com números geopotenciais (IBGE, 2019), à medida que a Rede vai avançando em direção ao norte do País. Em decorrência disso, pode-se observar que a comparação do afastamento no nível médio do mar em relação às altitudes do SGB também sofreu um deslocamento relacionado aos novos valores de altitude. Vale ressaltar que, no gráfico dos níveis médios do mar, estão contemplados os períodos inteiros das séries, como apresentado na Figura 40. Adicionalmente, é importante informar que as séries de Arraial do Cabo (RJ) e Belém (PA) não constam desta análise, pois precisam ser complementadas com dados passados e futuros a fim de se ter uma correta correlação com as séries históricas.

De maneira geral, verifica-se que os níveis médios do mar locais não apresentaram uma variação significativa em relação aos divulgados no estudo anterior (IBGE, 2016). No caso de Imituba (SC), fez-se um reposicionamento de sua referência para a posição atual que corresponde ao ano de 2020. Outro fator importante foi a complementação do período das séries, o que as tornam mais adequadas às análises. As séries de Salvador (BA) e Fortaleza (CE) sofreram uma pequena alteração em relação ao apresentado em 2016, percebendo-se, claramente, um salto decorrente dos novos valores de altitude.

Os períodos plotados nos gráficos possuem diferentes referências temporais; logo, as comparações devem levar em consideração as particularidades de cada época. Os níveis médios locais provenientes do mareógrafo operado pelo Inter-American Geodetic Survey - IAGS estão referidos a um período comum de nove anos, isto é, de 1949 a 1957, enquanto os períodos contemplados pela RMPG variam de 11 a 19 anos (possui também um período comum de sete anos, ilustrado, em verde, na Figura 41), o que confere uma diferença de 63 anos entre as séries. Tendo em vista que as altitudes da RAAP são provenientes da coleta de observações do período de 1945 a 2017, é razoável inferir que desvios importantes na análise das séries podem ser introduzidos.

## Análise dos resultados do controle geodésico de estações maregráficas

A fim de detectar e quantificar os movimentos verticais de origem não oceânica, o monitoramento periódico da estabilidade da posição vertical da estrutura e da região imediatamente próxima às estações maregráficas é fundamental para prover uma informação o mais consistente possível e condizente com a acurácia que cada fenômeno exige. A RMPG realiza, anualmente, o controle geodésico de estações maregráficas, e os resultados das atividades são apresentados nos tópicos a seguir.

### Histórico dos Testes de Van de Castele

O desnível entre os “zeros” dos sensores e da régua, descrito como elemento A da Figura 19, são resultantes da média geral entre as diferenças da leitura realizada entre a régua e o sensor. A Tabela 6 traz os valores de A (média) para cada ano de realização do controle geodésico de estações maregráficas e seus respectivos desvios padrões, ou seja, ao se retirar essas constantes dos valores observados pelo sensor, o resultado será o valor observado referido à régua de marés.

Em Arraial do Cabo (RJ), identifica-se, claramente, a calibração inadequada do sensor radar na instalação da estação maregráfica em 12 de junho de 2017, e, em 9 de agosto, com o ajuste correto aplicado no radar, os resultados apresentam-se coerentes com a técnica (Figuras 21 e 22 do tópico **Teste de Van de Castele**).

**Tabela 6 - Desnível entre os "zeros" da régua de marés e os sensores das estações  
maregráficas da RMPG nas datas consideradas**

(continua)

Datas consideradas	Sensor A (m)							
	Radar		Encoder		Maregrama		Pressão	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
<b>Imbituba (SC)</b>								
11/12/2019	0,983	0,023	0,998	0,028	-	-	-	-
19/04/2019	-	-	0,012	0,040	-	-	-	-
26/09/2018	-	-	-0,060	0,029	-	-	-	-
29/03/2017	-	-	0,693	0,024	-	-	-	-
22/04/2016	-	-	0,696	0,032	-0,009	0,025	-	-
17/04/2015	-	-	1,936	0,040	-0,180	0,020	1,344	0,055
16/05/2014	-	-	1,943	0,024	0,004	0,016	1,345	0,042
26/02/2010	-	-	-	-	0,010	0,019	1,238	0,061
14/10/2008	-	-	-	-	-0,522	0,048	0,273	0,053
16/06/2007	-	-	-	-	0,012	0,023	1,241	0,046
10/02/2005	-	-	-	-	-0,049	0,015	1,215	0,075
30/06/2003	-	-	-	-	-0,026	0,024	1,213	0,038
04/10/2002	-	-	-	-	-0,009	0,018	1,194	0,081
<b>Arraial do Cabo (RJ)</b>								
05/06/2019	-0,002	0,035	0,310	0,038	-	-	-	-
16/05/2018	-0,020	0,028	0,211	0,030	-	-	-	-
09/08/2017	-0,011	0,017	0,993	0,017	-	-	-	-
12/06/2017	0,025	0,277	0,009	0,031	-	-	-	-
<b>Macaé (RJ)</b>								
19/03/2015	-	-	-	-	-0,021	0,036	0,161	0,034
16/05/2014	-	-	-	-	0,960	0,118	0,133	0,086
10/09/2013	-	-	-	-	0,994	0,088	0,078	0,035
06/06/2012	-	-	-	-	0,917	0,034	-0,099	0,029
09/09/2010	-	-	-	-	0,013	0,073	-	-
21/08/2009	-	-	-	-	-0,019	0,036	-	-
07/03/2008	-	-	-	-	1,001	0,026	0,139	0,158
02/04/2007	-	-	-	-	0,088	0,025	-	-
24/03/2003	-	-	-	-	1,014	0,045	0,023	0,026
06/10/2002	-	-	-	-	1,034	0,028	0,02	0,026
28/04/2002	-	-	-	-	0,982	0,032	-0,024	0,027
24/11/2001	-	-	-	-	0,997	0,025	-0,028	0,021
27/09/2000	-	-	-	-	1,294	0,162	-	-
24/04/1997	-	-	-	-	0,871	0,108	-	-

**Tabela 6 - Desnível entre os “zeros” da régua de marés e os sensores das estações maregráficas da RMPG nas datas consideradas**

(continuação)

Datas consideradas	Sensor A (m)							
	Radar		Encoder		Maregrama		Pressão	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
<b>Salvador (BA)</b>								
18/07/2019	5,043	0,066	5,368	0,068	-0,083	0,125	-	-
25/10/2018	5,015	0,035	2,987	0,034	-0,142	0,050	-	-
16/11/2017	5,007	0,039	3,023	0,029	-0,280	0,038	-	-
11/04/2017	5,009	0,023	5,264	0,026	-0,059	0,046	-	-
19/05/2016	5,007	0,024	5,259	0,021	0,343	0,031	-	-
19/03/2015	5,013	0,024	-0,239	0,027	-0,214	0,018	-	-
21/08/2013	5,119	0,027	1,254	0,032	0,007	0,028	-	-
02/08/2011	5,008	0,036	2,734	0,964	-0,061	0,044	-	-
05/10/2009	4,993	0,029	1,940	0,041	0,410	0,158	-	-
14/06/2007	-	-	-	-	-0,006	0,016	-	-
11/06/2006	-	-	-	-	-0,018	0,016	-	-
22/07/2005	-	-	-	-	-0,895	1,345	-	-
26/09/2003	-	-	-	-	0,030	0,056	-	-
18/03/2003	-	-	-	-	0,091	0,047	-	-
28/04/2002	-	-	-	-	0,982	0,032	-	-
<b>Fortaleza (CE)</b>								
13/12/2019	3,257	0,036	2,012	0,061	-	-	-	-
16/05/2018	4,312	0,061	3,107	0,036	0,702	0,521	-	-
29/11/2017	4,305	0,036	3,056	0,059	-	-	-	-
18/05/2016	4,304	0,045	2,941	0,039	-1,112	0,132	-	-
03/07/2015	4,301	0,026	2,935	0,031	-0,539	0,047	-	-
21/08/2013	4,307	0,050	2,622	0,079	0,059	0,061	-	-
31/03/2010	4,304	0,063	3,208	0,087	-	-	-	-
23/04/2008	3,005	0,039	1,908	0,040	0,001	0,055	-	-
<b>Belém (PA)</b>								
12/12/2019	0,108	0,042	-	-	-	-	-	-
<b>Santana (AP)</b>								
11/03/2020	0,051	0,017	-0,006	0,019	-	-	-	-
13/08/2019	-	-	0,005	0,014	-	-	-	-
28/01/2019	0,211	0,146	-0,445	0,043	-	-	-	-
18/07/2018	-	-	-	-	-	-	0,441	0,075
27/07/2017	-0,023	0,032	0,001	0,013	-	-	0,483	0,034
19/09/2016	-	-	-	-	-0,244	0,512	0,573	0,034
19/06/2015	-	-	-	-	3,510	0,020	0,455	0,090
23/05/2012	-	-	-	-	1,124	0,035	-	-
19/05/2011	-	-	-	-	1,424	0,044	0,042	0,035
14/07/2010	-	-	-	-	1,286	0,040	-	-

**Tabela 6 - Desnível entre os “zeros” da régua de marés e os sensores das estações maregráficas da RMPG nas datas consideradas**

(conclusão)

Datas consideradas	Sensor A (m)							
	Radar		Encoder		Maregrama		Pressão	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
27/03/2009	-	-	-	-	1,525	0,042	-	-
02/09/2008	-	-	-	-	1,546	0,036	-	-
28/08/2007	-	-	-	-	1,573	0,034	0,981	0,029
07/09/2006	-	-	-	-	1,488	0,070	0,506	0,018

Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

## Movimentação vertical local

Nas Figuras 42 a 47, são mostradas as variações verticais das referências de nível primárias e as estações SATs/RRNN pertencentes aos circuitos de cada estação maregráfica da RMPG. Os valores apresentados são resultantes do ajustamento paramétrico, utilizando-se uma ponderação de  $1mm \sqrt{D_{km}}$  tendo as referências de nível de controle injunção mínima, classificadas como do tipo A ou B, segundo Hailegeberel e outros (2018), como apresentado no Quadro 5.

**Quadro 5 - Referências de nível utilizadas como controle dos ajustamentos e sua classificação, segundo as estações maregráficas da RMPG**

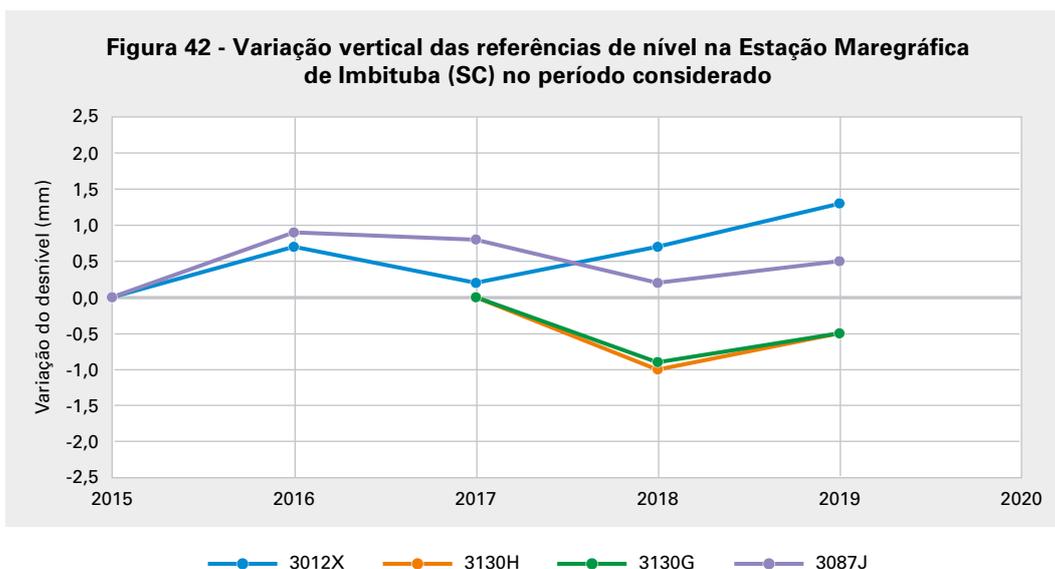
Estações maregráficas	Referências de nível (RN)	Classificação
Imbituba (SC)	3122R	A
Arraial do Cabo (RJ)	3131L	A
Salvador (BA)	292J	B
Fortaleza (CE)	9320P	B
Belém (PA)	9327V	B
Santana (AP)	3122F	B

Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

Nota: RRNN = Referências de Nível.

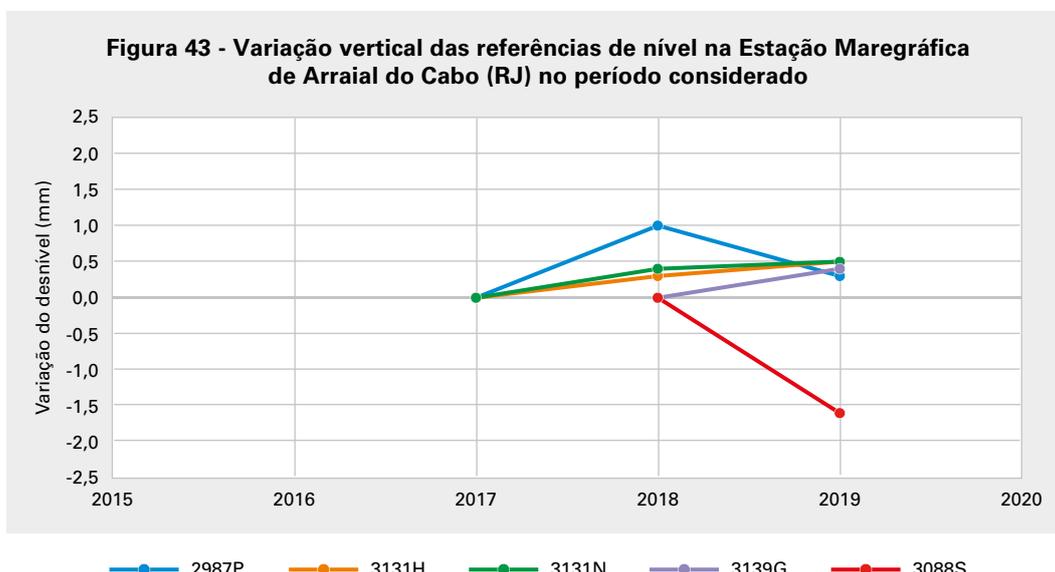
As séries da movimentação vertical apresentadas nas Figuras 42 a 47 são um extrato de algumas referências de nível pertencentes aos circuitos de controle geodésico de estações maregráficas e referidos a um período que varia de 2015 a 2019. Esse período contempla o início desse controle com a adoção do nível eletrônico, a utilização de padrões mais rigorosos, bem como com a implantação de dispositivos de centragem forçada (DCFs) que se iniciou em 2016.

Para a análise da movimentação vertical das referências de nível, utilizou-se a regressão linear simples para determinação das taxas de variação no período de 2015 a 2019. Os valores foram reduzidos a uma única referência para facilitar a visualização gráfica.



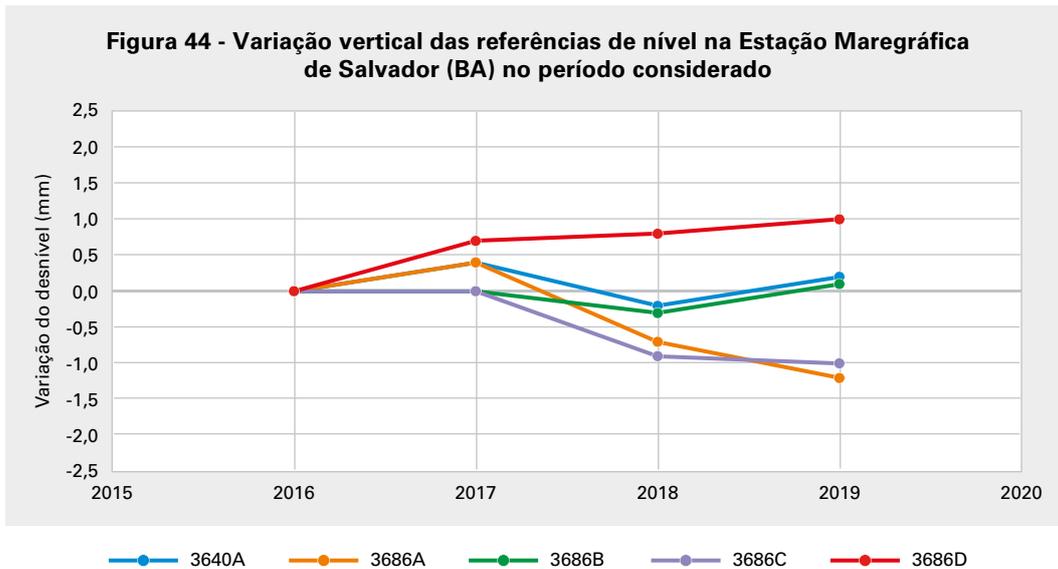
Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

Nesse sentido, Imbituba (SC) apresenta taxa de variação para a RN primária 3012X de 0,260 mm/ano. A estação SAT/RN com melhor estabilidade é a RN 3087J, com 0,030 mm/ano, seguindo-lhe as RRNN 3130H e 3130G, as quais apresentam taxa de -0,250 mm/ano. Esses resultados mostram que essa região não apresenta variações significativas de soerguimento ou recalque local.



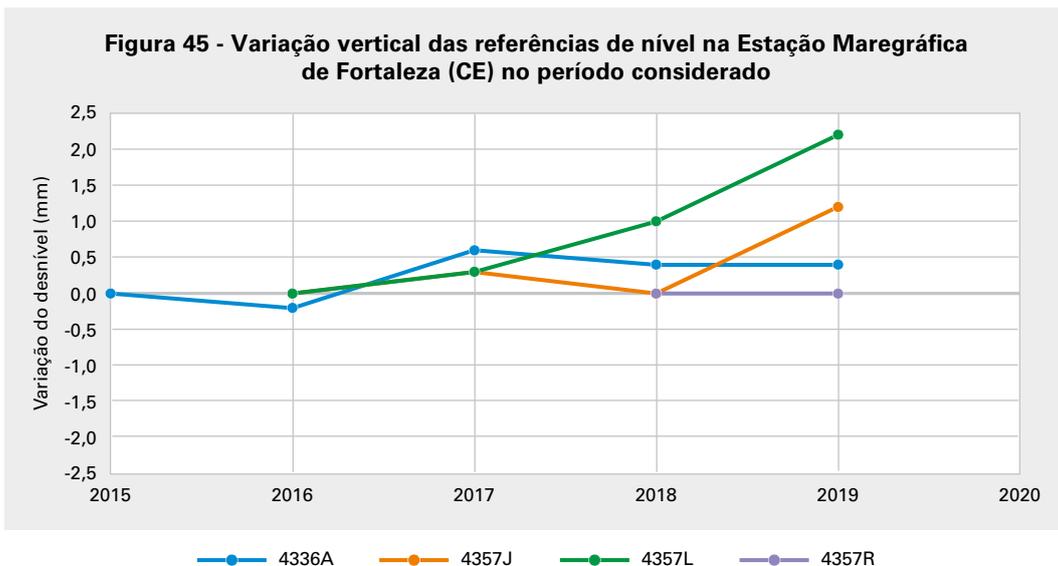
Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

A série de Arraial do Cabo (RJ) ainda é considerada insuficiente para informar sobre possíveis movimentações verticais de maneira consistente, contudo aponta para resultados estáveis até o momento, tendo a RN primária 2987P uma taxa de 0,150 mm/ano, e as estações SATs/RRNN 3131H e 3131N, taxas de 0,250 mm/ano. Sobre as estações SATs/RRNN 3139G e 3088S, ainda não se pode inferir suas taxas, dado o curto tempo de observação.



