

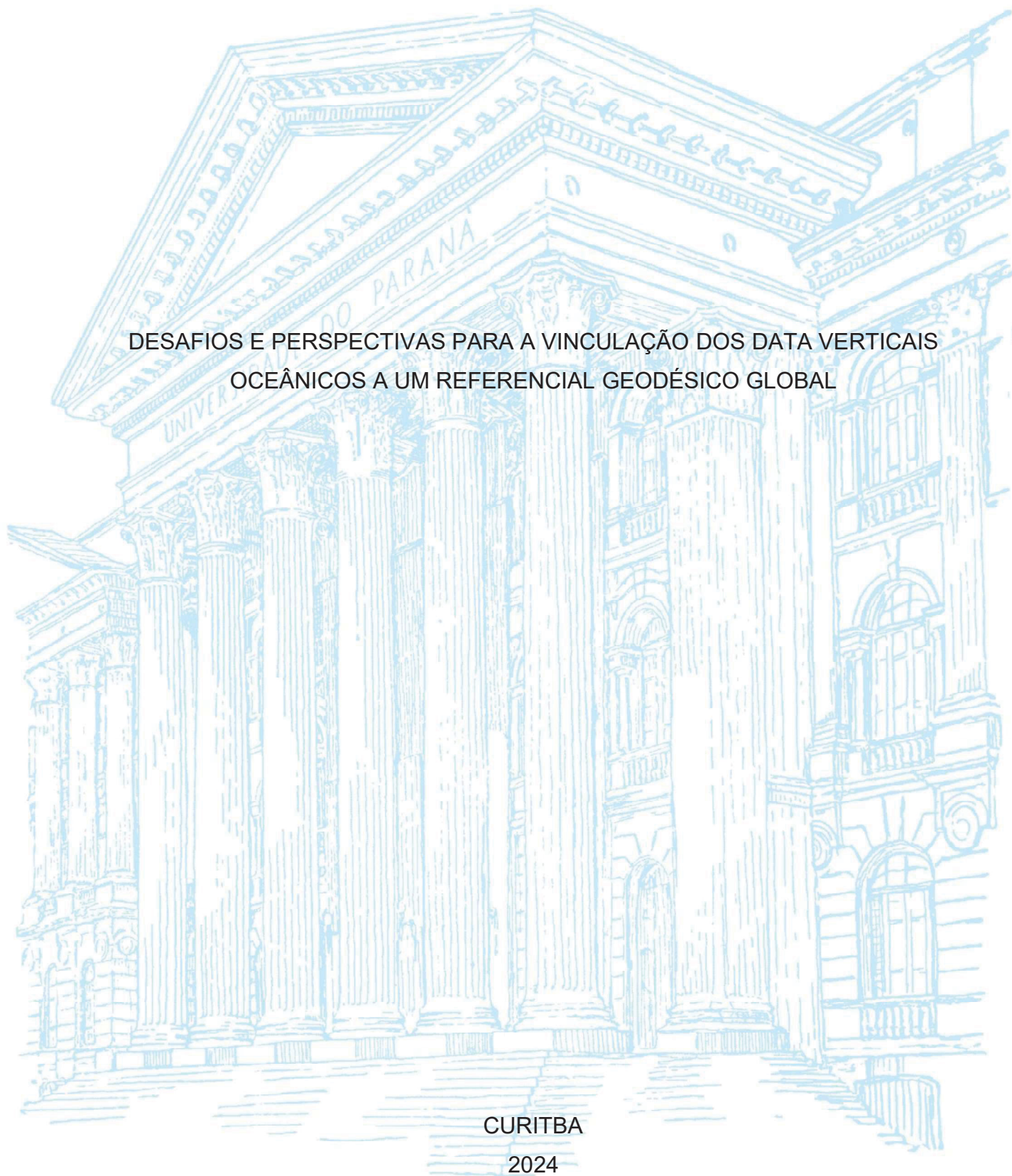
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

TULIO ALVES SANTANA

DESAFIOS E PERSPECTIVAS PARA A VINCULAÇÃO DOS DATA VERTICAIS
OCEÂNICOS A UM REFERENCIAL GEODÉSICO GLOBAL

CURITIBA

2024



TULIO ALVES SANTANA

DESAFIOS E PESPECTIVAS PARA A VINCULAÇÃO DOS DATA VERTICAIS
OCEÂNICOS A UM REFERENCIAL GEODÉSICO GLOBAL

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da
Terra, Universidade Federal do Paraná, como
requisito parcial à obtenção do título de Doutor em
Ciências Geodésicas.

Orientadora: Profa. Dra. Regiane Dalazoana

CURITIBA

2024

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Santana, Tulio Alves

Desafios e perspectivas para a vinculação dos dados verticais oceânicos a um referencial geodésico global / Tulio Alves Santana. – Curitiba, 2024.

1 recurso on-line : PDF.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas.

Orientador: Regiane Dalazoana

1. Geodésia. 2. Zona costeira - Brasil. I. Universidade Federal do Paraná. II. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. III. Dalazoana, Regiane. IV . Título.

Bibliotecário: Leticia Priscila Azevedo de Sousa CRB-9/2029



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIAS
GEODÉSICAS - 40001016002P6

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação CIÊNCIAS GEODÉSICAS da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **TULIO ALVES SANTANA** intitulada: **DESAFIOS E PERSPECTIVAS PARA A VINCULAÇÃO DOS DADOS VERTICAIS OCEÂNICOS A UM REFERENCIAL GEODÉSICO GLOBAL**, sob orientação da Profa. Dra. REGIANE DALAZOANA, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 30 de Julho de 2024.

Assinatura Eletrônica

31/07/2024 13:33:45.0

REGIANE DALAZOANA

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

31/07/2024 00:22:13.0

GABRIEL DO NASCIMENTO GUIMARÃES

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA)

Assinatura Eletrônica

30/07/2024 16:30:52.0

CLAUDIA PEREIRA KRUEGER

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

14/08/2024 10:57:07.0

ÍTALO OLIVEIRA FERREIRA

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA)

Dedico esta tese àqueles que, precedendo-me, abriram caminho para que eu pudesse ter acesso às instituições públicas de ensino desde a minha infância. Reconheço profundamente que foi através desse acesso à educação que minha vida foi transformada de maneira significativa.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, meus irmãos, meu cunhado e minha avó. Por terem sido meus alicerces nesta jornada. Sem eles seria impossível.

À toda minha família, pela torcida, pelas orações, pelas conversas e pelo apoio.

À minha orientadora, professora Regiane Dalazoana, pela orientação e por ter acreditado que eu conseguiria concluir a minha pesquisa.

Aos professores Gabriel Guimarães e Paulo Sérgio pelas contribuições ao estudo durante a banca de qualificação do projeto de pesquisa e aos professores Claudia Krueger e Ítalo Ferreira pelas contribuições na defesa da tese.

Aos meus alunos do Instituto Federal de Mato Grosso pelo acolhimento, pela amizade e pelo suporte durante a escrita dessa tese. Em especial aos alunos Lucas e Héric que me auxiliaram na geração de algumas figuras da tese.

Aos meus amigos por sempre me apoiar, ouvir as minhas dificuldades e por serem ótimos amigos. Em especial as minhas amigas Izabela e Thaís.

A todos os alunos do Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas (PPGCG) pela amizade e suporte.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas pelos ensinamentos durante o período de disciplinas.

À Marinha do Brasil por compartilhar os dados e informações que foram essenciais para o desenvolvimento da tese.

Aos psicólogos Odilon e Washington que me atenderam semanalmente durante todo o período de desenvolvimento dessa pesquisa. Nossas sessões fizeram a diferença para conseguir dar andamento ao doutorado.

*Pra quem não sabia contar gotas
Cê aprendeu a nadar
O mar te cobriu sereno, planeta Marte*

*Sem ponto, sem vírgula, sem meia, descalça
Descascou o medo pra caber coragem
Sem calma, sem nada, sem ar*

LINIKER. Psiu. In: LINIKER. Índigo Borboleta Anil. São Paulo: Estúdio Brocal, 2021. Faixa 4 (4m55s). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=857vqr0OUKY&ab_channel=Liniker>. Acesso em: 25 abril. 2024.