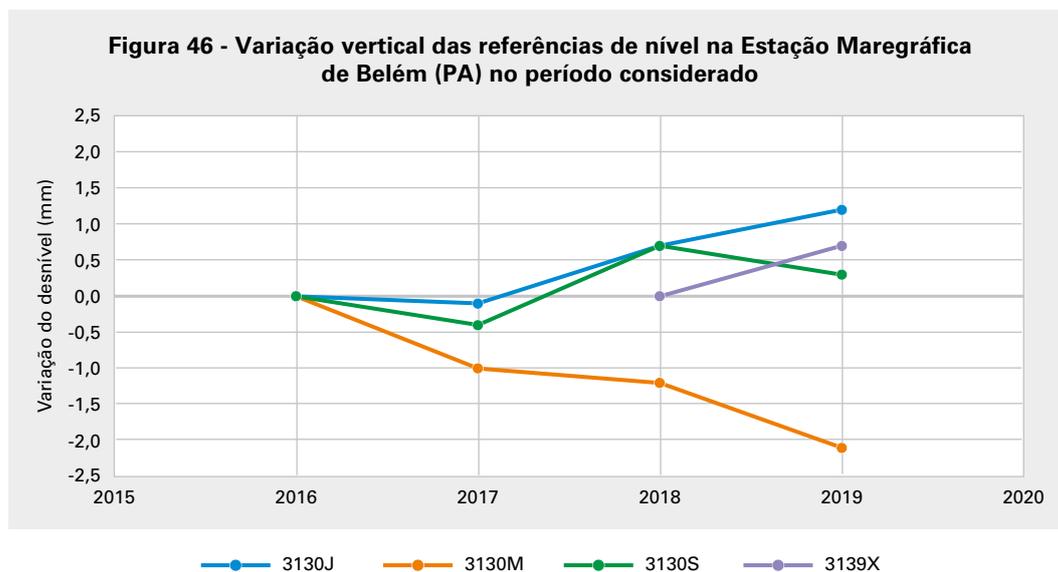
Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

Seguindo com a análise, em Salvador (BA), observa-se uma taxa de 0,031 mm/ano para a estação SAT/RN 3686D. A RN primária 3640A e a estação SAT/RN 3686B apresentam estabilidade, com taxas submilimétricas. No entanto, as estações SATs/RRNN 3686A e 3686C apresentam recalque, com taxas de -0,047 mm/ano e -0,039 mm/ano, respectivamente. No caso da estação SAT/RN 3686A, vale ressaltar que a estrutura na qual o dispositivo de centragem forçada está situado é a ponta mais extrema de um molhe, o que propicia uma movimentação vertical mais pronunciada.



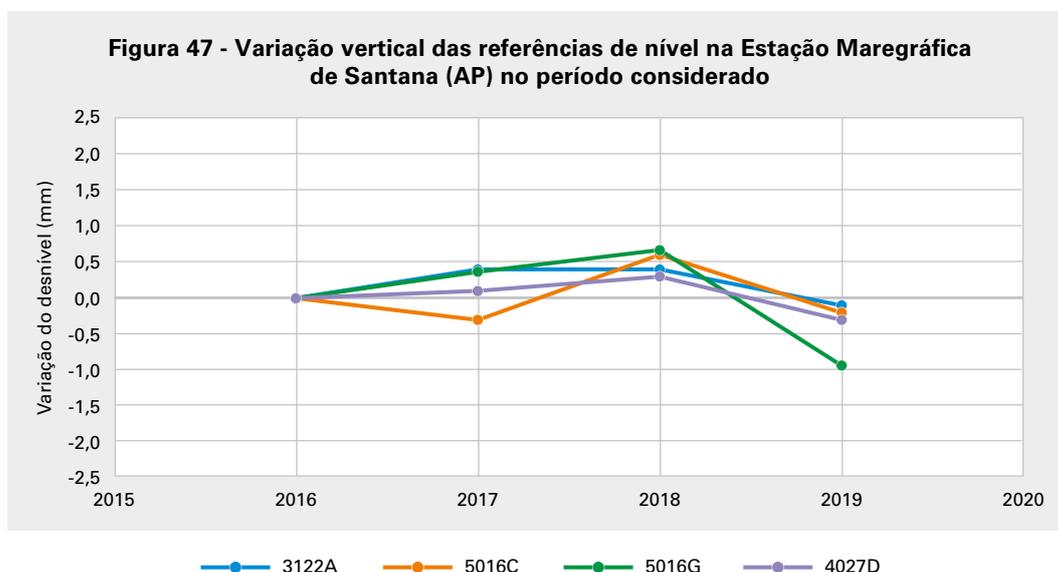
Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

A análise da Estação Maregráfica de Fortaleza (CE) mostra uma taxa de 0,140 mm/ano para sua RN primária 4336A. As estações SATs/RRNN 4357J e 4357L apresentam taxas de 0,330 mm/ano e 0,730 mm/ano, respectivamente. A estação SAT/RN 4357R, porém, possui apenas dois anos de observação, o que não possibilita a sua análise de forma consistente.



Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

O monitoramento da Estação Maregráfica de Belém (PA) apresenta uma taxa crescente de sua RN primária 3130J, com valor de 0,440 mm/ano. No entanto, a estação SAT/RN 3130S se mostra estável, com taxa de 0,200 mm/ano, e a estação SAT/RN 3130M apresenta um recalque, com taxa de -0,650 mm/ano. A estação SAT/RN 3139X segue o mesmo caso da RN 4357R de Fortaleza (CE), com um curto período de observação.



Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

A análise da Estação Maregráfica de Santana (AP) mostra uma estabilidade geral. A RN primária 3122A apresenta uma taxa de  $-0,030$  mm/ano, um pequeno recalque, enquanto a estação SAT/RN 5016C mostra uma taxa de  $0,030$  mm/ano, um pequeno soerguimento, o que pode ser explicado pelas modificações ocorridas no píer, onde estão localizados esses pontos, no qual foram instaladas estruturas para escoamento de grãos, aplicando-se um peso adicional. A estação SAT/RN 5016G apresenta a maior taxa de variação, com  $-0,250$  mm/ano. A RN 4027D foi colocada na análise devido à sua importância histórica e apresenta um pequeno recalque de  $-0,070$  mm/ano.

A análise do monitoramento da movimentação vertical no entorno das estações maregráficas apontou, de maneira geral, uma estabilidade temporal. Os casos nos quais se verificou uma tendência acentuada estão sendo monitorados com mais cuidado a fim de isolar movimentações pontuais de movimentações regionais. Ainda é necessário um estudo de longo prazo que compatibilize os levantamentos realizados anteriormente a 2015 com os apresentados neste tópico; tais ações serão contempladas nas atividades futuras da RMPG.

### Conexão geocêntrica das observações maregráficas

A conexão geocêntrica das observações maregráficas se baseia em rastreios GNSS sobre estações de conexão SAT/RN pertencentes ao circuito de nivelamento, sendo essenciais quando não se dispõe de estações CGNSS/RBMC. Preferencialmente, essas estações de conexão devem ser materializadas por meio de pilares dotados de dispositivo de centragem forçada, a fim de minimizar erros de centragem e altura da antena, porém o rastreamento GNSS de estações SATs/RRNN não dotadas de tais dispositivos, como as referências de nível tradicionais, pode ser realizado com cuidados adicionais.

Em todos os circuitos de nivelamento da RMPG existem estações SATs/RRNN dotadas de dispositivos de centragem forçada que complementam a distribuição espacial das estações CGNSS. Desse modo, a conexão das observações maregráficas a uma referência absoluta é alcançada a partir da determinação da posição geocêntrica dessas estações conectadas aos circuitos de nivelamento. Deve-se apenas ter o cuidado na conexão com a compatibilização do sistema de maré, pois a altitude GNSS está no sistema livre de maré, enquanto o nivelamento, no sistema de maré média.

Além dessa conexão, tem-se interesse no acompanhamento temporal dos desníveis entre a estação CGNSS e as estações SATs/RRNN, o que contribui para o controle da própria estação contínua. Essa distribuição espacial também possibilita a determinação de outras superfícies de referência.

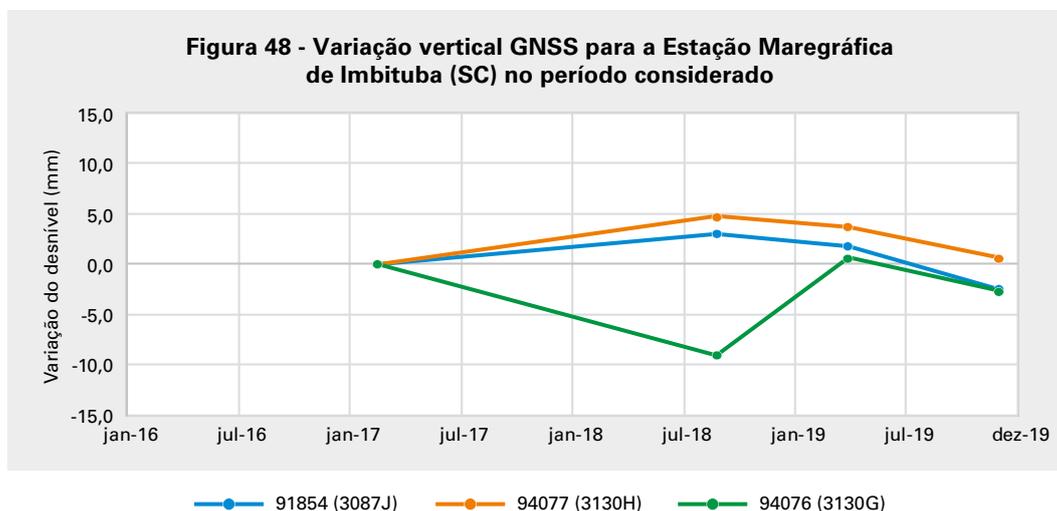
Os resultados do processamento GNSS disponíveis nas Tabelas 7 a 13 estão organizados segundo os seguintes elementos: o ano do controle geodésico de estações maregráfica; a semana GPS do rastreamento; a estação de referência utilizada, com indicação da altitude elipsoidal proveniente da solução SIRGAS-CON na época do rastreamento; e os resultados das altitudes elipsoidais das estações SATs/RRNN nos referenciais IGB08 para o ano de 2016 e IGS14 para os demais anos, divergindo das altitudes elipsoidais oficiais disponíveis no Banco de Dados Geodésicos - BDG,

do IBGE, as quais são referidas ao SIRGAS2000, época 2000,4. Em seguida, com o intuito de minimizar os efeitos das mudanças de referenciais ao longo do tempo, são apresentadas as Figuras 48 a 54, com a diferença de altitude (desnível) entre a estação CGNSS e as estações SATs/RRNN em cada período. Uma série temporal desses desníveis a longo prazo pode contribuir de maneira complementar para os resultados semanais da solução SIRGAS-CON na identificação de subsidências e soerguimentos regionais.

**Tabela 7 - Resultados do processamento GNSS para a Estação Maregráfica de Imbituba (SC) no período considerado**

Elementos	Ano do controle geodésico de estações maregráficas							
	03/2017		09/2018		04/2019		12/2019	
Semana GPS	1 941		2 020		2 048		2 082	
h IMBT (m)	31,368		31,374		31,366		31,372	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
h SAT/RN (m)								
91854/3087J	11,856	0,000	11,866	0,001	11,856	0,001	11,858	0,001
94077/3130H	8,242	0,001	8,253	0,001	8,243	0,002	8,246	0,003
94076/3130G	7,810	0,002	7,809	0,001	7,808	0,005	7,811	0,003

Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.



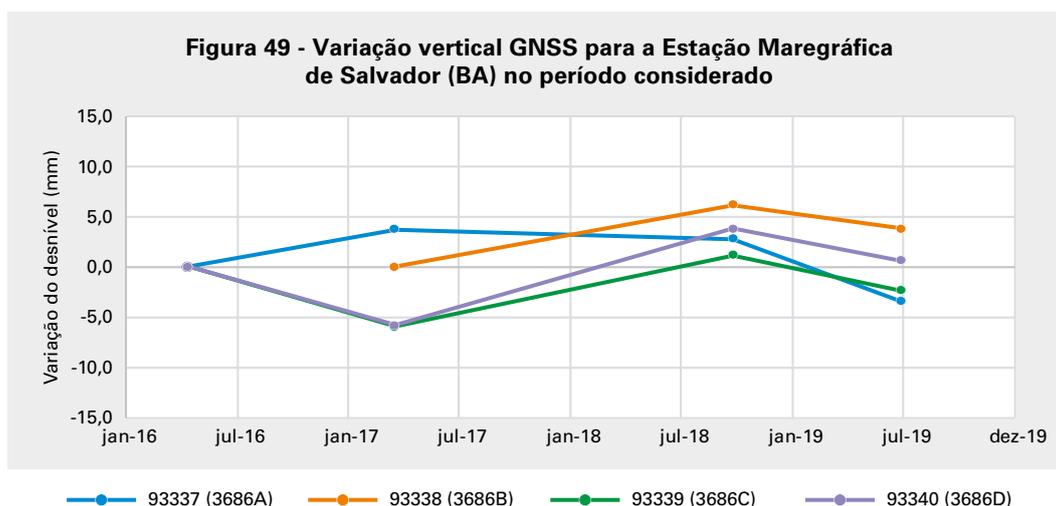
Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

A condição esperada no gráfico seria algo próximo de uma reta, considerando que está sendo medida a mesma distância entre os SATs/RRNN e a estação CGNSS. Em Imbituba (SC), a série temporal aparentemente converge para um comportamento regional, exceto o SAT 94076 em 2018, o qual apresentou um salto anômalo que, apesar de inferior a 1 cm, deve ser melhor investigado.

**Tabela 8 - Resultados do processamento GNSS para a Estação Maregráfica de Salvador (BA) no período considerado**

Elementos	Ano do controle geodésico de estações maregráficas							
	05/2016		04/2017		10/2018		07/2019	
Semana GPS	1 897		1 944		2 022		2 062	
h SSA1 (m)	-2,099		-2,102		-2,099		-2,104	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
h SAT/RN (m)								
93337/3686A	-8,998	0,005	-8,998	0,003	-8,996	0,003	-9,007	0,004
93338/3686B	-	-	-8,392	0,002	-8,382	0,001	-8,390	0,002
93339/3686C	-7,764	0,001	-7,774	0,001	-7,763	0,001	-7,772	0,002
93340/3686D	-7,774	0,001	-7,784	0,003	-7,771	0,001	-7,779	0,002

Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.



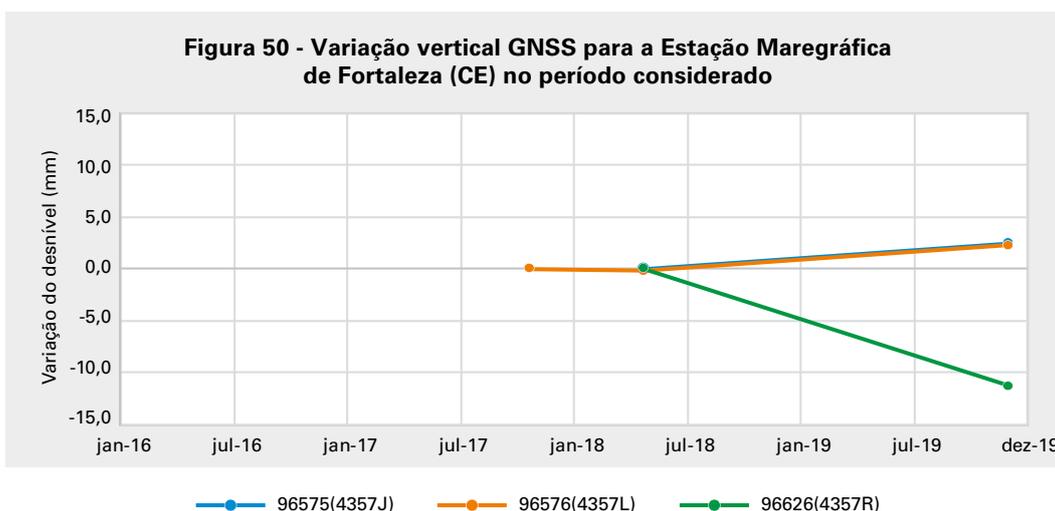
Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

Em Salvador (BA), a curta série temporal promove a identificação da possível influência da carga oceânica na região com movimentos coordenados entre três das quatro estações SATs/RRNN implantadas. A única estação com comportamento diferenciado encontra-se no extremo do quebra-mar, onde o nivelamento geométrico científico apontava um comportamento anômalo.

**Tabela 9 - Resultados do processamento GNSS para a Estação Maregráfica de Fortaleza (CE) no período considerado**

Elementos	Ano do controle geodésico de estações maregráficas					
	11/2017		05/2018		12/2019	
Semana GPS	1 976		2 001		2 083	
h CEFT (m)	4,898		4,890		4,892	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
h SAT/RN (m)						
96575/4357J	-	-	-5,417	0,001	-5,412	0,001
96576/4357L	-5,288	0,002	-5,296	0,001	-5,291	0,001
96626/4357R	-	-	3,169	0,001	3,160	0,001

Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.



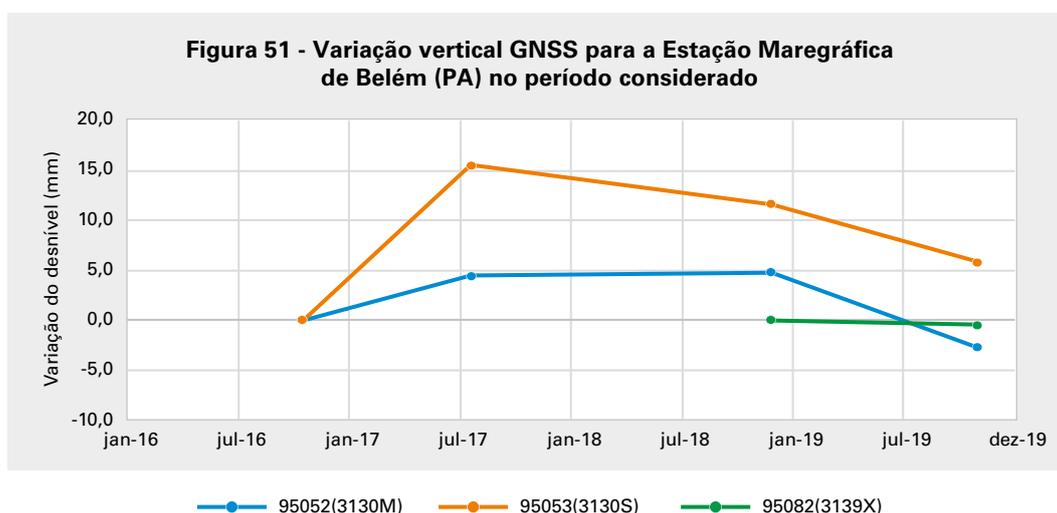
Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

Em Fortaleza (CE), o comportamento próximo de uma reta parece mais evidente em duas das três estações SATs/RRNN implantadas. A Estação 96626 é a mais próxima à CGNSS de Fortaleza (CE), porém seu comportamento anômalo pode ser explicado por um provável multicaminho, devido à sua posição abaixo de um muro e próxima a um telhado de zinco. Em 2019, para o levantamento dessa estação, utilizou-se um bastão de 50 cm para que a antena ficasse acima do nível do telhado. As medições futuras poderão confirmar essa questão.