RESUMO

A Geodésia é uma Ciência que se dedica à medição e modelagem do planeta Terra, bem como as suas variações ao longo do tempo, desempenhando um papel crucial na solução dos desafios enfrentados pela sociedade. Isso inclui a detecção e compreensão das mudanças, a gestão dos riscos naturais, bem como a conservação da biodiversidade e dos ecossistemas. Especificamente nas zonas costeiras, surgem desafios relacionados aos diferentes referenciais verticais em ambientes costeiros, o que dificulta a unificação e integração dos referenciais terrestres e oceânicos. No Brasil, assim como em outros países, a falta de organização dos dados geodésicos e a escassez de investimentos para o gerenciamento costeiro tornam ainda mais difícil a integração desses referenciais. Diante desse contexto, o presente estudo teve como propósito investigar os desafios e perspectivas para vincular os níveis de referência oceânicos a um referencial geodésico global em zonas costeiras no Brasil. Os resultados englobam a realização de inventários de dados geodésicos e maregráficos, a análise dos vínculos entre as estações geodésicas e maregráficas, bem como o estudo da adequação dos modelos globais de superfície média do mar em relação aos níveis de referência das estações maregráficas. Além disso, foi possível proporcionar uma vinculação desses níveis a um referencial geocêntrico. No contexto da adequação dos modelos de superfície média do mar, a análise mostrou uma certa complexidade no comportamento dos modelos na costa brasileira. A região norte do país, nem mesmo possui dados disponíveis para alguns dos modelos analisados e muitas vezes apresentou diferenças superiores a outras regiões. O RMSE da comparação entre as observações locais e dos modelos incluindo a região norte variou de 0,163 m (SDUST2020) a 0,617 m (CLS22) e sem a região norte a variação foi de 0,131 m (DTU18) a 0,204 m (CLS15). Em termos de amplitude das diferenças, o DTU18 apresenta os melhores resultados para três estações maregráficas (Macaé, Salvador e Fortaleza) e os modelos CLS22, DTU15, SDUST2020 e DTU21 apresentaram os melhores resultados para uma estação maregráfica cada (Imbituba, Arraial do Cabo, Belém e Santana, respectivamente). Com relação a vinculação, esta foi realizada para cinco estações maregráficas localizadas na região sul do país, em duas delas (60246 e 60225) foi possível calcular duas soluções, pois a elas estão vinculadas duas estações geodésicas. Com isso, foi observado para a estação maregráfica 60246 uma diferença aproximada entre as duas soluções de 0,08 m e para a estação maregráfica 60225 a diferença aproximada é de 0,24 cm. A discrepância indica a necessidade de realizar novos levantamentos e processamentos dos dados nessas estações. Os valores dos resultados da vinculação dos NMMs a um referencial global, foram comparados com os valores de altitudes elipsoidais do NMM derivados dos modelos de MSS CLS22, CLS15, DTU21, DTU15 e SDUST2020. A concretização desse vínculo entre os dados verticais oceânicos a um referencial geodésico global permitiu uma melhor compreensão dos níveis do mar em relação aos modelos globais, o que contribui significativamente para a mitigação de riscos costeiros. Ademais, essa vinculação de dados fornece informações essenciais para a modernização de portos, suporte para levantamentos geodésicos e maregráficos que contribuem para o desenvolvimento econômico do país.

Palavras-chave: Referencial geodésico global. Níveis de referência vertical. Zona costeira. Unificação de sistemas de referência vertical. Modelos oceânicos.

ABSTRACT

Geodesy is a science dedicated to measuring and modeling the Earth, as well as its variations over time, playing a crucial role in solving the challenges faced by society. This includes detecting and understanding changes, managing natural risks, and conserving biodiversity and ecosystems. Specifically, in coastal areas, challenges arise related to the different vertical datums in coastal environments, which hinder the unification and integration of terrestrial and oceanic reference systems. In Brazil, as in other countries, the lack of organization of geodetic data and the scarcity of investments for coastal management make it even more difficult to integrate these reference systems. In this context, the present study aimed to investigate the challenges and perspectives for linking oceanic reference levels to a global geodetic reference system in coastal areas in Brazil. The results include the creation of geodetic and tide gauge data inventories, the analysis of the connection between geodetic and tide gauge stations, as well as the study of the adequacy of global mean sea surface models in relation to the reference levels of tide gauge. Additionally, it was possible to provide a connection of these levels to a geocentric reference system. Regarding the adequacy of mean sea surface models, the analysis showed a certain complexity in the behavior of the models on the Brazilian coast. The northern region of the country does not even have available data for some of the models analyzed and often showed greater differences than other regions. The RMSE of the comparison between local observations and models, considering the northern region, varied from 0.163 m (SDUST2020) to 0.617 m (CLS22), and without the northern region, the variation was from 0.131 m (DTU18) to 0.204 m (CLS15). In terms of the amplitude of the differences, DTU18 presented the best results for three tide gauge stations (Macaé, Salvador, Fortaleza), and the models CLS22, DTU15, SDUST2020, and DTU21 presented the best results for one tide gauge each (Imbituba, Arraial do Cabo, Belém, and Santana, respectively). Regarding the connection, in two of the five tide gauge (60246 and 60225), it was possible to calculate two solutions since two geodetic stations are linked to them. Thus, an approximate difference of 0.08 m was observed for tide gauge 60246 between the two solutions, and for tide gauge 60225, this approximate difference is 0.24 cm. The discrepancy indicates the need to carry out new surveys and data processing at these stations. The values of the results of linking the mean sea level (MSL) to a global reference were compared with the ellipsoidal height values of the MSL derived from the MSS models CLS22, CLS15, DTU21, DTU15, and SDUST2020. The establishment of this link between oceanic vertical datums and a global geodetic reference system allowed a better understanding of sea levels concerning global models, which significantly contributes to mitigating coastal risks. Moreover, this data linkage provides essential information for port modernization and supports geodetic and tide gauge surveys that contribute to the country's economic development.

Keywords: Global Geodetic Reference. Vertical reference levels. Coastal zones. Unified ocean vertical reference system. Ocean models.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – ESTAÇÕES GNSS E REFERÊNCIAS DE NÍVEL EM REGIÃO COSTEIRA.....	31
FIGURA 2 – ANO DAS ÚLTIMAS VISITAS ÀS 550 ESTAÇÕES GEODÉSICAS.....	32
FIGURA 3 – ESTAÇÕES GEODÉSICAS DO BNDO.	33
FIGURA 4 – ESQUEMA DO CONTROLE GEODÉSICO DE ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS.	34
FIGURA 5 – ESQUEMA DOS CIRCUITOS DA ESTAÇÃO RMPG – IMBITUBA.	35
FIGURA 6 – ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DO BNDO.	37
FIGURA 7 – ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DA RMPG.	38
FIGURA 8 – MISSÕES ALTIMÉTRICAS.....	39
FIGURA 9 – ÁREA DE ESTUDO.	47
FIGURA 10 – ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS E GEODÉSICAS DO BNDO	48
FIGURA 11 – ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS E GEODÉSICAS DO IBGE.....	49
FIGURA 12 – ESTRATÉGIA DE AÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA.....	53
FIGURA 13 – DIAGRAMA DA FICHA F-41 DA ESTAÇÃO MAREGRÁFICA PRATICAGEM R. GRANDE (60380)	55
FIGURA 14 – RELAÇÃO DOS NÍVEIS DE REFERÊNCIA CONTIDOS NAS FICHAS DAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DO BNDO.....	59
FIGURA 15 – SÍNTESE DAS VARIÁVEIS ENVOLVIDAS E A FONTE PARA OBTENÇÃO DOS VALORES.	61
FIGURA 16 – VISUALIZAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO GEODÉSICA E SEUS ATRIBUTOS.....	63
FIGURA 17 – VISUALIZAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO MAREGRÁFICA E SEUS ATRIBUTOS.....	63
FIGURA 18 – LOCALIZAÇÃO DA ESTAÇÃO MAREGRÁFICA DE SANTANA.....	73
FIGURA 19 – REPRESENTAÇÃO DAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS E GEODÉSICAS.	81
FIGURA 20 – DIAGRAMA DA ESTAÇÃO MAREGRÁFICA 60380 COM NÍVEIS DE REFERÊNCIA VINCULADOS AO GRS80 ATRAVÉS DA ESTAÇÃO GEODÉSICA 2101-010.....	86

FIGURA 21 – DIAGRAMA DA ESTAÇÃO MAREGRÁFICA 60265 COM NÍVEIS DE REFERÊNCIA VINCULADOS AO GRS80 ATRAVÉS DA ESTAÇÃO GEODÉSICA 1901-005.....	87
FIGURA 22 – DIAGRAMA DA ESTAÇÃO MAREGRÁFICA 60246 COM NÍVEIS DE REFERÊNCIA VINCULADOS AO GRS80 ATRAVÉS DA ESTAÇÃO GEODÉSICA 1905-007.....	87
FIGURA 23 – DIAGRAMA DA ESTAÇÃO MAREGRÁFICA 60246 COM NÍVEIS DE REFERÊNCIA VINCULADOS AO GRS80 ATRAVÉS DA ESTAÇÃO GEODÉSICA 1905-002.....	88
FIGURA 24 – DIAGRAMA DA ESTAÇÃO MAREGRÁFICA 60224 COM NÍVEIS DE REFERÊNCIA VINCULADOS AO GRS80 ATRAVÉS DA ESTAÇÃO GEODÉSICA 1809-006.....	88
FIGURA 25 – DIAGRAMA DA ESTAÇÃO MAREGRÁFICA 60225 COM NÍVEIS DE REFERÊNCIA VINCULADOS AO GRS80 ATRAVÉS DA ESTAÇÃO GEODÉSICA 1804-013.....	89
FIGURA 26 – DIAGRAMA DA ESTAÇÃO MAREGRÁFICA 60225 COM NÍVEIS DE REFERÊNCIA VINCULADOS AO GRS80 ATRAVÉS DA ESTAÇÃO GEODÉSICA 1804-019.....	89
FIGURA 27 – VISUALIZAÇÃO DOS NMMs DOS MODELOS DE MSS E DO NMML CALCULADO A PARTIR DO XGM19e_2159 PARA A ESTAÇÃO MAREGRÁFICA 60380 VINCULADA AO GRS80 ATRAVÉS DA ESTAÇÃO GEODÉSICA 2101-010.....	91
FIGURA 28 – VISUALIZAÇÃO DOS NMMs DOS MODELOS DE MSS E DO NMML CALCULADO A PARTIR DO XGM19e_2159 PARA A ESTAÇÃO MAREGRÁFICA 60265 VINCULADA AO GRS80 ATRAVÉS DA ESTAÇÃO GEODÉSICA 1901-005.....	91
FIGURA 29 – VISUALIZAÇÃO DOS NMMs DOS MODELOS DE MSS E DO NMML CALCULADO A PARTIR DO XGM19e_2159 PARA A ESTAÇÃO MAREGRÁFICA 60246 VINCULADA AO GRS80 ATRAVÉS DA ESTAÇÃO GEODÉSICA 1905-002.....	92
FIGURA 30 – VISUALIZAÇÃO DOS NMMs DOS MODELOS DE MSS E DO NMML CALCULADO A PARTIR DO XGM19e_2159 PARA A ESTAÇÃO MAREGRÁFICA 60246 VINCULADA AO GRS80 ATRAVÉS DA ESTAÇÃO GEODÉSICA 1905-007.....	93