**Tabela 10 - Resultados do processamento GNSS para a Estação Maregráfica de Belém (PA) no período considerado**

Elementos	Ano do controle geodésico de estações maregráficas							
	11/2016		08/2017		12/2018		11/2019	
Semana GPS	1 922		1 962		2 031		2 079	
h BELE (m)	9,072		9,060		9,065		9,079	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
h SAT/RN (m)								
95052/3130M	-22,057	0,008	-22,064	0,002	-22,058	0,004	-22,052	0,004
95053/3130S	-21,704	0,013	-21,700	0,007	-21,698	0,005	-21,691	0,004
95082/3139X	-	-	-	-	-21,501	0,005	-21,488	0,006

Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.



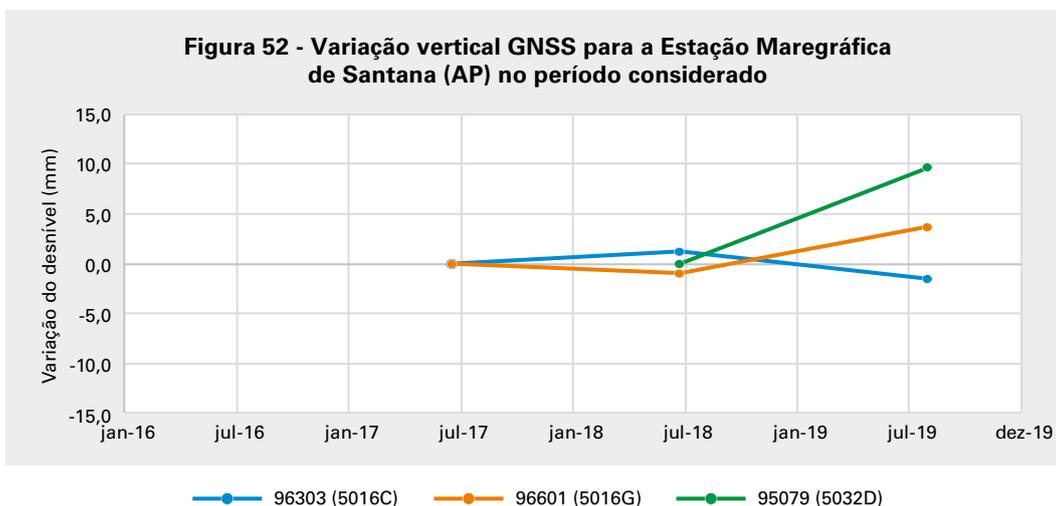
Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

Em Belém (PA), apesar da característica diferenciada, com a estação CGNSS distante 5 km das estações SATs/RRNN, os resultados foram bem interessantes. Em portos, quase sempre não se tem pontos ideais para instalação de dispositivos de centragem forçada, e isso pode ter contribuído para uma discrepância maior do SAT/RN 95053(3130S), que se encontra nas proximidades da portaria com um fluxo constante de cargas. Porém, a partir dos resultados do nivelamento, percebe-se que o SAT/RN 95052(3130M) tem uma taxa de subsidência considerável, o que, sem esse conhecimento prévio, poderia, erroneamente, inferir uma qualidade superior em relação ao SAT 95053(3130S).

**Tabela 11 - Resultados do processamento GNSS para a Estação Maregráfica de Santana (AP) no período considerado**

Elementos	Ano do controle geodésico de estações maregráficas					
	07/2017		07/2018		08/2019	
Semana GPS	1 958		2 010		2 065	
h APS1 (m)	-12,720		-12,721		-12,726	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
h SAT/RN (m)						
96303/5016C	-17,680	0,001	-17,681	0,001	-17,682	0,001
96601/5016G	-17,693	0,001	-17,692	0,003	-17,700	0,003
95079/5032D	-	-	-15,203	0,001	-15,198	0,002

Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

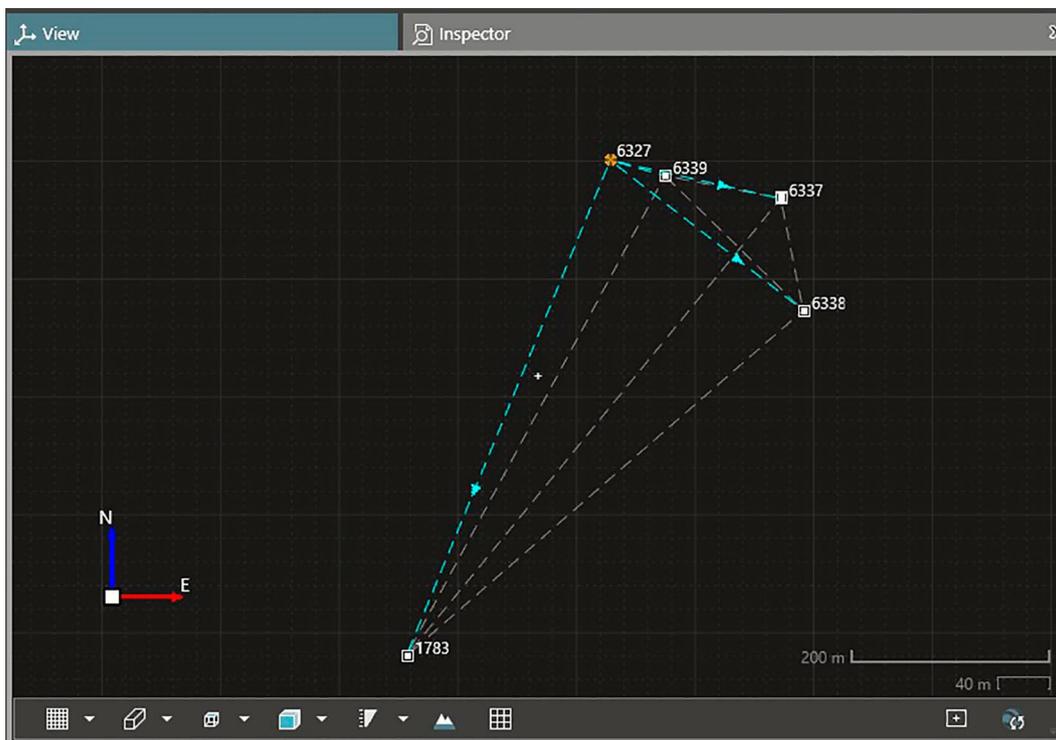


Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

O Porto de Santana (AP) passou por diversas transformações recentes para comportar a ampliação do escoamento de cargas. Para o rastreamento GNSS, tornou-se um local extremamente escasso de possibilidades, com diversas obstruções. A pequena série temporal não evidencia esse problema, mas, provavelmente, outros dispositivos de centragem forçada serão implantados em substituição aos atuais.

Em Arraial do Cabo (RJ), entre os anos 2017 e 2018, foi utilizado o método de processamento por posicionamento por ponto preciso. Em 2019, utilizou-se a estação SAT/RN 96327(3139H) como referência para o processamento relativo estático. Esta estação é um pilar preparado para a futura estação CGNSS em Arraial do Cabo.

**Figura 53 - Esquema do processamento relativo estático GNSS  
para a Estação Maregráfica de Arraial do Cabo (RJ)**



Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

Nota: Essa etapa ocorreu com o auxílio do software Leica Infinity.

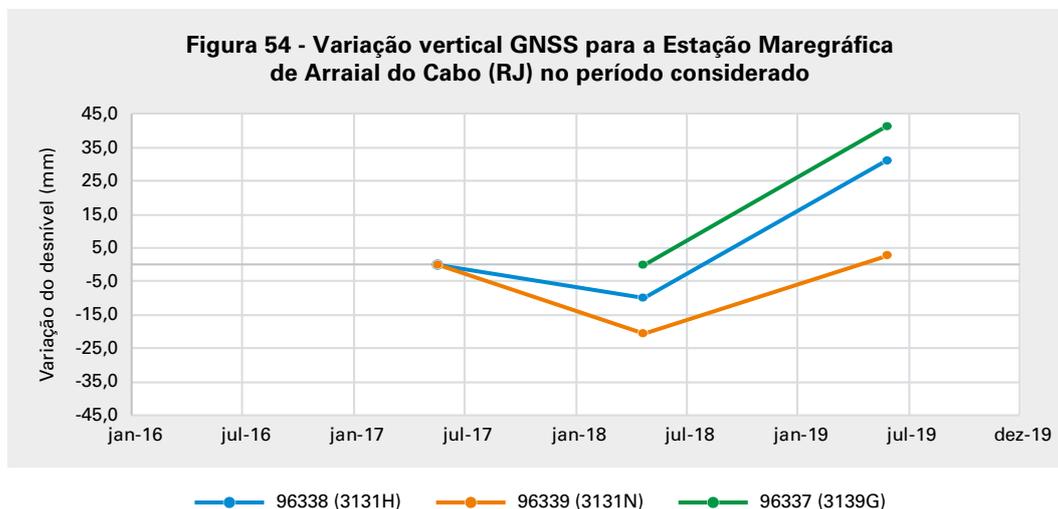
Os resultados dos processamentos por posicionamento por ponto preciso e relativo estático são mostrados na Tabela 12 a seguir:

**Tabela 12 - Resultados do processamento GNSS para a  
Estação Maregráfica de Arraial do Cabo (RJ) no período considerado**

Elementos	Ano do controle geodésico de estações maregráficas					
	06/2017		05/2018		06/2019	
Semana GPS	-		-		-	
h 96327/3139H (m)	PPP		PPP		-0,258	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
h SAT/RN (m)						
96338/3131H	-2,875	0,006	-2,865	0,008	-2,907	0,000
96339/3131N	-2,909	0,001	-2,888	0,014	-2,911	0,001
96337/3139G	-	-	-2,845	0,007	-2,887	0,001
91783/3088S	-	-	-	-	1,309	0,002

Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

Com métodos de processamento diferentes, os resultados apresentados na Figura 54 não são comparáveis como série temporal, ilustrando apenas que há diferenças significativas entre os métodos em relação à qualidade posicional altimétrica.



Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

Para a Estação Maregráfica de Macaé (RJ), desativada em 2015, ou seja, antes das implantações de dispositivos de centragem forçada, foram utilizados os dados disponíveis no BDG, do IBGE, os quais são apresentados na Tabela 13.

**Tabela 13 - Resultados do processamento GNSS para a Estação Maregráfica de Macaé (RJ) no período considerado**

SAT/RN	Altitude geométrica (m)	Altitude normal (m)
93690/9022E	-2,036	4,7557
96187/3086U	-3,408	3,3884
96188/3128P	-3,517	3,2795
96186/3086M	-3,885	2,8999

Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

## Resultados da compatibilização entre os sistemas de maré permanente

Para inclusão dos resultados dos rastreios GNSS de 2019 nas fichas de correlação de níveis das estações maregráficas, a compatibilização entre os sistemas de maré permanente foi calculada. Os resultados são apresentados na Tabela 14:

**Tabela 14 - Compatibilização dos sistemas de marés,  
segundo as estações maregráficas da RMPG**

Estações maregráficas	SAT/RN	$h$ maré média (m)	$h$ livre de maré (m)	Diferença $\Delta h$ (m)
Imbituba (SC)	91854/3087J	11,835	11,858	
	94077/3130H	8,223	8,246	-0,023
	94076/3130G	7,788	7,811	
Arraial do Cabo (RJ)	96338/3131H	-2,945	-2,907	
	96339/3131N	-2,949	-2,911	-0,038
	96337/3139G	-2,925	-2,887	
	91783/3088S	1,271	1,309	
Macaé (RJ)	93690/9022E	-2,075	-2,036	
	96187/3086U	-3,447	-3,408	-0,039
	96188/3128P	-3,556	-3,517	
	96186/3086M	-3,924	-3,885	
Salvador (BA)	93337/3686A	-9,066	-9,007	
	93338/3686B	-8,449	-8,390	-0,059
	93339/3686C	-7,831	-7,772	
Fortaleza (CE)	93340/3686D	-7,838	-7,779	
	96575/4357J	-5,480	-5,412	
	96576/4357L	-5,359	-5,291	-0,068
Belém (PA)	96626/4357R	3,092	3,160	
	95052/3130M	-22,121	-22,052	
	95053/3130S	-21,760	-21,691	-0,069
Santana (AP)	95082/3139X	-21,557	-21,488	
	96303/5016C	-17,751	-17,682	
	96601/5016G	-17,769	-17,700	-0,069
	95079/5032D	-15,267	-15,198	

Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

Percebe-se que, devido às estações SATs/RRNN de cada estação maregráfica estarem muito próximas e a transformação entre os sistemas de maré permanente livre da maré e maré média levarem em consideração a latitude geocêntrica, isso resultou num reposicionamento dos valores, porém as diferenças em  $\Delta h$  se mantiveram idênticas, conforme esperado.

## Correlação de níveis

Para realizar a vinculação das observações de nível do mar, são disponibilizadas as fichas de correlação de nível de cada estação maregráfica na página da RMPG, no portal do IBGE. Por meio das constantes de correlação de níveis<sup>4</sup>, é possível fazer vinculações presente e passada, levando em consideração as épocas disponíveis.

As constantes de correlação de níveis que devem ser usadas com esta finalidade são:

- K - Constante a ser subtraída das leituras do marégrafo para referenciá-las ao Datum Vertical Brasileiro - DVB, de Imbituba (SC) ou Santana (AP);
- H - Constante a ser subtraída das leituras do marégrafo para referenciá-las ao nível de redução informado pela Diretoria de Hidrografia e Navegação - DHN, da Marinha do Brasil; e
- S - Constante a ser subtraída das leituras do marégrafo para referenciá-las ao elipsoide GRS80/SIRGAS(IGS14), exceto Macaé (RJ) e Arraial do Cabo (RJ), as quais estão em GRS80/SIRGAS2000.

Na Tabela 15, as constantes referentes ao ano de 2019 são listadas para todas as estações da RMPG, exceto Macaé (RJ), pois refere-se a 2015. Os índices 1 e 2 que acompanham as constantes referem-se, respectivamente, ao sensor radar e ao sensor encoder, exceto para a Estação Maregráfica de Macaé (RJ), onde o índice 1 é referente ao sensor pressão, e o índice 2 deve ser desconsiderado. Cabe enfatizar que o sistema de maré permanente utilizado para o cálculo das constantes é o médio. Após a utilização das constantes, valores positivos significam que o nível médio do mar local se encontra acima da referência de interesse, e valores negativos significam que ele se encontra abaixo.

**Tabela 15 - Constantes de correlação de níveis referentes ao ano de 2019, segundo as estações maregráficas da RMPG**

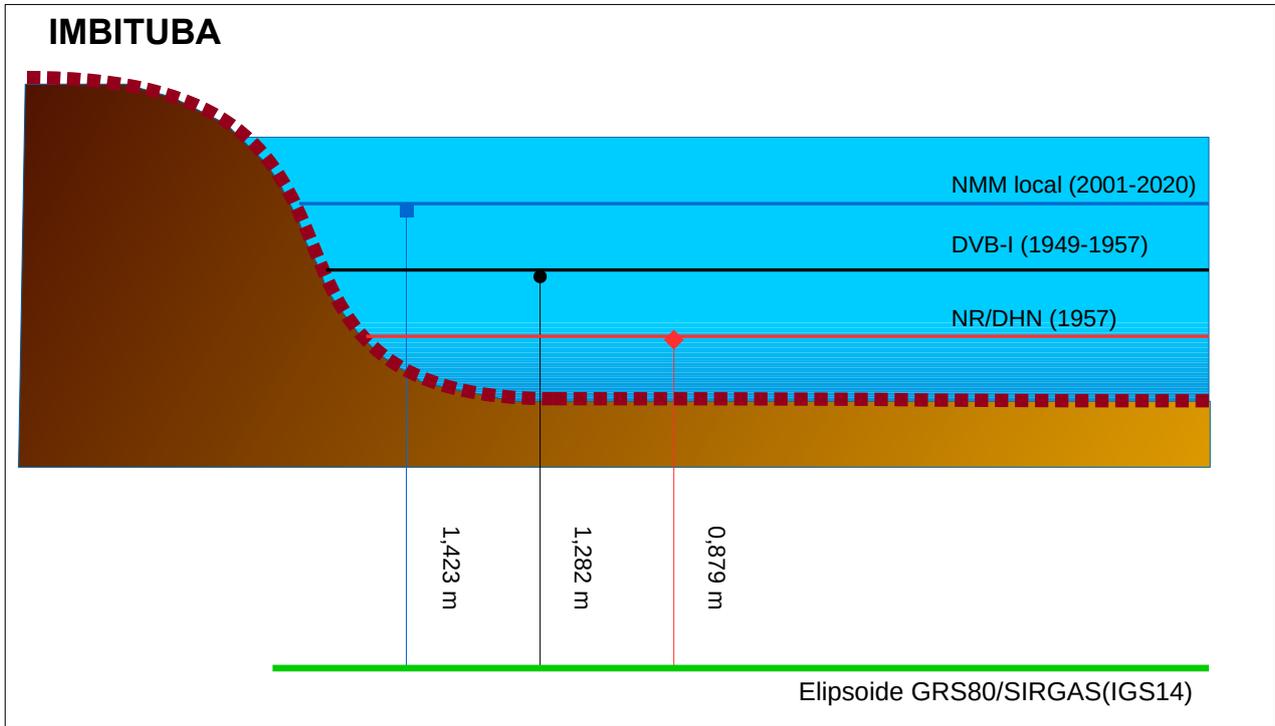
Estações maregráficas	Constantes (m)					
	K1	K2	H1	H2	S1	S2
Imbituba (SC)	1,439	1,454	1,035	1,050	0,157	0,172
Arraial do Cabo (RJ)	1,522	1,834	1,000	1,312	7,440	7,752
Macaé (RJ)	1,283	-	0,747	-	8,119	-
Salvador (BA)	6,880	7,205	6,022	6,239	18,010	18,335
Fortaleza (CE)	5,849	4,604	4,754	3,509	15,088	13,843
Belém (PA)	2,519	-	1,641	-	28,304	-
Santana (AP)	2,230	2,173	0,888	0,831	25,280	25,223

Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

De forma complementar, as Figuras 55 a 61 mostram, esquematicamente, a relação entre o elipsoide de referência (S1) e o nível médio do mar local, o DVB (K1) e o NR (H1).