FIGURA 31 – VISUALIZAÇÃO DOS NMMs DOS MODELOS DE MSS E DO NMML CALCULADO A PARTIR DO XGM19e_2159 PARA A ESTAÇÃO MAREGRÁFICA 60224 VINCULADA AO GRS80 ATRAVÉS DA ESTAÇÃO GEODÉSICA 1809-006.....	94
FIGURA 32 – VISUALIZAÇÃO DOS NMMs DOS MODELOS DE MSS E DO NMML CALCULADO A PARTIR DO XGM19e_2159 PARA A ESTAÇÃO MAREGRÁFICA 60225 VINCULADA AO GRS80 ATRAVÉS DA ESTAÇÃO GEODÉSICA 1804-013.....	95
FIGURA 33 – VISUALIZAÇÃO DOS NMMs DOS MODELOS DE MSS E DO NMML CALCULADO A PARTIR DO XGM19e_2159 PARA A ESTAÇÃO MAREGRÁFICA 60225 VINCULADA AO GRS80 ATRAVÉS DA ESTAÇÃO GEODÉSICA 1804-019.....	96
FIGURA 34 – AMPLITUDE DE MARÉ.....	101

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – MÉTODOS DE LEVANTAMENTOS DAS ESTAÇÕES GEODÉSICAS (BNDO).	64
GRÁFICO 2 – SISTEMA GEODÉSICO DE REFERÊNCIA DAS ESTAÇÕES GEODÉSICAS (BNDO).	65
GRÁFICO 3 – PRECISÃO DAS LATITUDES.	65
GRÁFICO 4 – PRECISÃO DAS LONGITUDES.	66
GRÁFICO 5 – PRECISÃO DAS ALTITUDES ELIPSOIDAIS.	66
GRÁFICO 6 – ÉPOCAS DE IMPLANTAÇÃO DAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS.	67
GRÁFICO 7 – PERÍODOS DE OBSERVAÇÕES MAREGRÁFICAS DAS ESTAÇÕES.	67
GRÁFICO 8 – TEMPO DE OBSERVAÇÕES MAREGRÁFICAS DAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DA RMPG E A DIFERENÇA EM MÓDULO DA ALTITUDE ELIPSOIDAL DO NMM DO MODELO CLS22 EM COMPARAÇÃO COM A OBSERVAÇÃO LOCAL DA RMPG.	71
GRÁFICO 9 – TEMPO DE OBSERVAÇÕES MAREGRÁFICAS DAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DA RMPG E A DIFERENÇA EM MÓDULO DA ALTITUDE ELIPSOIDAL DO NMM DO MODELO CLS15 EM COMPARAÇÃO COM A OBSERVAÇÃO LOCAL DA RMPG.	72
GRÁFICO 10 – TEMPO DE OBSERVAÇÕES MAREGRÁFICAS DAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DA RMPG E A DIFERENÇA EM MÓDULO DA ALTITUDE ELIPSOIDAL DO NMM DO MODELO SDUST2020 EM COMPARAÇÃO COM A OBSERVAÇÃO LOCAL DA RMPG.	74
GRÁFICO 11 – TEMPO DE OBSERVAÇÕES MAREGRÁFICAS DAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DA RMPG E A DIFERENÇA EM MÓDULO DA ALTITUDE ELIPSOIDAL DO NMM DO MODELO DTU21 EM COMPARAÇÃO COM A OBSERVAÇÃO LOCAL DA RMPG.	75
GRÁFICO 12 – TEMPO DE OBSERVAÇÕES MAREGRÁFICAS DAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DA RMPG E A DIFERENÇA EM MÓDULO DA ALTITUDE ELIPSOIDAL DO NMM DO MODELO DTU18 EM COMPARAÇÃO COM A OBSERVAÇÃO LOCAL DA RMPG.	76
GRÁFICO 13 – TEMPO DE OBSERVAÇÕES MAREGRÁFICAS DAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DA RMPG E A DIFERENÇA EM MÓDULO DA	

ALTITUDE ELIPSOIDAL DO NMM DO MODELO DTU15 EM COMPARAÇÃO COM A OBSERVAÇÃO LOCAL DA RMPG.	77
--	----

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – RESUMO DO MODELO DE MSS SDUST2020.	40
QUADRO 2 – RESUMO DOS MODELOS DE MSS CNES/CLS.....	41
QUADRO 3 – RESUMO DOS MODELOS DE MSS DTU SPACE.	42
QUADRO 4 – MODELOS GLOBAIS OCEÂNICOS SELECIONADOS PARA A PESQUISA.....	50
QUADRO 5 – RESUMO DOS MODELOS GLOBAIS DO GEOPOTENCIAL UTILIZADOS NA PESQUISA.....	52
QUADRO 6 – VARIÁVEIS E DESCRIÇÕES DAS ESTAÇÕES GEODÉSICAS DO BNDO.....	115
QUADRO 7 – VARIÁVEIS E DESCRIÇÕES DAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DO BNDO.....	115

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – NÍVEIS DE REFERÊNCIA GEOCÊNTRICOS EM IMBITUBA E FORTALEZA.....	45
TABELA 2 – PARÂMETROS ELIPSOIDAIIS	56
TABELA 3 – ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS.....	68
TABELA 4 – ESTAÇÕES GEODÉSICAS.....	69
TABELA 5 – DIFERENÇAS DOS VALORES DA ALTITUDE ELIPSOIDAL DO NMM NAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DA RMPG COM RELAÇÃO AO MODELO CLS22.....	71
TABELA 6 – DIFERENÇAS DOS VALORES DA ALTITUDE ELIPSOIDAL DO NMM NAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DA RMPG COM RELAÇÃO AO MODELO CLS15.....	72
TABELA 7 – DIFERENÇAS DOS VALORES DA ALTITUDE ELIPSOIDAL DO NMM NAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DA RMPG COM RELAÇÃO AO MODELO SDUST2020.	74
TABELA 8 – DIFERENÇAS DOS VALORES DA ALTITUDE ELIPSOIDAL DO NMM NAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DA RMPG COM RELAÇÃO AO MODELO DTU21.	75
TABELA 9 – DIFERENÇAS DOS VALORES DA ALTITUDE ELIPSOIDAL DO NMM NAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DA RMPG COM RELAÇÃO AO MODELO DTU18.	76
TABELA 10 – DIFERENÇAS DOS VALORES DA ALTITUDE ELIPSOIDAL DO NMM NAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DA RMPG COM RELAÇÃO AO MODELO DTU15.	77
TABELA 11 – VALORES DE RMSE DAS DIFERENÇAS ENTRE AS ALTITUDES ELIPSOIDAIIS DO NMMS LOCAIS DA RMPG E OS ADVINDOS DE MODELOS.	78
TABELA 12 – MODELOS DE MSS QUE APRESENTARAM MENORES DIFERENÇAS POR ESTAÇÃO MAREGRÁFICA.	78
TABELA 13 – VALORES DE R-QUADRADO POR MODELO DE MSS DAS VARIÁVEIS TEMPO DE OBSERVAÇÕES MAREGRÁFICAS X DIFERENÇAS ENCONTRADAS DO NMM.....	79

TABELA 14 – RESUMO DAS DIFERENÇAS ENCONTRADAS ENTRE OS MODELOS E AS ALTITUDES ELIPSOIDAIS DO NMML.	80
TABELA 15 – VALORES DE CONVERSÃO DE ALTITUDE DO HGEOHNOR E ALTITUDES GEOIDAIIS PROVENIENTES DOS MODELOS MAPGEO2015, GEOID2023, XGM19e, XGM19e_2159, EIGEN-6C4 E EGM2008 NAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS.....	81
TABELA 16 – VALORES DE CONVERSÃO DE ALTITUDE DO HGEOHNOR E ALTITUDES GEOIDAIIS PROVENIENTES DOS MODELOS MAPGEO2015, GEOID2023, XGM19, EIGEN-6C4 E EGM2008 NAS ESTAÇÕES GEODÉSICAS	82
TABELA 17 – DESNÍVEIS GEOIDAIIS ENTRE AS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS E ESTAÇÕES GEODÉSICAS.....	82
TABELA 18 – ALTITUDES ELIPSOIDAIIS DAS ESTAÇÕES GEODÉSICAS NO CONCEITO DE MARÉ MÉDIO E LIVRE DE MARÉ	83
TABELA 19 – VALORES DE ΔH , $HDCN$, $S0$ e $Z0$ PARA AS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS EXTRAIDOS DAS FICHAS F-41	83
TABELA 20 – DETERMINAÇÃO DA ALTITUDE ELIPSOIDAL DO NMM COM RELAÇÃO AO GRS80 NAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DO BNDO.....	85
TABELA 21 – DETERMINAÇÃO DA ALTITUDE ELIPSOIDAL DO DCN COM RELAÇÃO AO GRS80 NAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DO BNDO.....	86
TABELA 22 – ALTITUDES ELIPSOIDAIIS DO NMM COM RELAÇÃO AO T/P NAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DO BNDO	90
TABELA 23 – NMM DOS MODELOS DE MSS COM RELAÇÃO AO GRS80 NAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DO BNDO	90
TABELA 24 – DIFERENÇAS ENTRE AS ALTITUDES ELIPSOIDAIIS DO DCN CONTIDAS NA TABELA 21 E AQUELAS CALCULADAS CONFORME A EQUAÇÃO 8.....	97