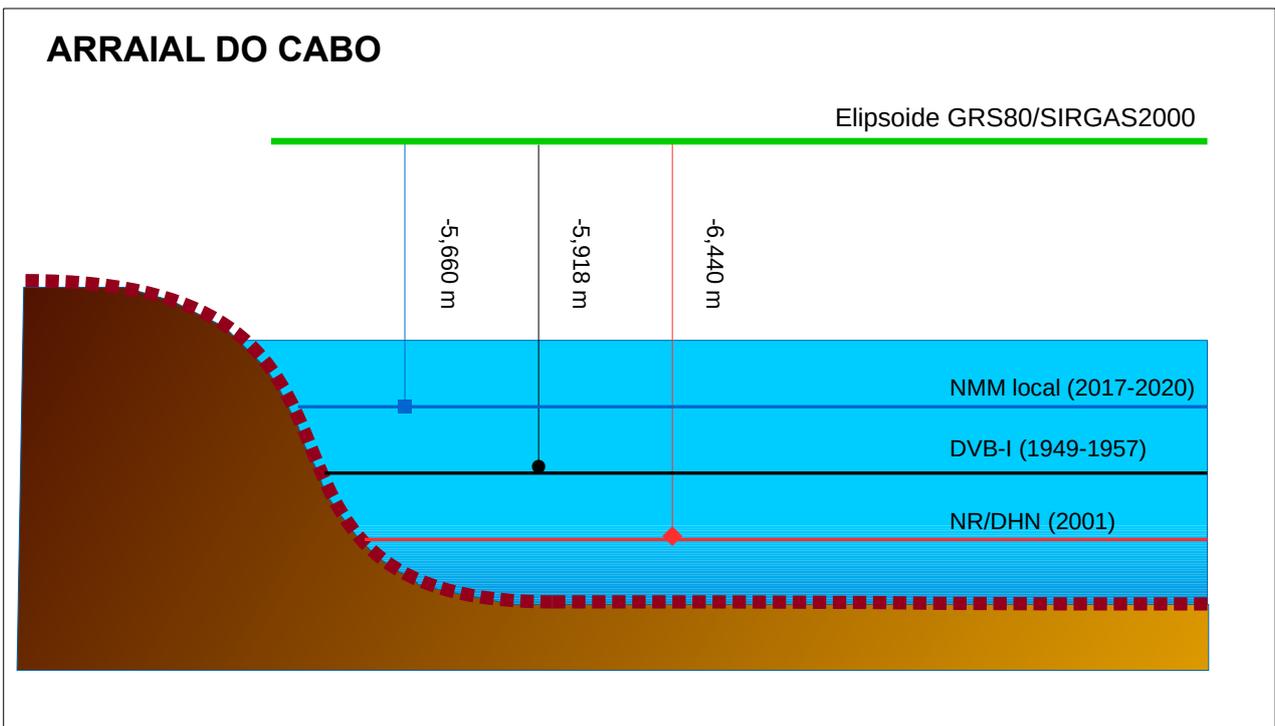
<sup>4</sup> Não confundir com as constantes harmônicas.

**Figura 55 - Relação entre o elipsoide e os níveis de referência para a Estação Maregráfica de Imbituba (SC)**



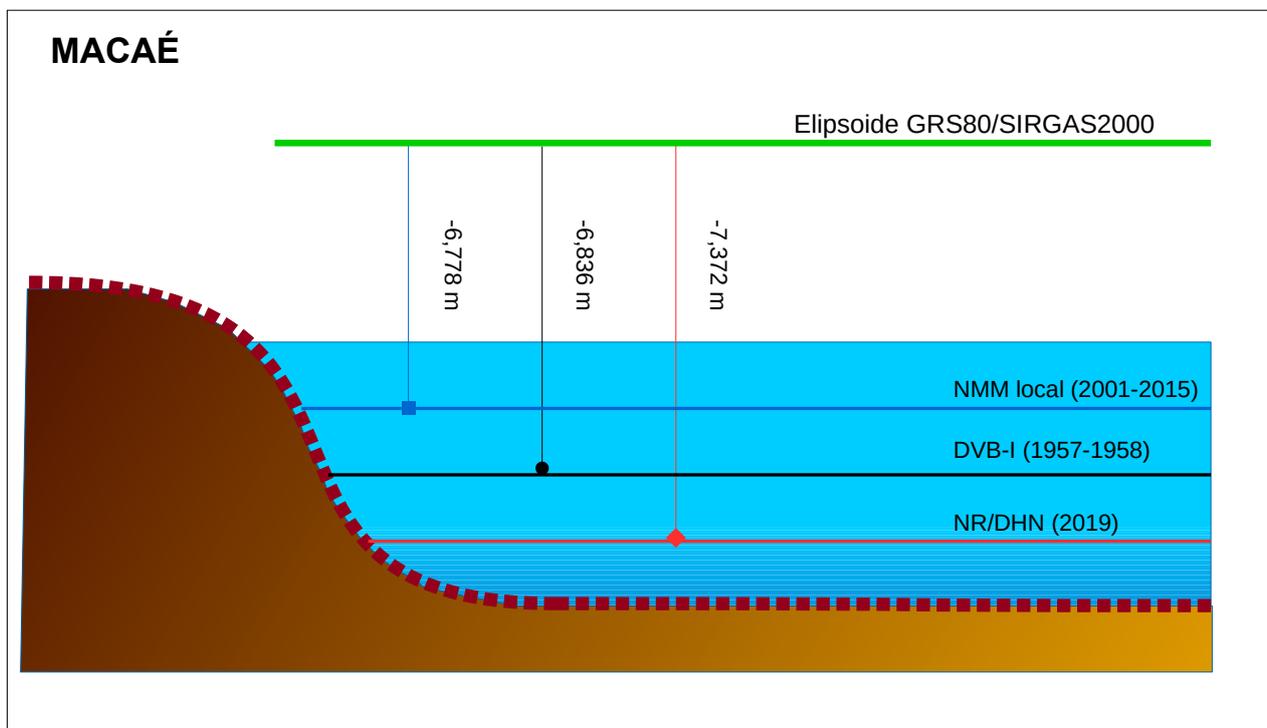
Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

**Figura 56 - Relação entre o elipsoide e os níveis de referência para a Estação Maregráfica de Arraial do Cabo (RJ)**



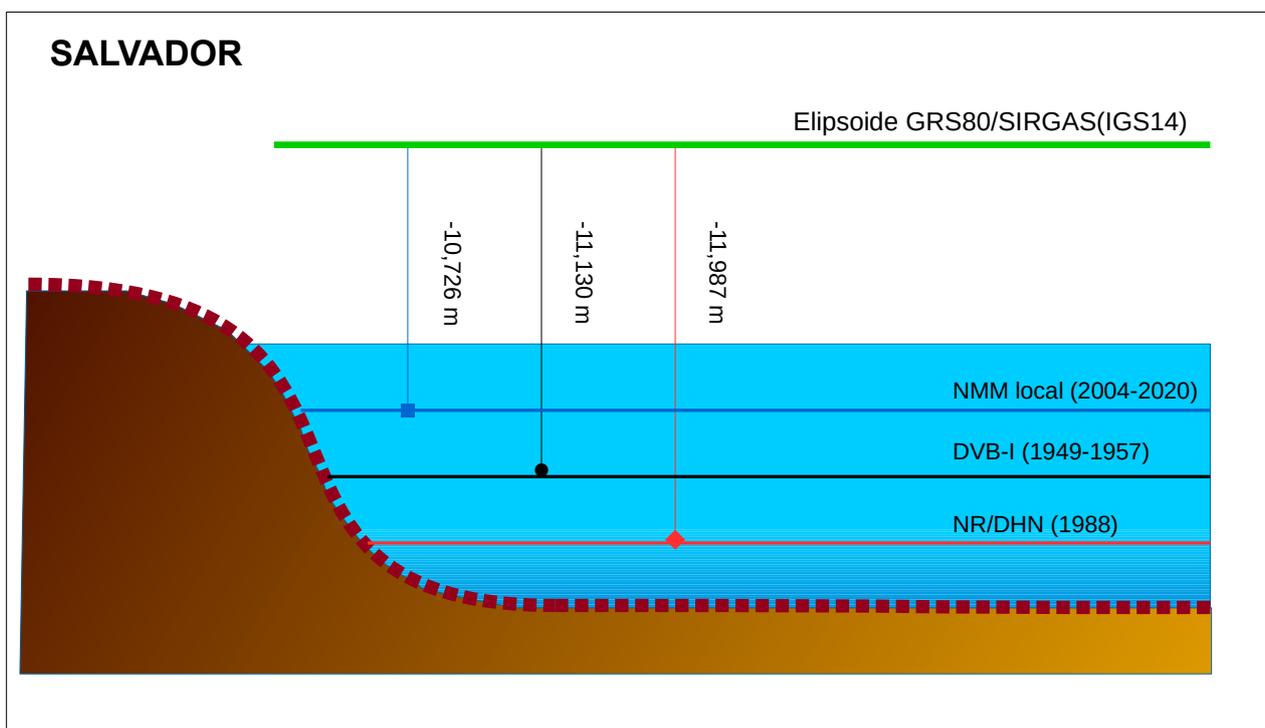
Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

**Figura 57 - Relação entre o elipsoide e os níveis de referência para a Estação Maregráfica de Macaé (RJ)**



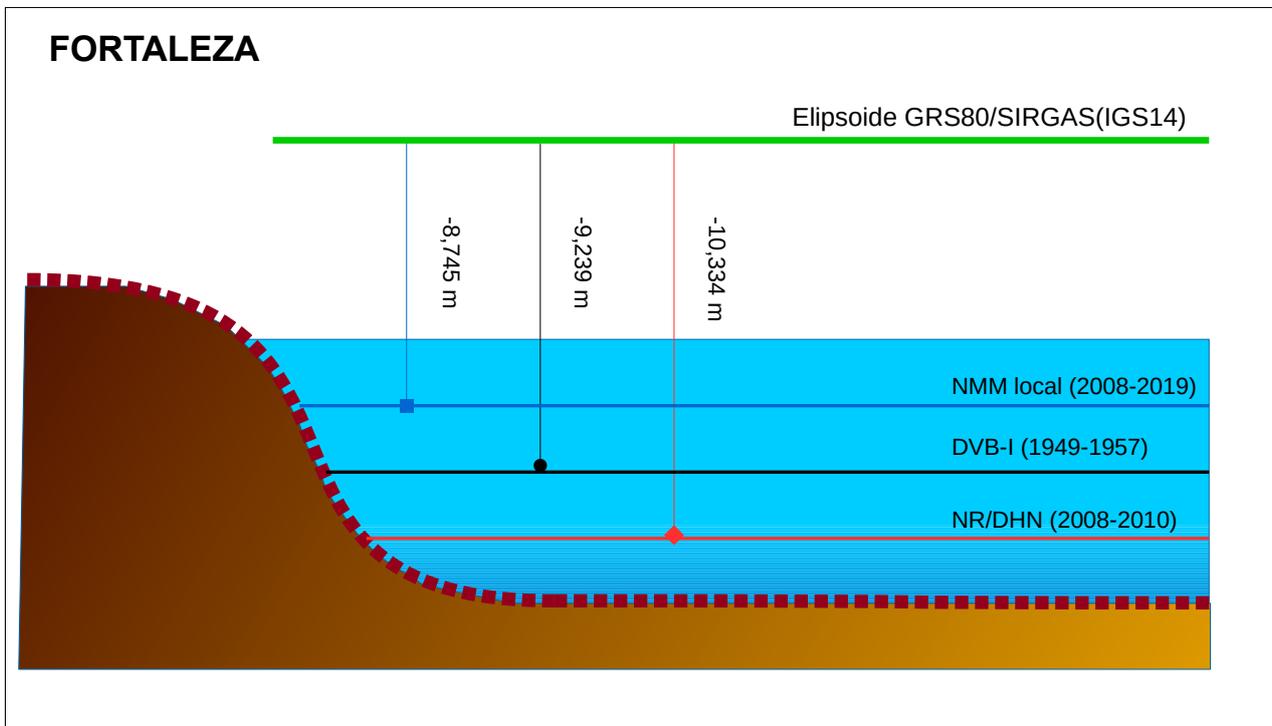
Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

**Figura 58 - Relação entre o elipsoide e os níveis de referência para a Estação Maregráfica de Salvador (BA)**



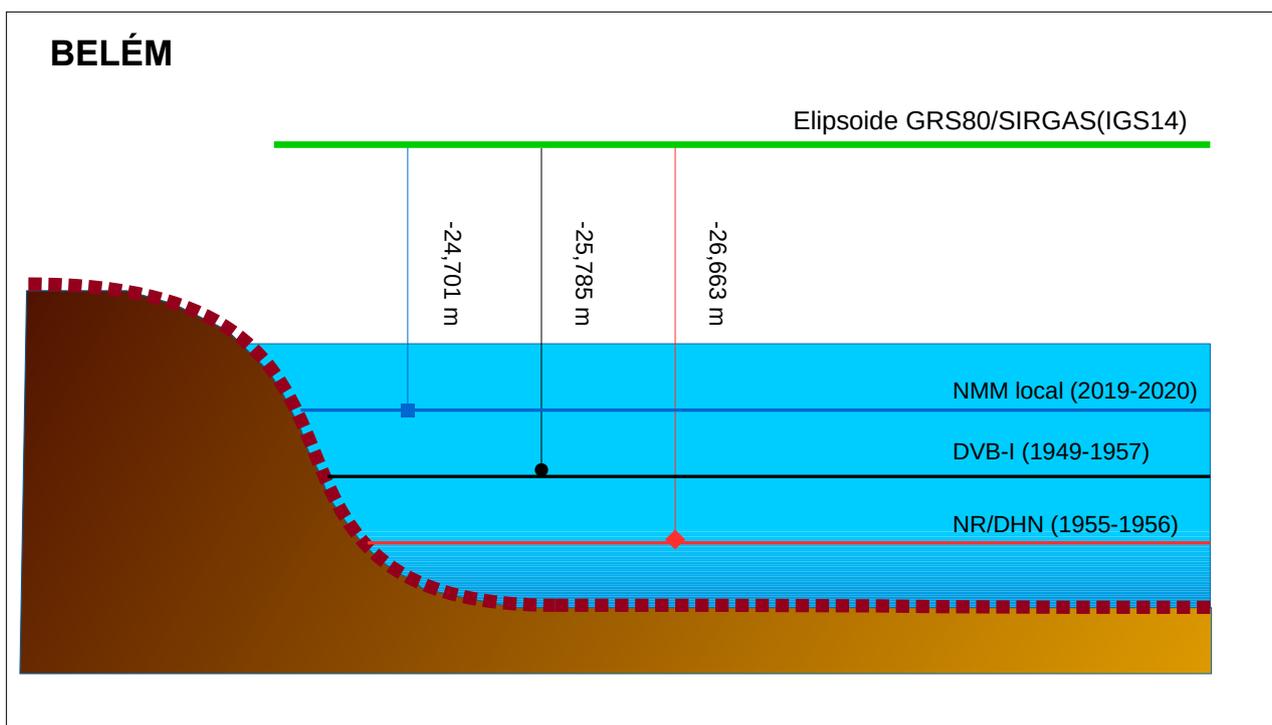
Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

Figura 59 - Relação entre o elipsoide e os níveis de referência para a Estação  
Maregráfica de Fortaleza (CE)



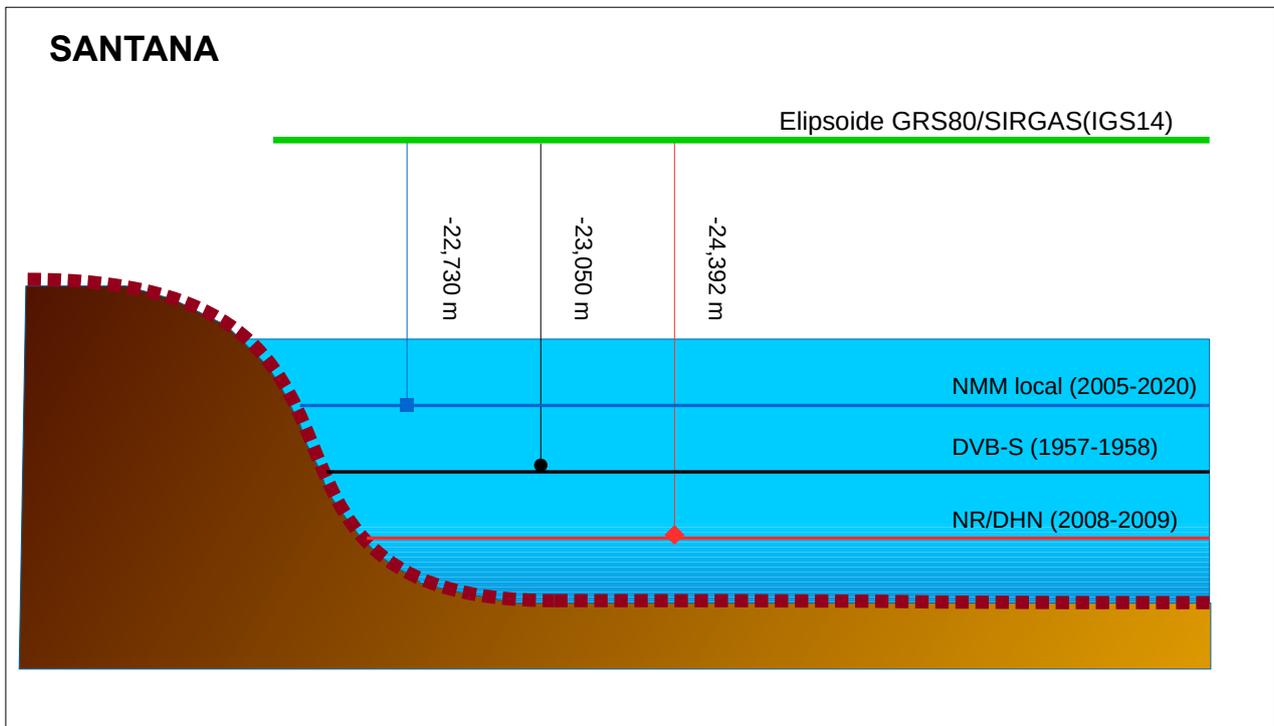
Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

Figura 60 - Relação entre o elipsoide e os níveis de referência para a Estação  
Maregráfica de Belém (PA)



Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

**Figura 61 - Relação entre o elipsoide e os níveis de referência para a Estação Maregráfica de Santana (AP)**



Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.



## Comentários finais e perspectivas

Foram apresentadas as mais recentes inovações na RMPG com a atual configuração da Rede e a padronização de processos. As observações maregráficas foram minuciosamente analisadas, à luz das melhores práticas, a fim de corrigir saltos, derivas, ausência de dados, e anomalias diversas, gerando como resultados as séries temporais das estações maregráficas que serão publicadas, anualmente, na página da RMPG, no portal do IBGE, de acordo com a metodologia ora proposta. Além disso, serão publicadas também as fichas atualizadas de correlação de níveis dessas estações, com a inclusão da conexão geocêntrica e os arquivos de suas respectivas constantes harmônicas, essenciais para as previsões anuais. A Figura 62 apresenta a página da RMPG com a nova função “Análise de dados”, por meio da qual o usuário passará a ter acesso a esses produtos.

**Figura 62 - Nova função “Análise de dados” da RMPG**

The screenshot shows the top navigation bar of the Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) website. The main content area is titled 'RMPG - Rede Maregráfica Permanente para Geodésia'. Under the heading 'Dados diários e situação operacional', there are three buttons: 'Situação operacional', 'Download de dados', and 'Análise de dados'. The 'Análise de dados' button is highlighted in blue. On the left side, there is a sidebar menu with 'Parcerias' and 'Dados diários e situação operacional' (the latter being highlighted in blue).

Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

A régua de marés se mostrou uma ferramenta valiosa para a vinculação das diferentes referências constantes em uma estação maregráfica, e, quando combinada ao nivelamento geométrico e aos Testes de Van de Casteele, proporcionou análises adequadas para a composição da série temporal, vinculada ao sensor principal radar na posição atual. O histórico dos Testes de Van de Casteele disponibilizado nesta publicação é fundamental para os usuários trabalharem com os dados diários das observações maregráficas da RMPG em diversas épocas.

O incremento de quatro a cinco anos nas séries temporais, desde o último reprocessamento, possibilitou um avanço importante no entendimento do comportamento das tendências e da variação do nível do mar. Constatou-se, durante as análises, a vulnerabilidade das séries quando expostas a fenômenos de curta duração. Cita-se como exemplo o período de março a junho de 2020 em Salvador (BA), no qual foram observados os maiores índices pluviométricos dos últimos 36 anos (INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS, 2020), gerando um incremento na tendência da série de 0,6 mm/ano. Provavelmente, séries históricas superiores a 40 anos são menos expostas a esses fenômenos.

As séries com curta duração das estações mais novas, isto é, Arraial do Cabo (RJ) e Belém (PA), apesar de ainda não possibilitarem a determinação de valores de nível médio do mar e de tendência mais consistentes, mostraram-se fundamentais para o entendimento do comportamento do nível médio do mar na costa brasileira, sobretudo as comparações feitas entre Arraial do Cabo (RJ) e Macaé (RJ). Os sinais meteorológicos, assim como as taxas de variação crustal são questões complexas que ainda precisam de aprofundamento metodológico.

No âmbito do controle geodésico, a adoção do nível eletrônico proporcionou maior controle e mais rigor nas medições de campo; assim, os resultados por meio do nivelamento geométrico científico mostraram que a maioria das referências de nível analisadas possuem movimentação vertical submilimétrica, o que permite apontar que as plataformas e áreas em que as estações maregráficas estão situadas dispõem de ótima estabilidade local, o que reforça a necessidade de avanço nas análises da movimentação vertical da crosta.

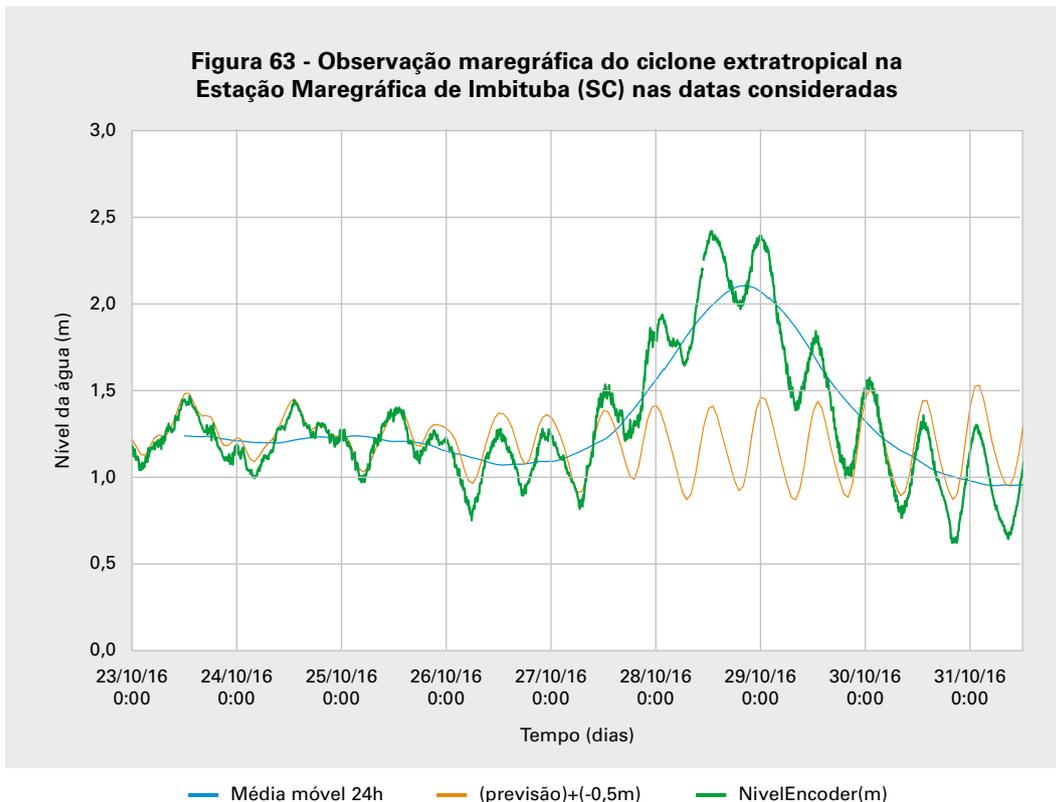
Atualmente, a maioria das estações maregráficas da RMPG possui uma estação CGNSS próxima. O posicionamento GNSS tende a ter uma incerteza menor que a combinação de medidas da altimetria por satélite e marégrafos na determinação da movimentação da crosta. Entretanto, essas séries são frequentemente degradadas por descontinuidades diversas, desde as várias realizações do referencial terrestre dos resultados GNSS, até os efeitos ocasionados pela substituição de equipamentos, entre outros fatores.

Nesse contexto, destaca-se que um dos grandes desafios atuais da Geodésia está na determinação de um Sistema Geodésico de Referência - SGR global para as altitudes, conforme definido pela Associação Internacional de Geodésia - AIG (International Association of Geodesy, 2015; SÁNCHEZ *et al.*, 2021). Uma correta determinação e investigação das mudanças globais do Sistema Terra permeiam um SGR estável a longo prazo e consistente em todo o globo, e, para isso, inconsistências existentes entre estratégias de análise, modelos e produtos relaciona-

dos à geometria da Terra e ao campo de gravidade devem ser resolvidos (IHDE *et al.*, 2015). Ou seja, para estudos de longo prazo relacionados à variação do nível médio do mar e seus impactos na região costeira, o movimento vertical da crosta deve ser determinado com uma incerteza da ordem de uma magnitude abaixo dos sinais climáticos contemporâneos de 1 a 3 mm/ano observados por marégrafos e pela altimetria por satélite (WÖPPELMANN; MARCOS, 2016). Qualquer análise utilizando-se os resultados da variação do nível do mar apresentados no presente estudo deve estar ciente de que, apesar do emprego das melhores práticas na geração das séries temporais, ainda há limitações que devem ser consideradas.

As fichas de correlação de níveis atualizadas apresentam, agora, não apenas as constantes de vinculação entre o nível médio do mar local e o DVB e o nível de redução, como também a conexão geocêntrica. O provimento de informações altimétricas integradas, isto é, altitudes e profundidades, é imprescindível para a correta avaliação e o monitoramento de riscos associados à costa. Nesse sentido, foi criado, por meio da Portaria n. 76, de 26.03.2018, do Ministério do Meio Ambiente, o Programa Nacional para Conservação da Linha de Costa - PROCOSTA (BRASIL, 2018). Destaca-se, no escopo do PROCOSTA, o Projeto ALT-BAT que tem como objetivo “a compatibilização dos níveis de referência para descrição e representação do relevo terrestre (altimetria) e submarino (batimetria) em toda a costa brasileira” (BRASIL, 2018). Essa importante iniciativa poderá trazer subsídios para se ter, no Brasil, uma correta correlação entre as altitudes e profundidades advindas da Cartografia Terrestre e da Cartografia Náutica. Alinhado a essa necessidade, Soares, Santos e Luz (2018) apresentam resultados preliminares dos esforços do IBGE na implantação de uma Rede Geodésica de Referência Costeira - RGRC para apoio ao estudo dos impactos das mudanças climáticas sobre o nível do mar na zona costeira brasileira.

A temática da elevação do nível do mar e seus efeitos costeiros é um dos indicadores das mudanças climáticas (Sea Level Research Group, 2021) no médio e longo prazos. No curto prazo, uma mera coincidência de fatores, como maré meteorológica, maré astronômica de sizígia e uma forte ressaca, quando combinados, podem gerar transtornos imediatos, como inundações costeiras, destruição de orlas, entre outros eventos. Estiagens severas no Rio Amazonas também promovem prejuízos, como, por exemplo, a redução na capacidade de carga e o desabastecimento regional. Na Figura 63, apresenta-se um exemplo de evento extremo de curto período registrado na Estação Maregráfica de Imbituba (SC). A ocorrência de um ciclone extratropical elevou o nível do mar entre os dias 28 e 29 de outubro de 2016 a níveis totalmente incomuns. A linha em laranja no gráfico representa os valores previstos, e a linha verde, os valores observados.



Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia.

As observações coletadas pelas diversas estações maregráficas da RMPG proporcionam diversificados estudos ao longo da costa brasileira. Luz e Freitas (2005), por exemplo, analisaram o tsunami causado pelo terremoto de Sumatra-Andaman, de magnitude 9,3, ocorrido em 2004, que se propagou por todo o planeta, com os primeiros sinais registrados pela Estação Maregráfica de Macaé 23 horas depois da catástrofe. Arentz (2009) utilizou dados da Estação Maregráfica de Santana (AP) na modelagem hidrodinâmica do canal norte do estuário do Rio Amazonas para auxílio à navegação. Inúmeros outros estudos relacionados aos *data* de Imbituba (SC) e Santana (AP) visando melhorias no sistema de altitudes do SGB já foram realizados.

A RMPG também integra o programa GLOSS-Brasil (Global Sea Level Observing System), sub-programa do GOOS-Brasil (Global Observing Ocean System), organizado na forma de uma rede de instituições que operam e mantêm marégrafos e que, cooperativamente, participam do programa de aquisição e disseminação de dados à comunidade e instituições internacionais reconhecidas pela Comissão Oceanográfica Intergovernamental (Intergovernmental Oceanographic Commission - IOC) da UNESCO (GLOSS-Brasil, 2021). O programa conta com 15 marégrafos, entre eles relíquias do monitoramento permanente no País, como os marégrafos de Cananéia (SP), e Ubatuba (SP), instalados em 1954 e 1967, respectivamente, e mantidos pela Universidade de São Paulo - USP (MESQUITA, 1997), e o marégrafo da Ilha Fiscal (RJ) da Diretoria de Hidrografia e Navegação - DHN, da Marinha do Brasil, com registros desde 1963.

O monitoramento permanente do nível do mar é uma tarefa árdua, porém algumas iniciativas a níveis nacional e estadual estão ocorrendo e podem auxiliar no refinamento da componente vertical do SGB. Destacam-se, nesse sentido, o Sistema de Monitoramento da Costa Brasileira - SiMCosta e a rede de marégrafos da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina - EPAGRI no litoral desse Estado.

O SiMCosta é uma iniciativa da Sub-Rede Zonas Costeiras da Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais - Rede Clima, do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, e conta, atualmente, com boias meteo-oceanográficas e 12 marégrafos dotados de instrumentos e sensores que coletam variáveis oceanográficas e meteorológicas (BRASIL, [2021]). Seu centro de controle está sediado na Universidade Federal do Rio Grande - FURG.

A Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (2021), através do Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina - CIRAM, mantém uma rede de monitoramento com 11 marégrafos, constituindo a melhor cobertura estadual do País.

As parcerias institucionais firmadas entre o IBGE e outros órgãos nacionais e internacionais são fundamentais para que a RMPG alcance seus objetivos. Fazem parte do conjunto de parceiros as instituições: SCPAR Porto de Imbituba; Companhia Docas do Ceará - CDC; Companhia Docas do Pará - CDP; Companhia Docas de Santana - CDSA; Companhia Municipal de Administração Portuária - COMAP, administradora do Porto do Forno; Diretoria de Hidrografia e Navegação - DHN da Marinha do Brasil; Universidade Federal do Paraná - UFPR; Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ; Universidade Federal do Rio Grande - FURG; e Universidade do Havaí (University of Hawaii).

Como pôde ser visto ao longo desta publicação, muito avanços importantes nos procedimentos operacionais, técnicos e metodológicos foram empregados com o intuito de fornecer séries temporais devidamente consolidadas para a pesquisa, além de fichas de correlação de níveis atualizadas que ficarão disponíveis na página da RMPG, no portal do IBGE. Os próximos passos da RMPG continuarão, portanto, na linha do desenvolvimento, de inovações e do aprimoramento de técnicas e procedimentos que venham a melhorar ainda mais suas informações e contribuir para o cumprimento de sua missão institucional.



## Referências

ALENCAR, J. C. M. de. Datum altimétrico brasileiro. *Cadernos de Geociências*, Rio de Janeiro: IBGE, n. 5, p. 69-73, jul. 1990. Disponível em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/116/cgeo\\_1990\\_n5\\_jul.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/116/cgeo_1990_n5_jul.pdf). Acesso em: ago. 2021.

ALMEIDA, M. S.; DAL POZ, W. R. Posicionamento por ponto preciso e posicionamento relativo com GNSS: qual é o método mais acurado atualmente? *Boletim de Ciências Geodésicas*, Curitiba: Universidade Federal do Paraná - UFPR, Departamento de Geomática, v. 22, n. 1, p. 175-195, jan./mar. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702016000100010>. Acesso em: ago. 2021.

ANÁLISE do nível médio do mar nas estações da rede maregráfica permanente para Geodésia - RMPG 2001-2015. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. 61 p. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/rede-geodesica/10842-rmpg-rede-maregrafica-permanente-para-geodesia.html?edicao=16277&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: ago. 2021.

ARENTZ, M. F. R. *A modelagem hidrodinâmica como auxílio à navegação no canal norte do estuário do Amazonas*. Orientadora: Susana Beatriz Vinzon. 2009. 166 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp102879.pdf>. Acesso em: ago. 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Portaria n. 76, de 26 de março de 2018. Institui o Programa Nacional para Conservação da Linha de Costa. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, ano 155, n. 60, p. 161, 28 mar. 2018. Disponível em: [https://antigo.mma.gov.br/images/arquivos/gestao\\_territorial/gerenciamento\\_costeiro/Procosta/PORTARIA\\_N%C2%BA\\_76\\_26\\_mar%C3%A7o\\_de\\_2018.pdf](https://antigo.mma.gov.br/images/arquivos/gestao_territorial/gerenciamento_costeiro/Procosta/PORTARIA_N%C2%BA_76_26_mar%C3%A7o_de_2018.pdf). Acesso em: ago. 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente; Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. *Sistema de monitoramento da costa brasileira*. Rio Grande: Universidade Federal do Rio Grande - FURG, [2021]. Disponível em: <https://simcosta.furg.br/home>. Acesso em: ago. 2021.

CALADO, L. G. L. P.; GARNÉS, S. J. dos A.; JAMUR, K. P. Análise da Estação Maregráfica de Fortaleza para determinar as variações do nível do mar. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 7., 2018, Recife. Anais [...]. Recife: Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, 2018. p. 461-470. Disponível em: <https://www.ufpe.br/documents/39451/1384233/Anais+do+VII+SIMGEO/2ff23c73-935d-4418-8728-feb24630f34>. Acesso em: ago. 2021.

CALDWELL, P. *Hourly sea level data processing and quality control software*: update for 64-bit microsoft operating systems: SLP64 user manual: version 4.0. Honolulu: Joint Archive for Sea Level - JASL, 2014. 67 p. (Jimar contribution, n. 14-389). Disponível em: [http://ilikai.soest.hawaii.edu/UHSLC/jasl/slp64/SLP64\\_Manual.pdf](http://ilikai.soest.hawaii.edu/UHSLC/jasl/slp64/SLP64_Manual.pdf). Acesso em: ago. 2021.

CASTELLO, J. P.; KRUG, L. C. (org.) *Introdução às ciências do mar*. Revisão científica Danilo Calazans; ilustrações Kely Martinato. Pelotas: Textos, 2015. 601 p.

DALAZOANA, R. *et al. Controle vertical das RRNN e da posição geocêntrica do marégrafo no Porto de Imbituba*. 2005. 6 p. Trabalho apresentado no IV Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, realizado em Curitiba, 2005. Disponível em: <https://artigos.ibge.gov.br/artigos-home/geodesia/2008-2005>. Acesso em: ago. 2021.

EKMAN, M. Impacts of geodynamic phenomena on systems for height and gravity. *Bulletin Géodésique*, Paris: Association Internationale de Géodésie - AIG: Union Géodésique et Géophysique Internationale - UGGI, v. 63, n. 3, p. 281-296, 1989. Disponível em: <https://tinyurl.com/37nmz36r>. Acesso em: ago. 2021.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA. Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina. *Litoral on-line*. Florianópolis: Epagri: Ciram, [2021]. Disponível em: <https://ciram.epagri.sc.gov.br/litoral-online/>. Acesso em: jul. 2021.

FRANCO, A. dos S. *Marés: fundamentos, análise e previsão*. 2. ed. Niterói: Marinha do Brasil, Diretoria de Hidrografia e Navegação - DHN, 2009. 344 p.

GEMAEL, C. *Introdução à Geodésica Física*. Curitiba: Editora da UFPR, 2012. 302 p.

GIEHL, S. *Determinação de movimentos verticais da crosta por meio da integração de observações maregráficas e da altimetria por satélite no Datum Vertical Brasileiro de Imbituba no período de 2002 a 2015*. Orientadora: Regiane Dalazoana. 2020. 108 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba, 2020. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/69971/R%20-%20D%20-%20SAMOEL%20GIEHL.pdf>. Acesso em: ago. 2021.

GLOSS-BRASIL. [S. l.], 2021. Componente GOOS brasileira da Aliança Regional para a Oceanografia no Atlântico Sudoeste Superior e Tropical (Regional Alliance for the Upper Southwest and Tropical Atlantic - Oceaatlan). Disponível em: <http://www.goosbrasil.org/gloss/>. Acesso em: jul. 2021.

HAILEGEBEREL, M. *et al. User's guide to vertical control and geodetic leveling for CO-OPS observing systems*. Silver Spring: National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA, Center for Operational Oceanographic Products and Services, CO-OPS, May 2018. 64 p. Disponível em: [https://tidesandcurrents.noaa.gov/publications/Users\\_Guide\\_to\\_Vertical\\_Control\\_and\\_Geodetic\\_Leveling\\_for\\_CO-OPS\\_Observing\\_Systems-May\\_2018.pdf](https://tidesandcurrents.noaa.gov/publications/Users_Guide_to_Vertical_Control_and_Geodetic_Leveling_for_CO-OPS_Observing_Systems-May_2018.pdf). Acesso em: ago. 2021.

IBGE. *Centro de análise SIRGAS*. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/sirgas/16257-centro-de-analise-ibge.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: out. 2016.

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*. Rio de Janeiro, 11 fev. 2009. 5 p. Disponível em: [https://geoftp.ibge.gov.br/metodos\\_e\\_outros\\_documentos\\_de\\_referencia/outros\\_documentos\\_tecnicos/rmpg/relacao\\_dvsbg\\_nr\\_zh.pdf](https://geoftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/outros_documentos_tecnicos/rmpg/relacao_dvsbg_nr_zh.pdf). Acesso em: ago. 2021.

IBGE. *Especificações e normas para levantamentos geodésicos associados ao Sistema Geodésico Brasileiro*. Rio de Janeiro, 2017. 56 p. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/metodos-e-outros-documentos-de-referencia/normas/16463-especificacao-e-normas-gerais-para-levantamentos-geodesicos-em-territorio-brasileiro.html?edicao=16469&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: ago. 2021.