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

BDG	- Banco de Dados Geodésicos
BNDO	- Banco Nacional de Dados Oceanográficos
CGEM	- Controle Geodésico de Estações Maregráficas
CHM	- Centro de Hidrografia da Marinha
CHS	- Serviço Hidrográfico Canadense
CICVTM	- Comitê de Integração das Componentes Verticais Terrestre e Marítima
CLS	- <i>Collecte Localisation Satellites</i>
CNES	- <i>Centre National d'Études Spatiales</i>
CNSS	- <i>Chinese Navigation Satellite Systems</i>
CONCAR	- Comissão Nacional de Cartografia
DCN	- <i>Datum</i> da Carta Náutica
DHN	- Diretoria de Hidrografia e Navegação
DORIS	- <i>Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite</i>
GLONASS	- <i>Global'naya Navigatsion-naya Sputnikovaya Sistema</i>
GMSL	- <i>Global Mean Sea Level</i>
GNSS	- <i>Global Navigation Satellite System</i>
GPS	- <i>Global Positioning System</i>
ICGEM	- <i>International Centre for Global Earth Models</i>
IDEM	- Infraestrutura de Dados Espaciais Marinhos
IHRF	- <i>International Height Reference Frame</i>
INDE	- Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais
IPCC	- Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
IRSS	- <i>Indian Regional Navigation Satellite System</i>
ITRF	- <i>International Terrestrial Reference Frame</i>
ITRS	- <i>International Terrestrial Reference System</i>
LH	- Levantamento Hidrográfico
MGG	- Modelo Global do Geopotencial
MGO	- Modelo Global Oceânico
MLWS	- <i>Mean Low Water Springs</i>
MSS	- <i>Mean Sea Surface</i>
NMM	- Nível Médio do Mar
NMML	- Nível Médio do Mar Local

NR	- Nível de Redução
ONU	- Organização das Nações Unidas
QZSS	- <i>Quase-Zenith Satellite System</i>
RAAP	- Rede Altimétrica de Alta Precisão
RGRC	- Rede Geodésica de Referência Costeira
RMPG	- Rede Maregráfica Permanente para Geodésia
RN	- Referência de Nível
SDUST2020	- Shandong University of Science and Technology 2020
SGB	- Sistema Geodésico Brasileiro
SGR	- Sistema Geodésico de Referência
SIG	- Sistema de Informação Geográfica
SIRGAS	- Sistema de Referência Geodésico para as Américas
SLR	- <i>Satellite Laser Ranging</i>
VLBI	- <i>Very Long Baseline Interferometry</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	22
1.2 HIPÓTESES	23
1.3 JUSTIFICATIVA	24
1.4 OBJETIVOS	27
1.4.1 Objetivo geral	27
1.4.2 Objetivos específicos.....	27
2 REVISÃO DE LITERATURA	28
2.1 BREVE PANORAMA SOBRE A VINCULAÇÃO DOS DATA VERTICAIS EM ALGUMAS REGIÕES DO MUNDO.....	28
2.2 INFRAESTRUTURA GEODÉSICA EM REGIÃO COSTEIRA	29
2.3 OBSERVAÇÕES E MODELOS DO NÍVEL DO MAR.....	35
2.4 VINCULAÇÃO DE ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS A UM REFERENCIAL GEOCÊNTRICO.....	42
3 MATERIAL E MÉTODOS	47
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	47
3.2 MATERIAL	48
3.2.1 Estações Maregráficas e Geodésicas	48
3.2.2 Modelos Globais Oceânicos (MGO).....	49
3.2.3 Modelos Globais do Geopotencial (MGG).....	50
3.3 MÉTODOS	53
3.3.1 Inventário de dados geodésicos e maregráficos do BNDO	53
3.3.2 Investigação dos vínculos entre as estações maregráficas e geodésicas	55
3.3.3 Compatibilização dos dados geodésicos.....	56
3.3.4 Avaliação de MGO com relação aos níveis de referência da RMPG	57
3.3.5 Proposição da vinculação dos níveis de referência do BNDO a um referencial geocêntrico.....	58
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	62
4.1 INVENTÁRIO DOS DADOS DA REGIÃO SUL	62
4.2 ANÁLISE DOS DADOS ORGANIZADOS	63
4.3 INVESTIGAÇÃO DOS VÍNCULOS ENTRE AS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS E GEODÉSICAS.....	68

4.4 AVALIAÇÃO DE MGO COM RELAÇÃO AOS NÍVEIS DE REFERÊNCIA DA RMPG 70	
4.5 VINCULAÇÃO DOS NÍVEIS DE REFERÊNCIA DO BNDO A UM REFERENCIAL GEOCÊNTRICO.....	80
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	98
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	101
REFERÊNCIAS.....	103
APÊNDICE A – RELATÓRIO DE INCONSISTÊNCIA DOS DADOS DO BANCO NACIONAL DE DADOS OCEANOGRÁFICOS (BNDO)	112
APÊNDICE B – METADADOS DAS INFORMAÇÕES DO BNDO ESPACIALIZADAS NO QGIS.....	115
ANEXO A – FICHA DE DESCRIÇÃO DE ESTAÇÃO (F-21) – ESTAÇÃO GEODÉSICA.....	116
ANEXO B – FICHA DE DESCRIÇÃO DE ESTAÇÃO (F-41) – ESTAÇÃO MAREGRÁFICA	117

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o relatório especial do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), *The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*, o Nível Médio Global do Mar (GMSL - *Global Mean Sea Level*) está subindo e essa elevação tem apresentado uma aceleração. A causa predominante do aumento do GMSL desde 1970 são as ações antrópicas. Em termos quantitativos, as observações do GMSL obtidas a partir de marégrafos e satélites altímetros mostram a ocorrência desse aumento e aceleração ao longo do tempo: no período de 1901-1990 tinha-se uma elevação do GMSL de 1,4 mm/ano, em 1970-2015 a elevação foi de 2,1 mm/ano, no período de 1993-2015 foi de 3,2 mm/ano e 3,6 mm/ano durante o período 2006-2015 (IPCC, 2022a).

Nessa perspectiva, a Geodésia contribui substancialmente para a solução dos inúmeros desafios da sociedade, como a detecção das causas e efeitos das alterações climáticas, riscos de perigos naturais e medidas contra a perda de biodiversidade, habitat e funções ecossistêmicas (MÜLLER; PAIL, 2022). Ainda de acordo com os autores os objetivos da Geodésia compreendem a mensuração contínua da geometria das superfícies terrestre e oceânica, a modelagem do campo gravitacional, a rotação terrestre e a orientação do planeta no espaço.

As ações no âmbito da Geodésia são exequíveis pois a Ciência se propõe a fornecer uma infraestrutura necessária para o monitoramento de variações e mudanças do planeta Terra (DREWES, 2006). Tais ações somente foram possíveis pelo desenvolvimento tecnológico e o advento da era espacial que proporcionaram novas tecnologias e técnicas espaciais diversas. Um marco importante ocorreu em 04 de outubro de 1957 quando o Sputnik foi lançado no espaço, este satélite pesava 184 libras (aproximadamente 83,461 kg) e orbitava a Terra a cada 90 minutos. Foi o primeiro satélite artificial do mundo lançado no espaço (NASA, 2022).

Com esse advento e o desenvolvimento dos sistemas de navegação por satélite, o posicionamento e a navegação terrestre, marítima e aérea ganharam outra abordagem por meio da junção entre sistemas em uma base global ou regional, tido como o Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS - *Global Navigation Satellite System*) que fornece serviços de posicionamento, navegação e tempo (GPS, 2021).

Apesar da popularização do Sistema de Posicionamento Global (GPS - *Global Positioning System*) (HEGARTY, 2017), há outros sistemas com as mesmas

finalidades, tais como o Sistema Global de Navegação por Satélite (GLONASS - *Global'naya Navigatsion-naya Sputnikovaya Sistema*) (REVNIVYKH, 2017), o Sistema de Navegação por Satélite Europeu (Galileo) (FALCONE; HAHN; BURGER, 2017), o Sistema de Navegação por Satélite Chinês (CNSS - *Chinese Navigation Satellite Systems*) (YANG; TANG; MONTENBRUCK, 2017) e os sistemas regionais, Sistema de Satélite quase-zenital (QZSS - *Quase-Zenith Satellite System*) e o Sistema Indiano de Navegação por Satélite Regional (IRSS - *Indian Regional Navigation Satellite System*) (KOGURE; GANESHAN; MONTENBRUCK, 2017).