IBGE. *Instruções técnicas para controle geodésico de estações maregráficas - CGEM e sua vinculação vertical ao Sistema Geodésico Brasileiro - SGB*. Rio de Janeiro, 2010. 36 p. (Manuais técnicos em Geociências, n. 11). Acompanha 1 CD-ROM. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/metodos-e-outros-documentos-de-referencia/revista-e-manuais-tecnicos/15826-manual-tecnico-em-geociencias.html?edicao=16446&t=publicacoes>. Acesso em: ago. 2021.

IBGE. *Padronização de marcos geodésicos*. Rio de Janeiro, ago. 2008. 27 p. Norma de serviço n. 1/2008, da Diretoria de Geociências. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/metodos-e-outros-documentos-de-referencia/normas/16466-padronizacao-de-marcos-geodesicos.html?edicao=16471&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: ago. 2021.

IBGE. *Reajustamento da rede altimétrica com números geopotenciais*. 2. ed. Rio de Janeiro, 2019. 54 p. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/rede-geodesica/16283-rede-altimetrica.html?=&t=publicacoes>. Acesso em: ago. 2021.

IHDE, J. *et al.* Report of the ad-hoc group on an International Height Reference System (IHRs). *In: INTERNATIONAL ASSOCIATION OF GEODESY. Reports 2011-2015*. München: IAG, 2015. p. 549-557. (Travaux, v. 39). Trabalho preparado para a Assembleia Geral da International Union of Geodesy and Geophysics - IUGG, realizada em Praga, 2015. Disponível em: [https://iag.dgfi.tum.de/fileadmin/IAG-docs/Travaux2015/25\\_Concept\\_IHRs.pdf](https://iag.dgfi.tum.de/fileadmin/IAG-docs/Travaux2015/25_Concept_IHRs.pdf). Acesso em: ago. 2021.

IHDE, J.; MÄKINEN, J.; SACHER, M. *Conventions for the definition and realization of a European Vertical Reference System (EVRS): EVRS conventions 2007*. Frankfurt am Main: Federal Agency for Cartography and Geodesy [Bundesamt für Kartographie und Geodäsie - BKG], 17 Dec. 2008. 10 p. Disponível em: <https://www.bkg.bund.de/SharedDocs/Downloads/EVRS/EN/Publications/EVRFConventions2007.html>. Acesso em: ago. 2021.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. *Salvador tem os meses de março, abril e maio mais chuvosos dos últimos 36 anos*. Salvador: Inema, 2020. Notícia de 4 jun. 2020. Disponível em: <http://www.inema.ba.gov.br/2020/06/salvador-tem-os-meses-de-marco-abril-e-maio-mais-chuvoso-dos-ultimos-36-anos/>. Acesso em: ago. 2021.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF GEODESY. IAG resolution 1: for the definition and realization of an International Height Reference System (IHRs). *In: GENERAL ASSEMBLY OF THE INTERNATIONAL UNION OF GEODESY AND GEOPHYSICS, 26., Prague, 2015. Proceedings [...]*. Potsdam: IUGG, 2015. p. 68. Disponível em: [https://iag.dgfi.tum.de/fileadmin/IAG-docs/IAG\\_Resolutions\\_2015.pdf](https://iag.dgfi.tum.de/fileadmin/IAG-docs/IAG_Resolutions_2015.pdf). Acesso em: ago. 2021.

LARSON, K. M. *et al.* The accidental tide gauge: a GPS reflection case study from Kachemak Bay, Alaska. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, New York: IEEE, v. 10, n. 5, p. 1200-1204, Feb. 2013 .

LUZ, R. T. *Estratégias para modernização da componente vertical do Sistema Geodésico Brasileiro e sua integração ao SIRGAS*. Orientador: Sílvio Rogério Correia de Freitas. 2008. 205 p. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba, 2008. Disponível em: [http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Roberto\\_Teixeira\\_Luz\\_Tese\\_de\\_Doutorado.pdf](http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Roberto_Teixeira_Luz_Tese_de_Doutorado.pdf). Acesso em: ago. 2021.

LUZ, R. T. *et al.* *Monitoramento da variação do nível médio do mar nas estações da RMPG, 2001-2012.* In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 26., 2014, Gramado. *Anais [...]*. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto - SBC, 2014. 18 p. Disponível em: <https://livrozilla.com/doc/514555/monitoramento-da-varia%C3%A7%C3%A3o-do-n%C3%ADvel-m%C3%A9dio-do-mar>. Acesso em: ago. 2021.

LUZ, R. T.; FREITAS, S. R. C. de. *Análise preliminar dos efeitos do tsunami de Sumatra-Andaman nos registros das estações da RMPG.* 2005. [6] p. Trabalho apresentado no IV Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, realizado em Curitiba, 2005. Disponível em: <https://artigos.ibge.gov.br/artigos-home/geodesia/2008-2005/3080-analise-preliminar-dos-efeitos-do-tsunami-de-sumatra-andaman-nos-registros-das-estacoes-da-rmpg>. Acesso em: ago. 2021.

LUZ, R. T.; GUIMARÃES, V. M. *Dez anos de monitoramento do nível do mar no IBGE.* 7 p. Trabalho apresentado no III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, realizado em Curitiba, 2003. Disponível em: <https://artigos.ibge.gov.br/artigos-home/geodesia/2004-2000.html>. Acesso em: ago. 2021.

MESQUITA, A. R. de. *Marés, circulação e nível do mar na costa sudeste do Brasil.* São Paulo: Universidade de São Paulo - USP, Instituto Oceanográfico, dez. 1997. Documento preparado para a Fundação de Estudos e Pesquisas Aquáticas - Fundespa. Disponível em: <http://www.mares.io.usp.br/sudeste/sudeste.html>. <http://www.mares.io.usp.br/sudeste/sudeste.html> Acesso em: ago. 2021 .

MIGUENS, A. P. (org.). *Navegação: a ciência e a arte, volume 1: navegação costeira, estimada e em águas restritas.* Rio de Janeiro: Marinha do Brasil, Diretoria de Hidrografia e Navegação - DHN, 1996. 538 p.

MIGUEZ, B. M.; TESTUT, L.; WÖPPELMANN, G. The Van de Casteele test revisited: an efficient approach to tide gauge error characterization. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Boston: American Meteorological Society - AMS, v. 25, n. 7, p. 1238-1244, July 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/2007JTECHO554.1>. Acesso em: ago. 2021.

MONICO, J. F. G. *Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações.* 2. ed. São Paulo: Ed. da Unesp, 2008. 476 p.

MOREIRA, R. da M.; FREITAS, S. R. C. de. Conexão de sistemas verticais de referência locais ao Sistema Geodésico Brasileiro com base em um sistema vertical de referência global. *Boletim de Ciências Geodésicas*, Curitiba: Universidade Federal do Paraná - UFPR, Departamento de Geomática, v. 22, n. 2, p. 232-247, jun. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1982-21702016000200013>. Acesso em: ago. 2021.

NATIONAL OCEANOGRAPHIC CENTRE (Reino Unido). *Permanent service for mean sea level.* Liverpool: NOC, [2021]. Disponível em: <https://www.psmsl.org/>. Acesso em: fev. 2021.

NIEVINSKI, F. G.; MONICO, G.; SILVA, M. F. e. *Reflectometria por multicaminho com GPS: revisão e primeiras aplicações no Brasil*. 2013. Trabalho apresentado no VIII Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, realizado em Curitiba, 2013.

PUGH, T. D. *Tides, surges and mean sea-level*. Chichester: Wiley, 1996. 472 p. Disponível em: <https://eprints.soton.ac.uk/19157/1/sea-level.pdf>. Acesso em: ago. 2021.

RELATÓRIO de monitoramento da variação do nível médio do mar nas estações da rede maregráfica permanente para Geodésia 2001-2012. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 47 p. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/rede-geodesica/10842-rmpg-rede-maregrafica-permanente-para-geodesia.html?edicao=16277&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: ago. 2021.

RIBAS JUNIOR, N. de S. *et al.* Controle geodésico do nível do mar em Salvador: análises e correlações. *Revista Brasileira de Cartografia*, Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto - SBC; Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia - UFU, v. 73, n. 2, p. 470-488, abr./jun. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/rbcv73n2-55420>. Acesso em: ago. 2021.

SÁNCHEZ, L. *et al.* Strategy for the realisation of the International Height Reference System (IHRs). *Journal of Geodesy*, London: Springer Nature, v. 95, n. 3, 33 p., 22 Feb. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00190-021-01481-0>. Acesso em: ago. 2021.

SÁNCHEZ, L.; SIDERIS, M. G. Vertical datum unification for the International Height Reference System (IHRs). *Geophysical Journal International*, London: Royal Astronomical Society - RAS; Oxford: Oxford University Press, v. 209, n. 2, p. 570-586, May 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/gji/ggx025>. Acesso em: ago. 2021.

SANTANA, T. A. *Contribuições para os estudos de integração das componentes verticais terrestre e marinha ao longo da costa brasileira*. Orientadora: Regiane Dalazoana. 2020. 140 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba, 2020. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/66382/R%20-%20D%20-%20TULIO%20ALVES%20SANTANA.pdf>. Acesso em: ago. 2021.

SANTOS, S. F. *Investigação de anomalia nos registros do marégrafo do IBGE em Macaé*. 2010. 201 p. Projeto final (Graduação em Engenharia Cartográfica) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ, Rio de Janeiro, 2010.

Sea Level Research Group. *2020\_rel1*: global mean sea level (seasonal signal removed). Colorado: University of Colorado, [2021]. Disponível em: <https://sealevel.colorado.edu/data/2020rel1-global-mean-sea-level-seasonal-signals-removed>. Acesso em: ago. 2021.

SEEBER, G. *Satellite geodesy*. 2nd. ed., completely revised and extended. Berlin: Walter de Gruyter, 2003. 589 p. Disponível em: <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-seeber-g-satellite-geodesy-2003.pdf>. Acesso em: ago. 2021.

SILVA, L. M. da. *Análise da evolução temporal do datum vertical brasileiro de Imbituba*. Orientador: Sílvio Rogério Correia de Freitas. 2017. 270 p. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba, 2017. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/47347/R%20-%20T%20-%20LUCIANA%20MARIA%20DA%20SILVA%20.pdf>. Acesso em: ago. 2021.

SISTEMA DE REFERÊNCIA GEOCÊNTRICO PARA AS AMÉRICAS. Rio de Janeiro: Sirgas, dez. 2002. [111 p.]. (Boletim informativo, n. 7). Preparado sob os auspícios de International Association of Geodesy - IAG, Instituto Panamericano de Geografía e Historia - IPGH e National Imagery and Mapping Agency - NIMA. Disponível em: [http://sirgas.dgfi.tum.de/fileadmin/docs/Boletines/boI\\_007.pdf](http://sirgas.dgfi.tum.de/fileadmin/docs/Boletines/boI_007.pdf). Acesso em: ago. 2021. Adaptado.

SISTEMA DE REFERÊNCIA GEOCÊNTRICO PARA AS AMÉRICAS. *SIRGAS-CON*. Rio de Janeiro: Sirgas, [2021]. Disponível em: <https://sirgas.ipgh.org/pt/realizacoes/sirgas-con/>. Acesso em: ago. 2021.

SOARES, S.; SANTOS, E. G. dos; LUZ, R. T. Rede geodésica de referência costeira (RGRC) como insumo para integração de altitudes e profundidades: resultados preliminares. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 7., 2018, Recife. Anais [...]*. Recife: Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, 2018. p. 742-751. Disponível em: <https://www.ufpe.br/documents/39451/1384233/Anais+do+VII+SIMGEO/2ff23c73-935d-4418-8728-fefb24630f34>. Acesso em: ago. 2021.

SONEL. La Rochelle: Université de La Rochelle, [2021]. Disponível em: <https://www.sonel.org/?lang=en>. Acesso em: ago. 2021.

SPYDER documentation. Cambridge: Spyder Doc Contributors, [2021]. Disponível em: <https://docs.spyder-ide.org/current/index.html>. Acesso em: ago. 2021.

TENZER, R. *et al.* Assessment of the LVD offsets for the normal-orthometric heights and different permanent tide systems: a case study of New Zealand. *Applied Geomatics*, Roma: Italian Society of Photogrammetry and Topography - Sifet; New York: Springer, v. 3, n. 1, p. 1-8, Mar. 2011. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/224970095\\_Assessment\\_of\\_the\\_LVD\\_offsets\\_for\\_the\\_normal-orthometric\\_heights\\_and\\_different\\_permanent\\_tide\\_systems\\_-\\_A\\_case\\_study\\_of\\_New\\_Zealand](https://www.researchgate.net/publication/224970095_Assessment_of_the_LVD_offsets_for_the_normal-orthometric_heights_and_different_permanent_tide_systems_-_A_case_study_of_New_Zealand). Acesso em: ago. 2021.

TERVO, M.; POUTANEN, M.; KOIVULA, H. Tide gauge monitoring using GPS. *In: TREGONING, P.; RIZOS, C. (ed.). Dynamic planet: monitoring and understanding a dynamic planet with geodetic and oceanographic tools*. Berlin: Springer-Verlag, c2007. p. 75-79. (International Association

of Geodesy Symposia, v. 130). Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/226898221\\_Tide\\_gauge\\_monitoring\\_using\\_GPS](https://www.researchgate.net/publication/226898221_Tide_gauge_monitoring_using_GPS). Acesso em: ago. 2021.

TORGE, W.; MÜLLER, J. *Geodesy*. 4th. ed. Berlin: Walter De Gruyter, 2012. 433 p. (De Gruyter textbook).

UNESCO. Intergovernmental Oceanographic Commission. *The Global Sea-level Observing System (GLOSS): implementation plan 2012*. Paris: IOC, 2012. 44 p. (Technical series, n. 100; GOOS report, n. 194; JCOMM technical report, n. 66). Disponível em: <https://www.gloss-sealevel.org/library/gloss-implementation-plan>. Acesso em: ago. 2021.

UNESCO. Intergovernmental Oceanographic Commission. *Manual de medição e interpretação do nível do mar*. Tradução Rita Monteiro, sob a orientação de Armando Fiúza. Paris: IOC, 1985. 82 p. (Manuais e guias, n. 14, v. 1). Título original: Manual on sea level measurement and interpretation: basic producers. Disponível em: [http://www.psmsl.org/train\\_and\\_info/training/manuals](http://www.psmsl.org/train_and_info/training/manuals). Acesso em: ago. 2021.

UNESCO. Intergovernmental Oceanographic Commission. *Manual on sea level measurement and interpretation: an update to 2006*. Paris: IOC, 2006. 80 p. (Manuals and guides, n. 14, v. 4; JCOMM technical report, n. 31). Disponível em: [https://www.psmsl.org/train\\_and\\_info/training/manuals/](https://www.psmsl.org/train_and_info/training/manuals/). Acesso em: ago. 2021.

UNESCO. Intergovernmental Oceanographic Commission. *Manual on sea level measurement and interpretation: emerging technologies*. Paris: IOC, 1994. 52 p. (Manuals and guides, n. 14, v. 2). Disponível em: [https://www.psmsl.org/train\\_and\\_info/training/manuals/](https://www.psmsl.org/train_and_info/training/manuals/). Acesso em: ago. 2021.

UNESCO. Intergovernmental Oceanographic Commission. *Manual on sea level measurement and interpretation: radar gauges*. Paris: IOC, 2016a. 104 p. (Manuals and guides, n. 14, v. 5; JCOMM technical report, n. 89). Disponível em: [https://www.psmsl.org/train\\_and\\_info/training/manuals/](https://www.psmsl.org/train_and_info/training/manuals/). Acesso em: ago. 2021.

UNESCO. Intergovernmental Oceanographic Commission. *Manual on sea level measurement and interpretation: radar gauges: practical experiences*. Paris: IOC, 2016b. 124 p. (Manuals and guides, n. 14, v. 5; JCOMM technical report, n. 89). Suplemento. Disponível em: [https://www.psmsl.org/train\\_and\\_info/training/manuals/](https://www.psmsl.org/train_and_info/training/manuals/). Acesso em: ago. 2021.

UNESCO. Intergovernmental Oceanographic Commission. *Manual on sea level measurement and interpretation: reappraisals and recommendations as of the year 2000*. Paris: IOC, 2002. 47 p. (Manuals and guides, n. 14, v. 3). Disponível em: [https://www.psmsl.org/train\\_and\\_info/training/manuals/](https://www.psmsl.org/train_and_info/training/manuals/). Acesso em: ago. 2021.

UNESCO. Intergovernmental Oceanographic Commission. *Quality control of in situ sea level observations: a review and progress towards automated quality control*. Paris: IOC, 2020. 44 p. (Manuals and guides, n. 83, v. 1.) Disponível em: [https://www.psmsl.org/train\\_and\\_info/training/manuals/](https://www.psmsl.org/train_and_info/training/manuals/). Acesso em: ago. 2021.

UNESCO. Intergovernmental Oceanographic Commission; FLANDERS MARINE INSTITUTE. *Sea level station monitoring facility*. Paris: IOC; Ostend: Vliz, [2021]. Disponível em: <http://www.ioc-sealevelmonitoring.org/>. Acesso em: ago. 2021.

WERLICH, R. M. C.; KRUEGER, C. P.; HUINCA, S. C. M. Análise da altitude elipsoidal quando inseridos parâmetros próprios de calibração de antenas GPS em posicionamentos de alta precisão. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOMATEMÁTICA*, 3., 2012, Presidente Prudente. *Anais [...]*. Presidente Prudente: Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - Unesp, 2012. v. 1. p. 223-227. Disponível em: [http://docs.fct.unesp.br/departamentos/cartografia/eventos/2012\\_III\\_SBG/\\_artigos/A142.pdf](http://docs.fct.unesp.br/departamentos/cartografia/eventos/2012_III_SBG/_artigos/A142.pdf). Acesso em: ago. 2021.

WILLIAMS S. D. P.; BAKER, T. F.; JEFFRIES, G. Absolute gravity measurements at UK tide gauges. *Geophysical Research Letters*, Washington, DC: American Geophysical Union - AGU, v. 28, n. 12, p. 2317-2320, 15 June 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2000GL012438>. Acesso em: ago. 2021.

WÖPPELMANN, G.; MARCOS, M. Vertical land motion as a key to understanding sea level change and variability. *Reviews of Geophysics*, New York: Wiley; Washington, DC: American Geophysical Union - AGU, v. 54, n. 1, p. 64-92, Mar. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/2015RG000502>. Acesso em: ago. 2021.

ZANETTI, G. Z.; VEIGA, L. A. K.; OLIVEIRA JÚNIOR, P. S. Monitoramento estrutural por GNSS: análise do PPP e posicionamento relativo na UHE Mauá. *Anuário do Instituto de Geociências*, Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, v. 43, n. 3, p. 240-249, 2020. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/38603>. Acesso em: ago. 2021.

ZERBINI S. *et al.* Height and gravity variations by continuous GPS, gravity and environmental parameter observations in the southern Po Plain, near Bologna, Italy. *Earth and Planetary Science Letters*, Amsterdam: Elsevier, v. 192, n. 3, p. 267-279, 30 Oct. 2001.

ZERVAS, C. *Sea level variations of the United States 1854-1999*. Silver Spring: National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA, July 2001. 186 p. (NOAA technical report NOS CO-OPS, 36). Disponível em: [https://tidesandcurrents.noaa.gov/publications/NOAA\\_Technical\\_Report\\_NOS\\_COOPS\\_036.pdf](https://tidesandcurrents.noaa.gov/publications/NOAA_Technical_Report_NOS_COOPS_036.pdf) Acesso em: ago. 2021.