Nestes sistemas, no que concerne a altimetria, é possível a obtenção da altitude sem a necessidade de realizar o nivelamento geométrico clássico com o uso de nível e miras, no entanto, a altitude é dita altitude geométrica ou elipsoidal. Com caráter apenas geométrico, para o vínculo com o campo de gravidade há a necessidade da informação da altitude geoidal ou da anomalia de altitude, funcionais obtidas por meio da modelagem do campo de gravidade. Por tanto, este fato impulsionou a necessidade de modelos geoidais/quase-geoidais adequados e fidedignos para aplicação nas áreas de mapeamento e engenharia (NICÁCIO; DALAZOANA, 2017). Estas funcionais permitem a conversão das altitudes elipsoidais em altitudes ortométricas e normais, respectivamente, porém o nível de precisão da transformação está vinculado diretamente à qualidade destes modelos.

No contexto da zona costeira, no início da década de 1990, o Serviço Hidrográfico Canadense (CHS) iniciou uma série de pesquisas envolvendo campanhas de posicionamento GNSS em Referências de Nível (RNs) de estações maregráficas, conectando assim, o *Datum* da Carta Náutica (DCN) ao elipsoide de referência (O'REILLY et al., 1996). Em termos de Brasil, poucas são as estações maregráficas do Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO) que possuem suas RNs com dados de rastreo GNSS, porém no contexto da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG) isso já é uma realidade, porque as estações maregráficas de Imbituba, Arraial do Cabo, Macaé, Salvador, Fortaleza, Belém e Santana estão conectadas com um referencial geocêntrico (IBGE, 2021).

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

A quantificação de mudanças no nível do mar ao longo do tempo somente é possível com observações geodésicas altamente precisas. Principalmente pela

necessidade de realizar comparações submilimétricas de medições do nível do mar atual e das últimas décadas, pensando no melhor gerenciamento e monitoramento costeiro. Além disso, as observações geodésicas fornecem a base para criação de uma rede de referência global que pode ser estendida aos estudos regionais e locais, a fim de vincular observações multidisciplinares com consistência e acurácia (BLEWITT et al., 2010).

Por isso, as observações geodésicas e maregráficas dos levantamentos topográficos, geodésicos e batimétricos em zonas costeiras são de difícil unificação devido aos distintos referenciais verticais locais envolvidos (KE et al., 2020), uma solução é a conexão desses dados com uma rede de referência global. Esta rede é a base para conectar observações no espaço e no tempo e define a estrutura na qual as observações globais e regionais das mudanças no nível do mar podem ser compreendidas e interpretadas (BLEWITT, 2010).

No Brasil, como em outros países, o desafio posto enfrenta a falta de organização de dados geodésicos e maregráficos, a escassez de investimentos para o melhor gerenciamento costeiro e as poucas iniciativas para integração dos referenciais verticais em costa. Nesse sentido, pergunta-se, quais iniciativas e estudos poderão contribuir para um avanço do país na direção da solução dessa problemática?

Isso porque os níveis de referência (*data* verticais) oceânicos que foram e são estabelecidos ao longo da costa brasileira foram baseados em observações maregráficas pontuais. Dessa maneira, para cada uma das estações maregráficas há um DCN associado que foi determinado em diferentes épocas e a extensão do período de observação também não foi padronizada para a quantificação destes níveis em cada estação (SANTANA; DALAZOANA, 2020).

1.2 HIPÓTESES

Se for possível a aplicação de diversas estratégias e estudos dos níveis de referência em zona costeira para a vinculação dos níveis a um referencial geocêntrico, **então** a compreensão desses níveis com relação aos modelos globais do nível do mar e o monitoramento ao longo do tempo poderão ser alcançados com melhor precisão e acurácia.

1.3 JUSTIFICATIVA

Em 2019 a Organização das Nações Unidas (ONU) considerou o período de 2021 a 2030 como a Década dos Oceanos para o desenvolvimento sustentável visando apoiar os esforços que buscam a melhoria das condições dos oceanos, tendo entre seus objetivos a possibilidade de um oceano seguro, previsível, transparente e produtivo, onde os dados marinhos pudessem ser mapeados, previstos, divulgados e seus recursos explorados sustentavelmente (SANTANA et al., 2020). Diretamente espera-se promover ao longo de uma década a garantia das seguintes condições (OCEAN DECADE, 2023):

- Um oceano limpo: no qual as fontes de poluição sejam identificadas, reduzidas e/ou removidas.
- Um oceano saudável e resiliente: no qual os ecossistemas marinhos sejam compreendidos, protegidos, restaurados e geridos.
- Um oceano produtivo: que apoie o abastecimento sustentável de alimentos e uma economia oceânica sustentável.
- Um oceano conhecido: o qual a sociedade entenda e possa responder às mudanças nas condições do oceano.
- Um oceano seguro: no qual a vida e os meios de subsistência sejam protegidos dos perigos relacionados com o oceano.
- Um oceano acessível: com acesso aberto e equitativo a dados, informações, tecnologia e inovação no contexto oceânico.
- Um oceano inspirador e envolvente, onde a sociedade entenda e valorize o oceano em relação ao bem-estar humano e ao desenvolvimento sustentável.

Ações como a Década dos Oceanos para o desenvolvimento sustentável promovida pela ONU mitigam os apontamentos de que os riscos costeiros aumentarão em pelo menos uma ordem de grandeza ao longo do século 21 devido ao aumento do nível do mar. Este aumento provocará impactos nos ecossistemas, pessoas, meios de subsistência, infraestrutura, alimentos, segurança, patrimônio cultural e natural. Concentrados em cidades e povoados em zonas costeiras, esses riscos já estão sendo enfrentados e irão acelerar até 2050 e continuarão a aumentar até 2100 (IPCC, 2022b).

A elevação do nível do mar pode ocasionar inundações permanentes de regiões com baixa elevação, além disso, pode ocorrer o aumento da frequência, extensão e profundidade de inundações causadas pelas marés (NSW, 2023). Ao passo que essas regiões seriam as mais impactadas, elas também são as com maior densidade demográfica na comparação com o interior continental, além de apresentar as maiores taxas de crescimento populacional e urbanização (NEUMANN et al., 2015).

Um dos caminhos essenciais para a mitigação de desastres em região costeira devido a vulnerabilidade que pode ser provocada por eventos extremos é a partir da mensuração do risco a inundação nessas regiões, essa ação somente é possível com a compatibilização dos níveis de referência vinculados aos levantamentos terrestres e oceânicos, ou seja, para altitudes e profundidades (SOARES et al., 2019).

Isso posto, é importante destacar que, todas as atividades humanas e os processos naturais são influenciados pelas altitudes ou profundidades do local que ocorrem. As altitudes são essenciais para ajudar a determinar locais apropriados para o desenvolvimento de atividades humanas, para mapear o relevo, para delimitar bacias de drenagem, para mapear áreas de várzea, para apoiar inventários florestais e para prever a propagação de fenômenos (como poluição, inundações, riscos de deslizamento de terras, entre outros). Da mesma maneira, as profundidades desempenham um papel fundamental na governança, gestão e utilização segura e sustentável dos oceanos e seus recursos naturais (UN-GGIM, 2024).

Em termos práticos, uma das questões mais importantes na operação hidrográfica é a determinação do DCN e a conversão das profundidades medidas no levantamento a este nível de referência (FARZANEH; PARVAZI, 2018). Nessas operações hidrográficas ou até mesmo no próprio Levantamento Hidrográfico (LH), de acordo com Santana et al. (2020) *“a redução das incertezas potencializa um círculo virtuoso para a economia do país, pois quanto mais segura for a navegação, maior o potencial de movimentação de cargas em um porto”*. O círculo virtuoso perpassa pela infraestrutura sólida de dados ambientais, terrestres e oceânicos que permitirão a modernização do porto e desenvolvimento da economia do país.

No que tange aos Sistemas Geodésicos de Referência (SGRs) há uma busca histórica pela unificação entre distintos sistemas para a condução de investigações de maneira integrada, em particular, nas regiões costeiras observa-se o desafio de

conectar os referenciais terrestre e oceânico ao se trabalhar com diferentes níveis de referência vertical em costa (SANTANA; DALAZOANA, 2022). A integração desses referenciais, além de atender a objetivos de desenvolvimento sustentável, contribui para a segurança costeira, gestão de recursos, governança eficaz, previsão de riscos e prevenção de desastres naturais conforme destacado por organizações como o IPCC e a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO).

Os principais desafios para o desenvolvimento de um estudo que envolve a vinculação dos *Data* verticais oceânicos a um referencial global na região costeira brasileira perpassa em um primeiro momento pela compreensão da realidade nacional, principalmente no que diz respeito aos dados disponíveis e como estes foram organizados. Soma-se ainda a complexidade de integração de dados de diferentes fontes, os diferentes referenciais, a precisão dos modelos e dados disponíveis, a distribuição espacial e temporal dos dados necessários e a extensão da costa brasileira.

A sinergia existente entre a Geodésia e o ambiente costeiro ocorre pela possibilidade de uso das técnicas espaciais da Geodésia para o monitoramento desse ambiente. Os avanços dessa Ciência, principalmente com o estabelecimento do Sistema Geodésico de Referência Global (GGRS) buscam integrar características geométricas e físicas para atender às demandas de diversas áreas do conhecimento de maneira unificada, e objetivando atingir uma acurácia de 10^{-9} ou melhor (DALAZOANA; DE FREITAS, 2020).

Em um caráter global, a Rede Geodésica de Referência Global (GGRF), a realização do GGRS, permite aos usuários determinarem e expressarem com precisão localizações na Terra, bem como quantificar as mudanças da Terra no espaço e no tempo. A maioria das áreas da Ciência e atividades da sociedade em geral dependem da capacidade de determinar posições com um elevado nível de precisão, o que também é essencial na hidrografia e no ambiente costeiro (UN-GGIM, 2024).

O GGRF inclui a geometria, o campo gravitacional da Terra e a orientação da Terra em relação ao referencial celeste. Baseia-se em sistemas de observação geodésica, centros de dados, centros de análise, bem como centros de combinação e de produtos. Embora as atividades práticas que necessitam de referenciais globais se concentrem predominantemente em questões de infraestrutura, operacionais e

técnicas, as atividades de investigação e as inovações também devem ser consideradas (IAG, 2024).

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo geral

Propor solução para a vinculação dos data verticais oceânicos a um referencial global: desafios e perspectivas no contexto do Brasil.

1.4.2 Objetivos específicos

- Realizar inventários de dados geodésicos e maregráficos do BNDO.
- Quantificar as estações maregráficas que estão vinculadas às estações geodésicas.
- Avaliar a adequação dos Modelos Globais Oceânicos (MGOs) com relação aos níveis de referência das estações maregráficas.
- Propor uma vinculação dos níveis de referência das estações maregráficas a um referencial geocêntrico.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 BREVE PANORAMA SOBRE A VINCULAÇÃO DOS DATA VERTICAIS EM ALGUMAS REGIÕES DO MUNDO

Um dos maiores desafios do LH é estabelecer a relação entre o elipsoide e o DCN no ambiente costeiro. Diversas iniciativas de cientistas e instituições públicas e privadas buscam diferentes estratégias para a estimativa da relação entre o DCN e o elipsoide. Conforme Santana et al. (2020) as estratégias adotadas por países estrangeiros mostram incertezas de modelos de separação do elipsoide com relação ao DCN de 6,6 cm a 22,6 cm em relação a Rede Internacional de Referência Terrestre (ITRF - *International Terrestrial Reference Frame*).

Na Austrália, país de dimensões continentais, como o Brasil, e cercado pelos oceanos Pacífico e Índico, o Grupo de Trabalho AUSHYDROID do Comitê Intergovernamental de Topografia e Mapeamento tem buscado uma superfície que apresente a separação entre o referencial vertical para cartas náuticas e o elipsoide de referência adotado no país.

A expectativa do comitê é de que seja possível a vinculação entre os levantamentos batimétricos e as observações terrestres por meio de um referencial único, além de fornecer a infraestrutura necessária para estimativas das variações do nível do mar, que por consequência, auxiliarão no desenvolvimento de soluções para as mudanças climáticas (ICSM, 2024).

Nos Estados Unidos, o Programa VDatum, integra dados de elevação, a partir da transformação entre os *Data* nacionais. O VDatum é uma ferramenta de transformação de dados batimétricos e topográficos entre diferentes níveis de referência de maré, referenciais verticais de altitudes, tais como elipsoides de referência, *Datum* vertical de altitudes do país e modelos geoidais, fazendo a conexão entre três tipos de referenciais verticais: maregráficos, elipsoidais e ortométricos (NOAA, 2024).

Na Europa, um dos objetivos da Rede Europeia de Observações e Dados Marinhos (EMODnet) é avaliar a consistência de *Data* verticais oceânicos existentes. Nesse ponto, podem ser citados alguns projetos desenvolvidos com esta finalidade no continente europeu como o VORF (*Vertical Offshore Reference Frame*) (TURNER et al., 2010), o BathyElli (*Bathymetry referred to the Ellipsoid*) (PINEAU-GUILLOU;

DORST, 2012) e o BLAST (*Bringing Land and Sea Together*) (SLOBBE; KLEES, 2012). O principal desafio da EMODnet refere-se às várias definições, realizações e metodologias para os *Data* verticais oceânicos na Europa (ALBERTS, 2016).

Na América do Sul diversas iniciativas buscam relacionar o DCN a um referencial global a partir da criação de modelos em regiões específicas, tais como, na Baía de Concepcion e Golfo de Arauco, no Chile (GONZÁLEZ ACUÑA; ARROYO SUAREZ, 2013); no Rio da Prata, na Argentina (OREIRO; D'ONOFRIO; FIORE, 2016); no Sudoeste do Oceano Atlântico (AZKUE; D'ONOFRIO; BANEGAS., 2021) e na Baía de Guanabara (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2010). Para mais detalhes sobre a vinculação de *data* verticais em diversas regiões mundo, consultar Santana et al. (2020) e Santana e Dalazoana (2020).

2.2 INFRAESTRUTURA GEODÉSICA EM REGIÃO COSTEIRA

Considerando os objetivos da Geodésia moderna que busca promover uma infraestrutura para o monitoramento de variações no planeta, em regiões costeiras não seria diferente. É necessário que se tenha um arcabouço de técnicas sendo utilizadas de maneira integrada para a melhor gestão dos riscos na região. No contexto brasileiro, há diversas instituições que trabalham na direção do estabelecimento dessa infraestrutura, porém, devido a extensão da costa do país, as iniciativas são aquém do necessário e carecem da continuidade dos projetos ao longo do tempo.

Em 2018, a partir da Portaria nº 76, de 26 de março, o Ministério do Meio Ambiente lançou o Programa Nacional de Conservação da Linha de Costa (Procosta). O programa é composto por 4 projetos: I - compatibilização da altimetria com a batimetria, também conhecido como Projeto AltBat; II - Projeção de Linhas de Costa Futuras e Identificação de Perigos; III - Riscos Costeiros e Estratégias de Adaptação; e IV - Monitoramento e Gestão para a Conservação da Linha de Costa (BRASIL, 2018).

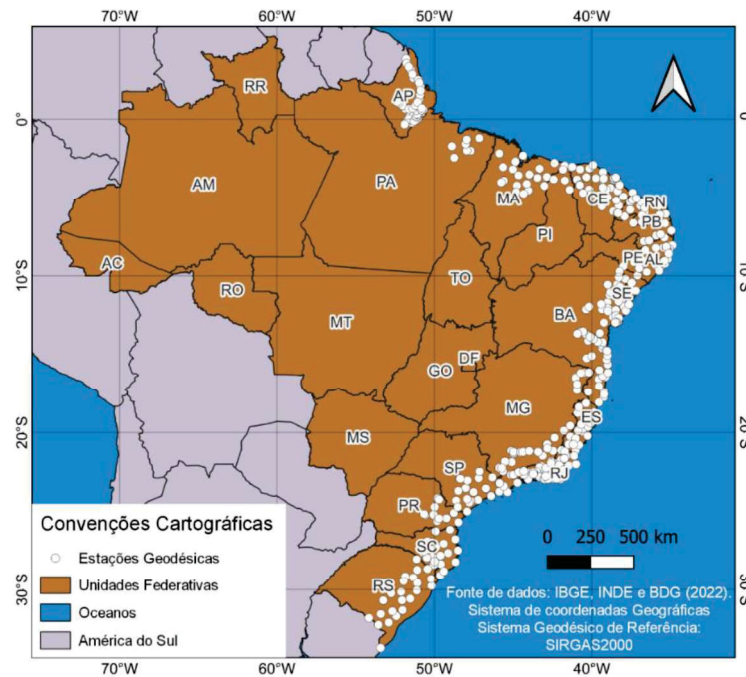
O programa na época tinha como objetivo buscar solucionar um importante problema de falta de dados confiáveis em escala nacional e, a partir desses dados, compreender a atual situação da zona costeira, visando o monitoramento e a previsão de mudanças, como alternativas de mitigação e adaptação nessas regiões (MMA, 2018). Fazendo um recorte ao projeto AltBat, este é voltado aos estudos com a

componente altimétrica que já vinha sendo discutida pelo Comitê de Integração das Componentes Verticais Terrestre e Marítima (CICVTM) no âmbito da extinta Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR) (SOARES et al., 2019).

Como uma atividade do CICVTM o IBGE iniciou o desenvolvimento da Rede Geodésica de Referência Costeira (RGRC), a qual visa subsidiar os estudos sobre a vinculação de referenciais verticais aplicados à zona costeira por meio da avaliação, definição e consolidação de uma infraestrutura de estações geodésicas ao longo do litoral brasileiro com precisão adequada à descrição dos fenômenos que se deseja estudar nesse ambiente. A rede é constituída por marcos geodésicos robustos, inclui a realização de nivelamento geométrico em circuitos da rede, implantação de uma malha gravimétrica densa, instalação de estações GNSS ativas e de EMs na região (SOARES et al., 2019).

Além da RGRC, há na zona costeira do Brasil, em uma distância de 210 km a partir da linha de costa, 550 estações geodésicas (FIGURA 1) do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) que possuem conexão entre os dados de levantamento GNSS (com altitude elipsoidal) e nivelamento (com altitude normal), ou seja, as estações fazem parte das duas redes do SGB, Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) e Rede Planialtimétrica (SANTANA et al., 2022). Os autores fizeram o levantamento em um raio de 210 km pois para a implantação de estações da Rede de Referência Internacional de Altitudes (IHRF - *International Height Reference Frame*) é recomendado, para solução do Problema de Valor de Contorno da Geodésia (PVCG), o uso de dados de gravidade bem distribuídos num raio de 210 km no entorno do ponto de interesse (SANCHÉZ et al., 2016).

FIGURA 1 – ESTAÇÕES GNSS E REFERÊNCIAS DE NÍVEL EM REGIÃO COSTEIRA



FONTE: Santana et al. (2022).