ZERVAS, C. *Sea level variations of the United States 1854-2006*. Silver Spring: National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA, Dec. 2009. [194 p.]. (NOAA technical report NOS CO-OPS, 53). Disponível em: [https://tidesandcurrents.noaa.gov/publications/Tech\\_rpt\\_53.pdf](https://tidesandcurrents.noaa.gov/publications/Tech_rpt_53.pdf). Acesso em: ago. 2021.

ZUMBERGE, J. F. *et al.* Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks. *Journal of Geophysical Research: solid earth*, Hoboken: Wiley, v. 102, n. B3, p. 5005-5017, 10 Mar. 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/96JB03860>. Acesso em: ago. 2021.



# Apêndice

**Médias mensais do nível do mar para as  
estações maregráficas da RMPG**



### Apêndice - Médias mensais do nível do mar para as estações maregráficas da RMPG

(continua)

Mês/Ano	Médias mensais do nível do mar, por estação maregráfica da RMPG (m)						
	Imbituba (SC)	Macaé (RJ)	Arraial do Cabo (RJ)	Salvador (BA)	Fortaleza (CE)	Belém (PA)	Santana (AP)
<b>Média</b>	<b>1,580</b>	<b>1,341</b>	<b>1,780</b>	<b>7,284</b>	<b>6,343</b>	<b>3,603</b>	<b>2,550</b>
07/2001	-	1,394	-	-	-	-	-
08/2001	-	1,157	-	-	-	-	-
09/2001	-	-	-	-	-	-	-
10/2001	-	1,163	-	-	-	-	-
11/2001	-	1,316	-	-	-	-	-
12/2001	1,570	1,300	-	-	-	-	-
01/2002	1,456	1,310	-	-	-	-	-
02/2002	1,533	1,346	-	-	-	-	-
03/2002	1,533	1,275	-	-	-	-	-
04/2002	1,552	1,298	-	-	-	-	-
05/2002	1,563	1,323	-	-	-	-	-
06/2002	1,634	1,368	-	-	-	-	-
07/2002	1,581	1,360	-	-	-	-	-
08/2002	1,528	1,298	-	-	-	-	-
09/2002	1,509	1,296	-	-	-	-	-
10/2002	1,497	1,281	-	-	-	-	-
11/2002	1,462	1,296	-	-	-	-	-
12/2002	1,449	1,288	-	-	-	-	-
01/2003	1,451	1,349	-	-	-	-	-
02/2003	1,525	1,297	-	-	-	-	-
03/2003	1,557	1,320	-	-	-	-	-
04/2003	1,656	1,431	-	-	-	-	-
05/2003	1,674	1,445	-	-	-	-	-
06/2003	1,606	1,403	-	-	-	-	-
07/2003	1,591	1,361	-	-	-	-	-
08/2003	1,572	1,408	-	-	-	-	-
09/2003	1,448	1,299	-	-	-	-	-
10/2003	1,412	1,296	-	-	-	-	-
11/2003	1,477	1,290	-	-	-	-	-
12/2003	1,468	1,290	-	-	-	-	-
01/2004	1,511	1,332	-	-	-	-	-
02/2004	1,565	1,369	-	-	-	-	-
03/2004	1,542	1,345	-	-	-	-	-
04/2004	1,528	1,309	-	-	-	-	-
05/2004	1,685	1,416	-	-	-	-	-
06/2004	1,535	1,319	-	-	-	-	-
07/2004	1,635	1,282	-	-	-	-	-
08/2004	1,512	1,259	-	-	-	-	-
09/2004	1,523	1,232	-	-	-	-	-
10/2004	1,574	-	-	7,249	-	-	-

## Apêndice - Médias mensais do nível do mar para as estações maregráficas da RMPG

(continuação)

Mês/Ano	Médias mensais do nível do mar, por estação maregráfica da RMPG (m)						
	Imbituba (SC)	Macaé (RJ)	Arraial do Cabo (RJ)	Salvador (BA)	Fortaleza (CE)	Belém (PA)	Santana (AP)
11/2004	-	-	-	7,235	-	-	-
12/2004	1,415	1,273	-	7,241	-	-	-
01/2005	1,482	1,314	-	7,254	-	-	-
02/2005	1,479	1,298	-	7,215	-	-	-
03/2005	1,557	1,323	-	7,268	-	-	-
04/2005	1,668	1,363	-	7,321	-	-	-
05/2005	1,582	1,324	-	7,335	-	-	-
06/2005	1,509	1,231	-	7,287	-	-	-
07/2005	1,613	1,304	-	7,263	-	-	-
08/2005	1,582	1,270	-	7,249	-	-	-
09/2005	1,440	1,279	-	7,247	-	-	-
10/2005	1,615	1,313	-	7,226	-	-	2,139
11/2005	1,429	1,252	-	7,245	-	-	2,208
12/2005	1,508	1,326	-	7,219	-	-	2,307
01/2006	1,509	-	-	-	-	-	2,455
02/2006	1,590	1,369	-	7,274	-	-	2,635
03/2006	1,592	1,358	-	7,283	-	-	2,882
04/2006	1,656	1,423	-	7,343	-	-	2,983
05/2006	1,696	1,657	-	7,379	-	-	2,919
06/2006	1,394	1,414	-	7,278	-	-	2,759
07/2006	1,572	1,423	-	7,254	-	-	2,665
08/2006	1,610	1,364	-	7,257	-	-	2,632
09/2006	1,598	1,194	-	-	-	-	2,472
10/2006	1,425	1,308	-	7,220	-	-	-
11/2006	1,482	1,357	-	7,231	-	-	-
12/2006	1,433	1,273	-	7,210	-	-	2,347
01/2007	1,540	1,309	-	7,226	-	-	2,401
02/2007	1,525	1,308	-	7,274	-	-	2,390
03/2007	1,514	1,279	-	7,278	-	-	2,558
04/2007	1,543	-	-	7,311	-	-	-
05/2007	1,582	-	-	7,350	-	-	2,493
06/2007	1,659	-	-	7,307	-	-	2,567
07/2007	1,768	1,509	-	7,268	-	-	2,501
08/2007	1,502	1,326	-	7,269	-	-	2,675
09/2007	1,265	1,189	-	7,214	-	-	2,645
10/2007	1,516	1,229	-	7,222	-	-	2,511
11/2007	-	1,328	-	7,223	-	-	2,446
12/2007	-	1,307	-	7,216	-	-	2,239
01/2008	1,501	1,240	-	7,235	-	-	2,305
02/2008	1,424	1,337	-	7,257	-	-	2,516
03/2008	1,540	1,335	-	7,306	-	-	2,678

**Apêndice - Médias mensais do nível do mar para as estações maregráficas da RMPG**

(continuação)

Mês/Ano	Médias mensais do nível do mar, por estação maregráfica da RMPG (m)						
	Ibituba (SC)	Macaé (RJ)	Arraial do Cabo (RJ)	Salvador (BA)	Fortaleza (CE)	Belém (PA)	Santana (AP)
04/2008	1,739	1,434	-	7,315	6,315	-	2,803
05/2008	1,732	1,457	-	7,344	6,316	-	2,784
06/2008	1,715	1,423	-	7,308	6,293	-	2,658
07/2008	1,552	1,301	-	7,269	6,308	-	2,533
08/2008	1,627	1,310	-	7,238	6,319	-	2,563
09/2008	1,583	1,364	-	7,250	6,346	-	2,504
10/2008	1,472	-	-	7,226	6,332	-	2,394
11/2008	1,432	-	-	7,244	6,338	-	2,257
12/2008	1,529	-	-	7,234	6,328	-	2,347
01/2009	1,486	1,302	-	7,237	6,299	-	2,543
02/2009	1,541	-	-	7,262	6,329	-	2,731
03/2009	1,601	1,341	-	7,303	6,324	-	2,806
04/2009	1,659	-	-	7,355	6,313	-	3,030
05/2009	1,677	-	-	7,388	6,322	-	-
06/2009	1,677	-	-	7,355	6,330	-	2,921
07/2009	1,650	-	-	7,276	6,334	-	2,757
08/2009	1,503	-	-	7,273	6,358	-	2,717
09/2009	1,569	-	-	7,229	6,338	-	2,702
10/2009	1,515	-	-	7,277	6,351	-	2,515
11/2009	1,496	-	-	7,233	6,337	-	2,301
12/2009	1,560	1,365	-	7,238	6,327	-	2,221
01/2010	-	1,394	-	7,266	6,313	-	2,559
02/2010	1,610	-	-	7,298	6,335	-	2,718
03/2010	1,621	-	-	7,301	6,346	-	-
04/2010	1,632	-	-	7,363	6,357	-	-
05/2010	1,610	-	-	7,345	6,342	-	-
06/2010	1,532	-	-	7,312	6,348	-	-
07/2010	1,594	-	-	7,281	6,351	-	-
08/2010	1,602	-	-	7,270	6,363	-	-
09/2010	1,479	-	-	7,238	6,350	-	-
10/2010	1,540	-	-	7,255	6,339	-	2,123
11/2010	1,615	-	-	7,297	6,335	-	2,091
12/2010	1,601	-	-	7,272	6,346	-	2,169
01/2011	1,654	1,334	-	7,284	6,337	-	-
02/2011	1,601	1,326	-	7,295	6,359	-	-
03/2011	1,525	1,382	-	7,301	6,353	-	-
04/2011	-	1,437	-	7,334	6,367	-	-
05/2011	-	1,486	-	7,382	6,335	-	-
06/2011	-	1,434	-	7,332	6,355	-	2,844
07/2011	-	1,349	-	7,281	6,352	-	-
08/2011	-	1,370	-	7,236	6,356	-	2,877

## Apêndice - Médias mensais do nível do mar para as estações maregráficas da RMPG

(continuação)

Mês/Ano	Médias mensais do nível do mar, por estação maregráfica da RMPG (m)						
	Imbituba (SC)	Macaé (RJ)	Arraial do Cabo (RJ)	Salvador (BA)	Fortaleza (CE)	Belém (PA)	Santana (AP)
09/2011	-	-	-	7,245	6,362	-	2,516
10/2011	-	-	-	7,261	6,364	-	2,317
11/2011	-	1,202	-	7,279	6,371	-	2,268
12/2011	1,634	1,332	-	7,237	6,358	-	2,352
01/2012	1,515	-	-	7,231	6,342	-	2,359
02/2012	1,585	1,294	-	7,204	6,339	-	-
03/2012	1,597	1,357	-	7,241	6,341	-	2,926
04/2012	1,733	1,441	-	7,309	6,376	-	2,966
05/2012	1,530	1,344	-	7,312	6,354	-	3,036
06/2012	1,711	1,441	-	7,266	6,331	-	2,745
07/2012	1,709	1,397	-	7,279	6,348	-	2,726
08/2012	1,426	1,220	-	7,249	6,361	-	2,659
09/2012	1,577	1,273	-	7,221	6,328	-	2,489
10/2012	1,568	1,263	-	7,232	6,355	-	2,212
11/2012	1,668	1,338	-	7,244	6,339	-	2,152
12/2012	1,574	1,363	-	7,228	6,334	-	2,111
01/2013	1,568	1,363	-	7,249	6,335	-	-
02/2013	1,629	1,363	-	7,250	6,362	-	2,371
03/2013	1,616	1,416	-	7,294	6,364	-	2,583
04/2013	1,645	1,395	-	7,339	6,343	-	2,641
05/2013	1,643	1,432	-	7,342	6,349	-	2,588
06/2013	1,697	1,432	-	7,300	6,336	-	2,546
07/2013	1,624	1,461	-	7,299	6,355	-	2,300
08/2013	1,494	1,415	-	7,276	6,372	-	2,395
09/2013	1,496	1,350	-	7,246	6,354	-	2,374
10/2013	1,598	1,318	-	7,258	6,366	-	2,072
11/2013	1,576	1,330	-	7,276	6,369	-	2,047
12/2013	1,606	1,421	-	7,246	6,342	-	2,152
01/2014	1,602	1,335	-	7,291	6,333	-	2,213
02/2014	1,549	1,307	-	7,295	6,333	-	2,391
03/2014	1,627	1,355	-	7,300	6,334	-	2,648
04/2014	1,639	1,422	-	7,365	6,332	-	2,725
05/2014	1,605	1,413	-	7,342	6,332	-	2,681
06/2014	1,699	1,361	-	7,308	6,319	-	2,572
07/2014	1,598	1,290	-	7,265	6,329	-	2,452
08/2014	1,632	-	-	7,265	6,346	-	2,431
09/2014	1,565	-	-	7,261	6,347	-	2,327
10/2014	1,540	1,307	-	7,253	6,351	-	2,284
11/2014	1,645	1,356	-	7,276	6,349	-	2,319
12/2014	1,568	1,323	-	7,235	6,336	-	2,341
01/2015	1,669	1,363	-	7,240	6,307	-	2,448

**Apêndice - Médias mensais do nível do mar para as estações maregráficas da RMPG**

(continuação)

Mês/Ano	Médias mensais do nível do mar, por estação maregráfica da RMPG (m)						
	Imbituba (SC)	Macaé (RJ)	Arraial do Cabo (RJ)	Salvador (BA)	Fortaleza (CE)	Belém (PA)	Santana (AP)
02/2015	1,573	1,367	-	7,298	6,330	-	2,633
03/2015	1,614	1,423	-	7,326	6,334	-	2,702
04/2015	1,619	1,419	-	7,387	6,338	-	2,876
05/2015	1,509	1,314	-	7,366	6,362	-	2,853
06/2015	1,627	-	-	7,336	6,334	-	2,746
07/2015	1,642	-	-	7,295	6,357	-	2,739
08/2015	1,486	-	-	7,281	6,378	-	2,733
09/2015	1,720	-	-	7,265	6,360	-	2,931
10/2015	1,644	-	-	7,296	6,352	-	2,392
11/2015	1,612	-	-	7,267	6,322	-	2,197
12/2015	1,582	-	-	7,249	6,311	-	2,203
01/2016	1,488	-	-	7,266	6,303	-	2,339
02/2016	1,482	-	-	7,319	6,337	-	2,522
03/2016	-	-	-	7,334	6,332	-	2,581
04/2016	1,654	-	-	7,336	6,360	-	2,740
05/2016	1,762	-	-	7,357	6,334	-	2,691
06/2016	1,719	-	-	7,334	6,332	-	2,599
07/2016	1,573	-	-	7,271	6,342	-	2,566
08/2016	1,582	-	-	7,254	6,338	-	2,545
09/2016	1,659	-	-	7,246	6,349	-	2,521
10/2016	1,500	-	-	7,247	6,348	-	2,395
11/2016	1,586	-	-	7,270	6,355	-	2,420
12/2016	-	-	-	7,241	6,329	-	2,364
01/2017	1,633	-	-	7,262	6,331	-	2,559
02/2017	1,571	-	-	7,256	6,336	-	2,820
03/2017	1,660	-	-	7,326	6,351	-	2,975
04/2017	1,613	-	-	7,354	6,367	-	3,065
05/2017	1,612	-	-	7,342	6,350	-	2,992
06/2017	1,688	-	-	7,307	6,359	-	2,791
07/2017	1,538	-	-	7,280	6,348	-	-
08/2017	1,505	-	1,688	7,268	6,361	-	2,661
09/2017	1,502	-	-	7,232	6,371	-	2,542
10/2017	1,560	-	1,687	7,237	6,353	-	2,388
11/2017	1,690	-	1,806	7,272	6,351	-	2,364
12/2017	-	-	1,743	7,253	6,343	-	2,403
01/2018	1,511	-	1,761	7,235	6,324	-	2,546
02/2018	1,534	-	1,831	7,296	6,324	-	2,733
03/2018	1,647	-	1,861	7,301	6,345	-	2,934
04/2018	1,662	-	1,742	7,355	6,351	-	2,921
05/2018	1,703	-	1,805	7,369	6,325	-	2,758
06/2018	1,763	-	1,843	7,304	6,320	-	2,761

**Apêndice - Médias mensais do nível do mar para as estações maregráficas da RMPG**

(conclusão)

Mês/Ano	Médias mensais do nível do mar, por estação maregráfica da RMPG (m)						
	Imbituba (SC)	Macaé (RJ)	Arraial do Cabo (RJ)	Salvador (BA)	Fortaleza (CE)	Belém (PA)	Santana (AP)
07/2018	1,668	-	1,793	7,298	6,342	-	2,747
08/2018	1,612	-	1,801	7,276	6,353	-	2,690
09/2018	1,522	-	1,764	7,270	6,363	-	2,615
10/2018	1,542	-	1,758	7,278	6,348	-	-
11/2018	1,493	-	1,737	7,261	6,362	-	-
12/2018	1,633	-	1,793	7,285	6,331	-	2,601
01/2019	1,642	-	1,719	7,265	6,321	-	2,501
02/2019	1,687	-	1,840	7,290	6,321	-	-
03/2019	1,600	-	1,835	7,343	6,334	-	2,728
04/2019	1,670	-	1,876	7,378	6,356	-	2,752
05/2019	1,713	-	1,833	7,359	6,397	-	-
06/2019	1,624	-	1,767	7,333	6,366	-	2,617
07/2019	1,613	-	1,789	7,329	6,369	-	-
08/2019	1,668	-	1,735	7,284	6,349	-	-
09/2019	-	-	1,761	7,279	6,363	-	-
10/2019	-	-	1,731	7,282	6,363	-	2,492
11/2019	-	-	1,721	7,295	6,362	-	2,326
12/2019	1,568	-	1,772	7,272	6,335	3,572	2,436
01/2020	1,600	-	1,798	7,264	-	3,628	2,566
02/2020	1,611	-	1,799	7,312	-	3,688	2,667
03/2020	1,546	-	1,774	7,387	-	3,726	2,679
04/2020	1,685	-	1,837	7,420	-	3,686	2,735
05/2020	1,733	-	1,867	7,388	-	3,588	2,723
06/2020	1,665	-	1,793	7,358	-	3,594	2,656
07/2020	1,687	-	1,793	7,324	-	3,504	2,528
08/2020	1,566	-	1,725	7,343	-	3,574	2,587
09/2020	1,578	-	1,749	7,267	-	3,653	2,455
10/2020	1,558	-	1,730	7,269	-	-	2,254
11/2020	1,506	-	1,754	7,299	-	3,501	2,168
12/2020	1,592	-	1,786	7,276	-	3,521	2,231

Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia

## Glossário

**altimetria** Conjunto de processos que objetivam a determinação da altitude de uma dada estação geodésica.

**altitude** Afastamento entre a superfície horizontal que passa por um dado ponto da superfície terrestre e a superfície de referência. No caso do Sistema Geodésico Brasileiro - SGB, as superfícies de referência são paralelas ao quase-geoide e passam pelo *Datum* de Imbituba (para grande parte do Território Nacional) e pelo *Datum* de Santana (no caso do Estado do Amapá), e as altitudes, desde 30 de julho de 2018, são normais, isto é, medidas ao longo das linhas verticais do campo da gravidade normal. As altitudes obtidas pelo rastreamento de satélites artificiais têm como referência um elipsoide, sendo, por isso, denominadas geométricas ou elipsoidais.