Estações geodésicas como estas podem ser utilizadas para o monitoramento da região, avaliação e validação de modelos de Terra, como os Modelos Globais do Geopotencial (MGG), Modelos Geoidais Locais/Nacionais e Modelos de conversão de altitudes. Apesar da recorrência histórica de destruição de estações geodésicas do SGB, das 550 estações próxima a costa, 481 estações estão em um bom estado de conservação e com visitas recentes realizadas pelo IBGE, conforme Figura 2 (SANTANA et al., 2022).

FIGURA 2 – ANO DAS ÚLTIMAS VISITAS ÀS 550 ESTAÇÕES GEODÉSICAS



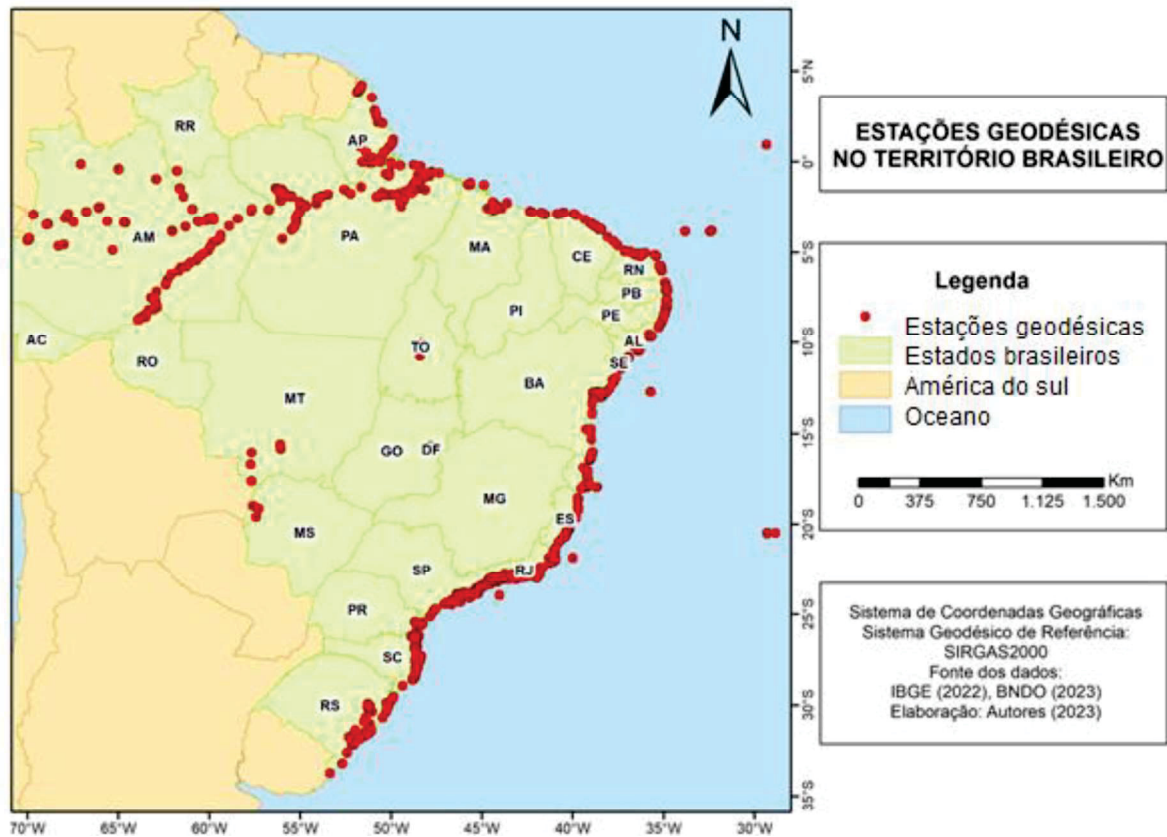
FONTE: Santana et al. (2022).

Há outro conjunto de estações geodésicas em ambiente costeiro que são utilizadas para vinculação com as estações maregráficas estabelecidas pela Marinha do Brasil. Ambas as estações possuem seus dados e fichas registrados e disponibilizados pelo BNDO. As estações geodésicas do BNDO são designadas de estações topo-geodésicas na NORMAM-501-DHN, suas coordenadas adotam os SGRs SIRGAS2000 ou WGS84 e possuem uma Ficha de Descrição de Estação (F-21) (conforme exemplo no Anexo A) (DHN, 2023).

As estações geodésicas do BNDO podem ser visualizadas na Infraestrutura de Dados Espaciais Marinhos (IDEM) da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) ou na Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE). No entanto, o acesso irrestrito aos atributos de cada estação geodésica é obtido a partir das fichas F-21 diretamente no BNDO, pois a disponibilização na INDE e IDEM são somente dos dados de coordenadas geodésicas, unidades federativas e identificador da ficha da estação.

Atualmente são aproximadamente 1.600 estações geodésicas ao longo da costa e dos rios brasileiros (FIGURA 3).

FIGURA 3 – ESTAÇÕES GEODÉSICAS DO BNDO.



FONTE: O autor (2023).

Com vista às observações maregráficas em costa, que objetivam o monitoramento do nível do mar que será abordado na seção 2.2, o IBGE mantém o Controle Geodésico de Estações Maregráficas (CGEM) vinculado à RMPG do SGB. De acordo com IBGE (2021) o CGEM possibilita o controle temporal e de precisão da correlação entre diversas superfícies físicas e geométricas de referência altimétrica nas estações maregráficas da RMPG.

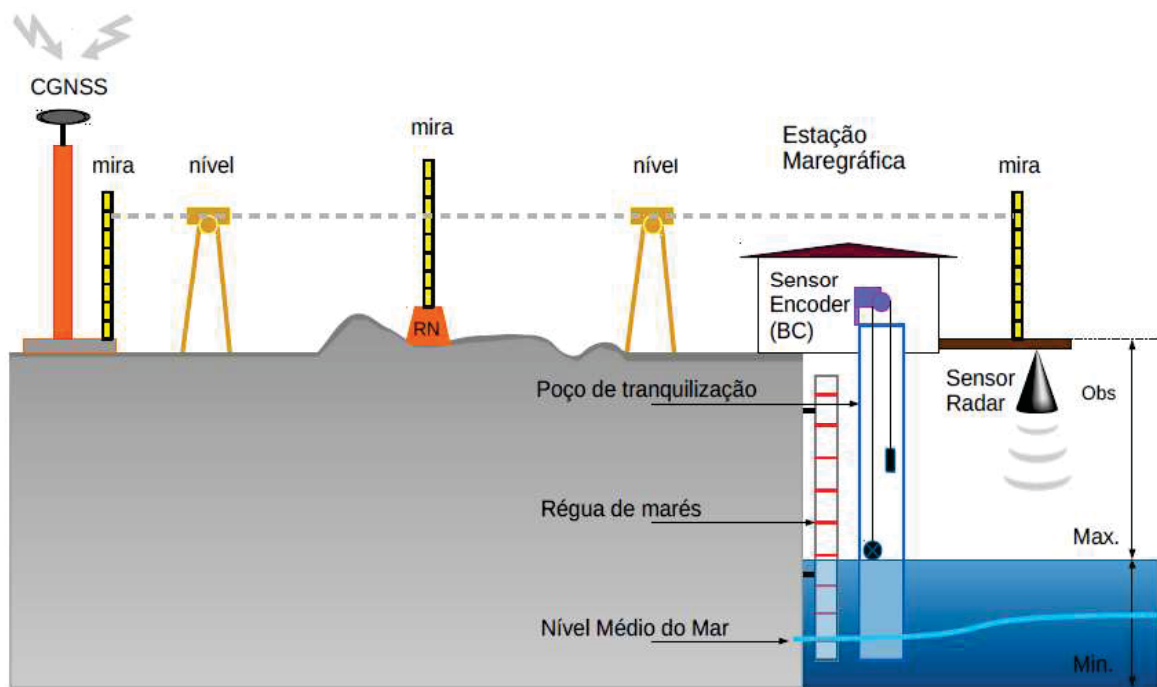
O principal produto do controle geodésico de estações maregráficas é a ficha de correlação de níveis atualizada de cada estação maregráfica e as principais atividades do CGEM são a aferição dos sensores de nível (com o Teste de Van de Castele), o nivelamento geométrico científico e o rastreo GNSS (SOARES et al., 2018; IBGE, 2021). A junção de diferentes técnicas e métodos promovem o monitoramento da qualidade das observações maregráficas e o acompanhamento dos movimentos da crosta na região da estação maregráfica.

A FIGURA 4 apresenta um esquema dos diferentes métodos de observações vinculados ao CGEM. Nota-se que as conexões entre os sensores maregráficos, RN

e a estação de controle GNSS (CGNSS) ocorrem a partir do nivelamento geométrico pelo método das visadas iguais. Há também de se destacar a importância de uma estação GNSS de monitoramento contínuo para promover a compreensão de movimentos verticais da crosta terrestre na região. E a existência de um sensor encoder e de um sensor radar possibilita a redundância de observações do nível do mar.