**altura geoidal** Afastamento entre o elipsoide de referência e o geoide, contado a partir do elipsoide ao longo da reta normal (ortogonal) ao mesmo. Se desprezadas a deflexão da vertical e a curvatura da linha de prumo, a altura geoidal pode ser expressa como a diferença entre as altitudes elipsoidal e ortométrica: positiva acima do elipsoide e negativa abaixo dele. As alturas geoidais são disponibilizadas sob a forma de modelos (mapas) geoidais, permitindo a conversão das altitudes geométricas obtidas nos levantamentos GNSS (GPS) em ortométricas. Para a conversão das altitudes geométricas em altitudes normais, compatíveis com as novas altitudes das referências de nível do Sistema Geodésico Brasileiro - SGB, devem ser utilizados modelos para conversão específicos que fornecem a separação entre as respectivas superfícies, como o *hgeoHNOR*.

**componentes harmônicas** Ondas sinusoidais com frequência determinada pela exclusiva ação dos movimentos astronômicos combinados e que somadas compõem a onda de maré.

**constantes de correlação de níveis** Valores a serem subtraídos das leituras de nível d'água em cada estação maregráfica para vinculações presente e passada com os níveis de referência, levando em consideração as épocas disponíveis. As referências disponíveis na ficha de correlação de níveis são: *Datum* Vertical Brasileiro - DVB, de Imbituba (SC) ou Santana (AP); nível de redução informado pela Diretoria de Hidrografia e Navegação - DHN, da Marinha do Brasil; e elipsoide GRS80/Sirgas.

**constantes harmônicas** Constantes – h (amplitude) e g (fase) – associadas a cada componente harmônica, as quais são essenciais para a modelagem da previsão do nível do mar no local de interesse, a partir de observações realizadas durante um determinado período.

**datum** Sistema ou superfície de referência oficial para os quais as coordenadas geodésicas, altitudes e aceleração da gravidade estão relacionadas. No caso da planialtimetria, o Sistema Geodésico Brasileiro - SGB adota o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas - Sirgas na sua realização Sirgas2000, época 2000.4; para a altimetria, as altitudes referem-se ao *Datum* de Imbituba ou, no caso do Estado do Amapá, ao *Datum* de Santana; e, para a gravimetria, o *datum* gravimétrico nacional que é uma densificação do IGSN71 através da Rede Gravimétrica Fundamental Brasileira, estabelecida pelo Observatório Nacional.

**elipsoide de referência** Figura matemática mais adequada à representação da forma da Terra em função da simplificação dos cálculos e da boa aproximação relativa à sua forma real. *Ver também* geoide.

**estação a satélite** Estação geodésica tridimensional cujas coordenadas são determinadas por meio de técnicas de posicionamento que adotam o rastreamento de satélites artificiais. *Ver também* GNSS.

**estação maregráfica** Conjunto de instrumentos e instalações destinados à observação do nível do mar. A Geodésia utiliza as informações de variação do nível do mar coletadas nas estações maregráficas para o desenvolvimento de estudos referentes à elevação do nível médio do mar, à conexão de sistemas geodésicos de referência vertical e à calibração de satélites altimétricos e modelos numéricos de circulação oceânica.

**geoide** Figura definida como a superfície equipotencial do campo de gravidade da Terra que melhor se ajusta ao nível médio dos mares em âmbito global. Embora melhor descreva a forma física da Terra, o geoide se caracteriza por grande complexidade em função da distribuição irregular de massas no interior da Terra e, conseqüentemente, por difícil representação matemática, o que leva à adoção do elipsoide como forma matemática da Terra, devido à simplificação decorrente de seu uso. O geoide é a superfície de referência nominal para as altitudes físicas do tipo ortométrico; no caso do Brasil, desde 30 de julho de 2018,

as altitudes físicas são do tipo normal, que se referem não ao geóide, mas sim a uma superfície próxima a ele, denominada quase-geóide.

**GNSS** Global Navigation Satellite System (Sistema Global de Navegação por Satélite). Denominação dada ao conjunto de sistemas globais de navegação por satélites, dentre os quais destacam-se o Global Positioning System - GPS (sistema norte-americano), o GLONASS (sistema russo), o Galileo (sistema europeu) e o BeiDou (sistema chinês). Essa tecnologia é utilizada em conjunto, ou separadamente, na obtenção de coordenadas tridimensionais (latitude, longitude e altitude elipsoidal ou geométrica).

**gravidade** Força resultante da composição da atração gravitacional (gerada pelas massas heterogeneamente distribuídas no corpo planetário) e da força centrífuga (gerada pela rotação do corpo planetário), exercidas sobre um elemento de massa unitária. É expressa em unidades de aceleração ( $m/s^2$ ), sendo tradicionalmente utilizado o miligal ( $1 \text{ mGal} = 10^{-5} \text{ m/s}^2 = 10 \mu\text{m/s}^2$ ), e varia de acordo com a posição na superfície, devido à rotação, à topografia e às variações da densidade interna da Terra.

**Gravimetria** Conjunto de processos destinados à determinação da gravidade em uma estação geodésica qualquer.

**Imbituba** *Datum* vertical do Sistema Geodésico Brasileiro - SGB (exceto para o Estado do Amapá, cujas altitudes referem-se ao *Datum* de Santana), definido pelo nível médio do mar, entre 1949 e 1957, no Porto de Imbituba, em Santa Catarina.

**levantamento geodésico** Coleta de informações referentes a certas grandezas físicas em pontos especialmente escolhidos e materializados na superfície da Terra visando obter, com alta precisão, suas coordenadas geodésicas, ou altitudes, ou gravidade, de acordo com procedimentos metodológicos e operacionais específicos.

**maré de quadratura** Evento que ocorre quando o Sol e a Lua estão em quadratura, isto é, quando formam um ângulo de 90 graus em relação à Terra, produzindo, assim, menores amplitudes de maré. Essa situação acontece quando a Lua se encontra nas fases crescente e minguante.

**maré de sizígia** Evento que ocorre quando o Sol, a Terra e a Lua estão em um mesmo alinhamento, produzindo as maiores amplitudes de maré, ou seja, as maiores preamares e as menores baixa-mares. Essa situação acontece quando a Lua se encontra nas fases cheia e nova.

**nível de redução** Plano de referência ao qual todas as profundidades cartografadas nas cartas náuticas estão relacionadas. Corresponde ao nível médio das baixa-mares de sizígia, atendendo à finalidade de segurança da navegação, sendo rara a ocorrência de marés abaixo dele.

**nível médio do mar** *Datum* das marés derivado da média aritmética das alturas horárias do mar observadas na estação maregráfica durante um determinado período (de preferência 19 anos).

**NMM** Ver nível médio do mar

**NR** *Ver nível de redução*

**ondulação geoidal** *Ver altura geoidal*

**RBMC** *Ver Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS*

**Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS** Conjunto de estações geodésicas constituído, principalmente, por um receptor GNSS geodésico de dupla frequência, com o objetivo de construir uma infraestrutura geodésica de referência para posicionamentos a partir da utilização de modernas técnicas apoiadas no GNSS, facilitando o emprego dos sistemas pelo usuário e, ao mesmo tempo, garantindo a qualidade dos resultados obtidos. As estações da RBMC possuem duas modalidades operacionais: uma que se refere à disponibilização de arquivos de rastreamento para pós-processamento, e outra que se refere ao posicionamento em tempo real. Cabe destacar que a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS também é a principal ligação do Sistema Geodésico Brasileiro - SGB com os sistemas geodésicos de referência globais e o Sirgas2000.

**Rede Maregráfica Permanente para Geodésia** Conjunto de estações maregráficas constituídas, principalmente, por marégrafos e sensores meteorológicos com a finalidade de determinar e acompanhar a evolução temporal e espacial dos referenciais altimétricos do Sistema Geodésico Brasileiro - SGB.

**referência de nível** Estação geodésica altimétrica determinada por meio de nivelamento geométrico de alta precisão.

**RMPG** *Ver Rede Maregráfica Permanente para Geodésia*

**RN** *Ver referência de nível*

**Santana** *Datum* vertical do Sistema Geodésico Brasileiro - SGB para o Estado do Amapá, onde não se adota o *Datum* de Imbituba em função da impossibilidade de transposição de altitudes com nivelamento geométrico de alta precisão na região do baixo curso do Rio Amazonas. Definido pelo nível médio do mar, entre 1957 e 1958, no Porto de Santana, no Amapá. *Ver também* Imbituba.

**SAT** *Ver estação a satélite*

**SGB** *Ver Sistema Geodésico Brasileiro*

**SIRGAS2000** Sistema Geodésico de Referência (planialtimétrico) adotado oficialmente no Brasil em fevereiro de 2005. A realização Sirgas2000, época 2000.4, vem de observações GPS realizadas em 184 estações geodésicas durante 10 dias do mês de maio de 2000, a qual foi integrada ao ITRF2000. 21 estações brasileiras que participaram dessa realização foram incorporadas como estações de referência no ajustamento da Rede Geodésica Brasileira, consolidando, assim, a materialização Sirgas2000 no Brasil. O Sirgas2000 é totalmente compatível com a tecnologia GNSS.

**SIRGAS(IGb08)** Solução alinhada com a rede de referência SIRGAS com base no referencial global IGb08/ITRF2008.

**SIRGAS(IGS14)** Solução alinhada com a rede de referência SIRGAS com base no referencial global IGS14/ITRF2014.

**Sistema Geodésico Brasileiro** Conjunto de definições conceituais e valores numéricos atribuídos a alguns parâmetros geodésicos fundamentais e às coordenadas e altitudes associados às estações geodésicas implantadas na porção da superfície terrestre delimitada pelas fronteiras do País, determinados por procedimentos operacionais e metodológicos específicos, incluindo modelos geodésicos de precisão. Constitui o referencial de posicionamento em Território Nacional, conforme o estabelecido no Decreto-Lei n. 243, de 28.02.1967.



# Equipe técnica

## **Diretoria de Geociências**

### **Coordenação de Geodésia**

Marcelo Rodrigues de Albuquerque Maranhão

### **Coordenação do projeto**

Sonia Maria Alves Costa

### **Gerência de Referências Verticais**

Salomão Soares

Maira Kronenberg Lima

Everton Gomes dos Santos

Jéssica Caroline dos Santos Siqueira

### **Planejamento e coordenação técnica geral da publicação**

Salomão Soares

Everton Gomes dos Santos

### **Controle da operação da RMPG e processamento de suas observações**

Salomão Soares

Everton Gomes dos Santos

### **Processamento complementar de observações**

Alberto Luis da Silva

Dionísio Costa Cruz Junior

Gabriel da Mota Santos

Lucas Ferreira do Nascimento Coneglian

Nilton de Souza Ribas Junior

### **Desenvolvimento de programas computacionais específicos**

Aislan Célio Ferreira

Nilton de Souza Ribas Junior

Roberto Teixeira Luz

Rogério Valério Pereira

**Supervisão do reprocessamento das observações**

Everton Gomes dos Santos

**Elaboração do Relatório**

Salomão Soares

**Revisão do Relatório**

Maira Kronenberg Lima

Everton Gomes dos Santos

Jéssica Caroline dos Santos Siqueira

Roberto Teixeira Luz

Sonia Maria Alves Costa

**Suporte técnico-gerencial**

Aislan Célio Ferreira

Alberto Luis da Silva

Fabiano Luiz Batista Alves

Jéssica Caroline dos Santos Siqueira

Lucas Soares da Costa (estagiário)

Maíra Kronenberg Lima

Jorge Ricardo Muniz Kwasinski Filho

Roberto Rainho Tavares

Rogério Valério Pereira

Rodrigo Freitas do Vale (estagiário)

Tiago Luiz Bastos

Vania de Oliveira Nagem

**Aprovação do Relatório**

Marcelo Rodrigues de Albuquerque Maranhão

**Unidade Estadual do IBGE no Amapá (UE-AP)****Supervisão da Base Territorial (SBT)****Operação da Estação de Santana, AP**

Eliandro Ronael Gilbert

Antônio da Cruz Castro

**Unidade Estadual do IBGE na Bahia (UE-BA)****Gerência de Geodésia e Cartografia (GGC)****Acompanhamento e operação da Estação de Salvador, BA**

Anne Danielle Duarte de Oliveira

Antonio Eli Pires Rosas (aposentado)

Fernanda de Almeida Prado

Dionir Pereira

Dionísio Costa Cruz Junior

Florisvaldo dos Santos

Gabriel da Mota Santos

Glauber José Almeida Ramos

José Carlos Mata da Rocha

Lucas Ferreira do Nascimento Coneglian

Luiz Augusto Valois Cardoso

Márcio Brito Bonifácio  
Maria de Fátima de Moraes (aposentada)  
Nilton de Souza Ribas Junior  
Rivaldo Vieira Santos  
Thais Brandão Protásio Teixeira

## **Unidade Estadual do IBGE no Ceará (UE-CE)**

### **Gerência de Geodésia e Cartografia (GGC)**

#### **Acompanhamento e operação da Estação de Fortaleza, CE**

André Campos Maia  
Aurelino Souza Santos  
Carlos Reginaldo de Freitas Figueiredo  
Fabio Carneiro Lobo  
Francisco Herlane Marques Soares  
Geraldo Santos Landovsky  
João do Carmo Felipe  
Jose Ademar Araújo  
Jose Augusto Faes  
Jose Deusimar de Andrade Pereira  
Jose Tadeu Gonçalves  
Jose Felix Pereira Filho  
Mateus Sousa Costa  
Renato Rodrigues Pinheiro  
Vinicius de Moraes Pinheiro  
Washington Luiz Rodrigues Silva

## **Unidade Estadual do IBGE no Pará (UE-PA)**

### **Supervisão de Geodésia e Cartografia (SGC)**

#### **Acompanhamento e operação da Estação de Belém, PA**

Ademir Alberto Souto de Jesus  
Alan Silva Almeida  
Antonio Sérgio da Silva Wanzeller (aposentado)  
Diniz Henrique Ferreira Botelho Filho  
Djair Cardoso de Almeida (aposentado)  
Djalma Cardoso de Almeida  
Leonardo dos Reis Oliveira  
Sérgio Gomes da Silva  
Waldemar Francisco Mendes Moraes

## **Gerência de Levantamentos Geodésicos e Cartográficos- GLGC**

#### **Acompanhamento e Operação da Estação de Arraial do Cabo, RJ**

Antonio Jurandir Constantino de Oliveira  
Carlos Miguel da Silva  
Ecio Silva  
Edimilson de Oliveira Baptista  
Elias Antonio dos Santos  
Joao da Silva Aquino (aposentado)

Jose Carlos Correa  
Luiz Antônio Xavier  
Pedro Augusto de Oliveira Mendes  
Robson Silva Santos  
Wanderley Santos da Silva

### **Unidade Estadual do IBGE em Santa Catarina (UE-SC)**

#### **Gerência de Geodésia e Cartografia (GGC)**

##### **Operação da Estação de Imbituba, SC**

Flávia Brandão de Paiva Gava  
Juliane Christine Silveira  
Luiz Fernando Abonízio Guerreiro  
Luiz Fernando Reinheimer  
Luiz Gustavo Vieira  
Renan Moraes  
Renato José Furigo Lelis  
Veroni José Cristóvão (aposentado)

### **Colaboradores externos**

#### **Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), Marinha do Brasil**

CF Cesar Borba

#### **Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)**

Prof. Dr. Claudio Freitas Neves

#### **Universidade Federal do Paraná (UFPR)**

Prof. Dr. Sílvio Rogério Correia de Freitas

#### **Universidade Federal do Rio Grande (FURG)**

Prof. Dr. Glauber Acunha Gonçalves

MSc. Ella Soares Pereira

#### **Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM)**

Prof. Dr. Rogério Neder Candella

#### **Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI)**

Dr Matias Guilherme Boll

#### **Sea Level Centre, University of Hawaii (UHSLC)**

Patrick Caldwell

Nikolai Turetsky

Jerard Jardin

## **Projeto Editorial**

### **Centro de Documentação e Disseminação de Informações**

#### **Coordenação de Produção**

Marisa Sigolo

#### **Gerência de Editoração**

##### **Estruturação textual**

Leonardo Martins

##### **Diagramação tabular e de gráficos**

Lucas Monçores

Márcia do Rosário Brauns

##### **Diagramação textual**

Solange Maria Mello de Oliveira

#### **Gerência de Documentação**

##### **Pesquisa e normalização documental**

Aline Loureiro de Souza

Ana Raquel Gomes da Silva

Isabella Carolina do Nascimento Pinto

Juliana da Silva Gomes

Lioara Mandoju

Nadia Bernuci dos Santos

##### **Normalização textual e padronização de glossários**

Ana Raquel Gomes da Silva

##### **Elaboração de quartas capas**

Ana Raquel Gomes da Silva

#### **Gerência de Gráfica**

Ednalva Maia do Monte

Newton Malta de Souza Marques

Se o assunto é **Brasil**,  
procure o **IBGE**.



/ibgecomunica



/ibgeoficial



/ibgeoficial



/ibgeoficial

**www.ibge.gov.br 0800 721 8181**

# Monitoramento da Variação do Nível Médio do Mar nas Estações da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia

## 2001-2020

A Rede Maregráfica Permanente para Geodésia - RMPG é formada por um conjunto de estações maregráficas, instaladas e operadas pelo IBGE, que visam monitorar a relação entre o *Datum* Vertical Brasileiro (definido em Imbituba, em Santa Catarina, e Santana, no Amapá) e outros níveis de referência maregráficos, subsidiando, ainda, estudos sobre a modernização das altitudes brasileiras e a variação do nível médio do mar.

Desde o último estudo divulgado pelo IBGE sobre o tema, em 2016, a RMPG passou por profundas transformações a fim de atender às demandas atuais de monitoramento contínuo da variação do nível do mar, com alta qualidade de informações, o que motivou não só a ampliação da Rede, que passou a contar, em 2020, com seis estações maregráficas ativas, como também objetivou a modernização de seus equipamentos de coleta e a aplicação de métodos de controle geodésico mais rigorosos e aderentes aos requisitos fundamentais da Geodésia moderna, em consonância com as recomendações da Comissão Oceanográfica Intergovernamental da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Intergovernmental Oceanographic Commission - IOC-UNESCO). Assim, o acompanhamento das evoluções temporal e espacial dos *Data* Verticais Brasileiros e suas relações com os demais níveis de referência utilizados na região costeira do País estão garantidos com informações contínuas e de longo prazo do nível médio do mar.

Esta publicação, vastamente ilustrada, traça um panorama atual da RMPG, com um minucioso detalhamento de suas mais recentes inovações e dos procedimentos adotados para o tratamento e a análise das observações coletadas pelas estações maregráficas que a integram, e apresenta os resultados da variação do nível médio do mar obtidos no período de julho de 2001 a dezembro de 2020. Tais resultados, agregados às informações do controle geodésico das estações, fornecem séries temporais consolidadas com suas respectivas fichas de correlação de níveis atualizadas.

Por seu caráter multidisciplinar, os resultados ora divulgados são essenciais para a correta utilização e o refinamento da componente vertical do Sistema Geodésico Brasileiro - SGB, bem como para o desenvolvimento de atividades inerentes ao gerenciamento costeiro, aos estudos ambientais, ao monitoramento e alerta a eventos extremos, entre outros aspectos de interesse relacionados ao tema.

O presente volume também está acessível no portal do IBGE na Internet, que disponibiliza ainda as séries temporais das estações maregráficas, publicadas anualmente, e as fichas atualizadas de correlação de níveis dessas estações, com a inclusão da conexão geocêntrica e os arquivos de suas respectivas constantes harmônicas, considerados indispensáveis para as previsões anuais.