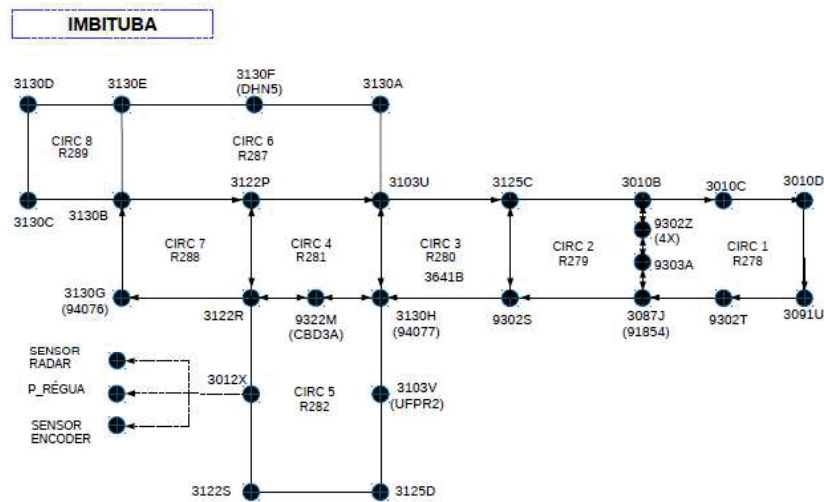
Na FIGURA 5 há um exemplo das estações geodésicas para o CGEM na estação maregráfica de Imbituba-SC. Estas estações geodésicas são RNs que a partir do nivelamento geométrico objetivam detectar e quantificar os movimentos verticais de origem não oceânica na região das estações maregráficas da RMPG. O nivelamento geométrico envolve a realização e o estabelecimento de circuitos fechados que permitem o ajustamento das observações. No caso da estação de Imbituba o controle geodésico da estação maregráfica é feito com o nivelamento geométrico de vinte e seis RNs, formando 8 circuitos de nivelamento geométrico.

FIGURA 4 – ESQUEMA DO CONTROLE GEODÉSICO DE ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS.



FONTE: IBGE (2021).

FIGURA 5 – ESQUEMA DOS CIRCUITOS DA ESTAÇÃO RMPG – IMBITUBA.



FONTE: IBGE (2021).

2.3 OBSERVAÇÕES E MODELOS DO NÍVEL DO MAR

O monitoramento contínuo dos ambientes costeiros, seja em termos geofísico ou ambiental requer informações precisas das medições dos níveis do mar e da terra, além do conhecimento de como eles variam ao longo do tempo. No entanto, o nível do mar, pode ser particularmente complicado de medir (WOODWORTH et al., 2017). Isso em razão de haver uma diversidade de técnicas para sua coleta, além das diferentes características que podem ocasionar dificuldades na coleta e análise dos dados em cada uma delas. Sobretudo no Brasil, um país continental, o monitoramento do nível do mar ao longo da costa enfrenta o desafio da extensão da linha de costa de 7.637 km, podendo alcançar 8.500 km se forem consideradas as baías (VITTE, 2003).

A mensuração do nível do mar a partir de estações maregráficas é um método clássico e eficiente utilizado há anos, no entanto, as estações estão fixas na crosta que não é estática, e que por consequência contamina as observações do nível do mar. Uma solução aplicada atualmente é o monitoramento contínuo da crosta por meio de observações GNSS. Por outro lado, desde a década de 1980 já foi possível a obtenção de observações do nível do mar em cobertura global em um sistema de referência geocêntrico com o lançamento dos primeiros satélites altimétricos. Porém, estes satélites apresentam problemas em regiões costeiras em função da interferência

do terreno no sinal de retorno e da rugosidade da superfície do mar, por exemplo (GIEHL; DALAZOANA, 2022).

Como já mencionado, há diversas aplicações e estratégias para as observações do nível do mar. No caso das estações maregráficas do BNDO, o objetivo das estações é o estabelecimento dos níveis de referência para a execução do LH, principalmente do Nível de Redução (NR). De acordo com Santana e Dalazoana (2020) os NRs das estações maregráficas são utilizados como os *Data* verticais oceânicos ou DCNs os quais são referências para as cartas náuticas confeccionadas pela DHN.

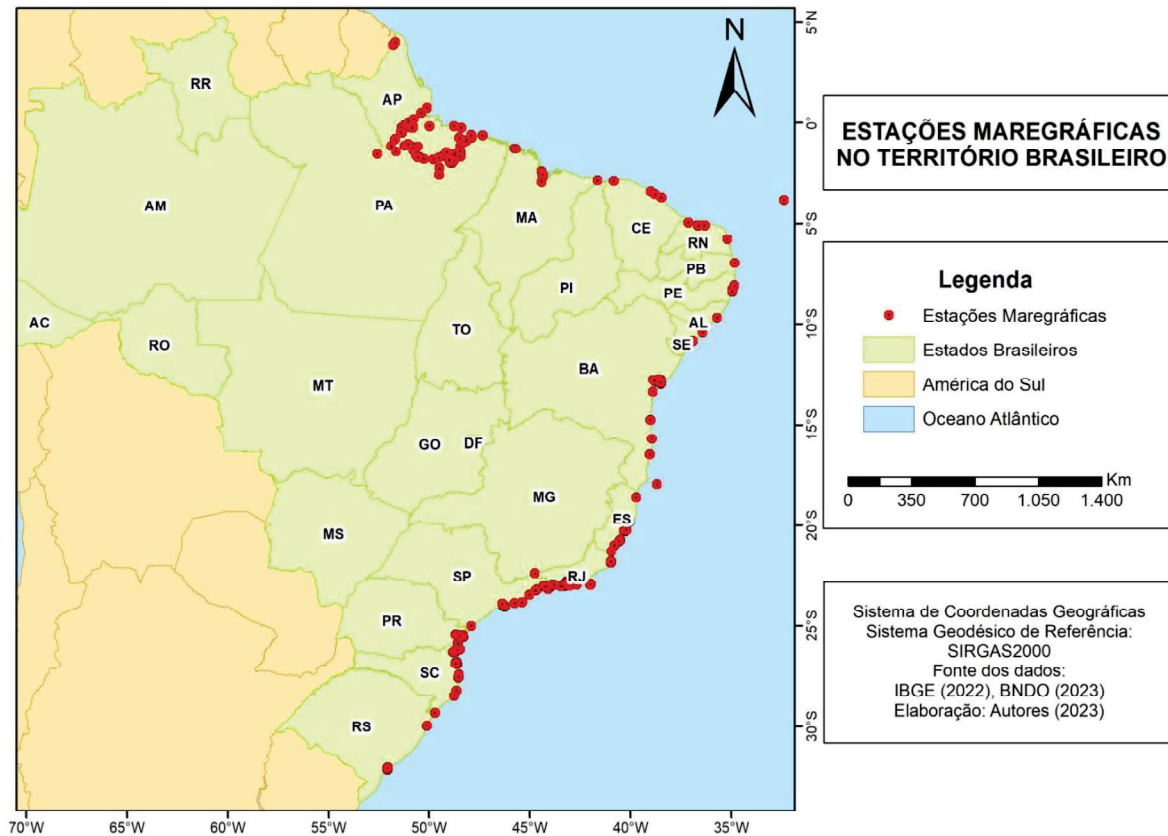
Em uma consulta, realizada em junho de 2023, havia 229 estações maregráficas no BNDO (FIGURA 6). Todas as estações possuem uma Ficha de Descrição de Estações Maregráficas (F-41) (conforme exemplo no Anexo B) e são oriundas de observações maregráficas estabelecidas pelo que é preconizado na NORMAM-501-DHN. A F-41 é documento no qual o Centro de Hidrografia da Marinha (CHM) registra todas as informações relevantes para, se necessário, reconstituir uma determinada estação maregráfica, em apoio a um LH. Essa ficha contém a localização da estação maregráfica e as RNs localizadas nas proximidades; o período de observação utilizado para o cálculo do nível médio do mar local e do nível de redução; as cotas ou desníveis entre as RNs e a régua utilizada no período da observação; o comprimento da régua para o período de observação; dentre outras informações julgadas pertinentes (DHN, 2023).

A ocupação de novas estações maregráficas é realizada por meio da implantação de preferencialmente cinco RNs e, no mínimo três RNs, para garantir a perenidade da estação maregráfica, instalação de uma régua de marés e marégrafo e o cálculo do DCN. Com relação ao período de observação do nível do mar, dependerá do método empregado (DHN, 2023):

- Análise harmônica da maré: É necessária a medição da maré da nova estação maregráfica por um período mínimo de 32 dias consecutivos, para o estudo das constantes harmônicas e cálculo do DCN da estação.
- Análise cruzada: Realizar a medição simultânea da maré na nova estação e em outra estação maregráfica principal da área, por um período superior a 10 dias.
- Transporte de NR: Observar um período de marés superior a 3 dias no período da sizígia, sendo o DCN da nova estação determinado a partir do transporte do

DCN da estação principal. Este método só pode ser aplicado quando ambas as estações possuírem características de maré semidiurna pura (sem desigualdades diárias).

FIGURA 6 – ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DO BNDO.



FONTE: O autor (2024).

Por outro lado, a RMPG objetiva acompanhar as evoluções temporal e espacial dos *Data* verticais terrestres brasileiros (Imbituba-SC e Santana-AP) e realizar o monitoramento do nível do mar na costa (IBGE, 2021). A RMPG promove um monitoramento preciso a partir de um conjunto de estratégias, além das estações maregráficas, o CGEM promove os levantamentos topográficos e geodésicos conforme citado na seção anterior.

Com um total de sete estações maregráficas, a RMPG conta atualmente com seis estações em operação e uma inativa (FIGURA 7). Destas, cinco estações maregráficas (Imbituba, Arraial, Salvador 2, Belém e Santana) operam com sensores analógicos e digitais 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 (IBGE, 2021). As estações maregráficas Salvador 1 e Fortaleza não possuem sensores meteorológicos.

FIGURA 7 – ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DA RMPG.



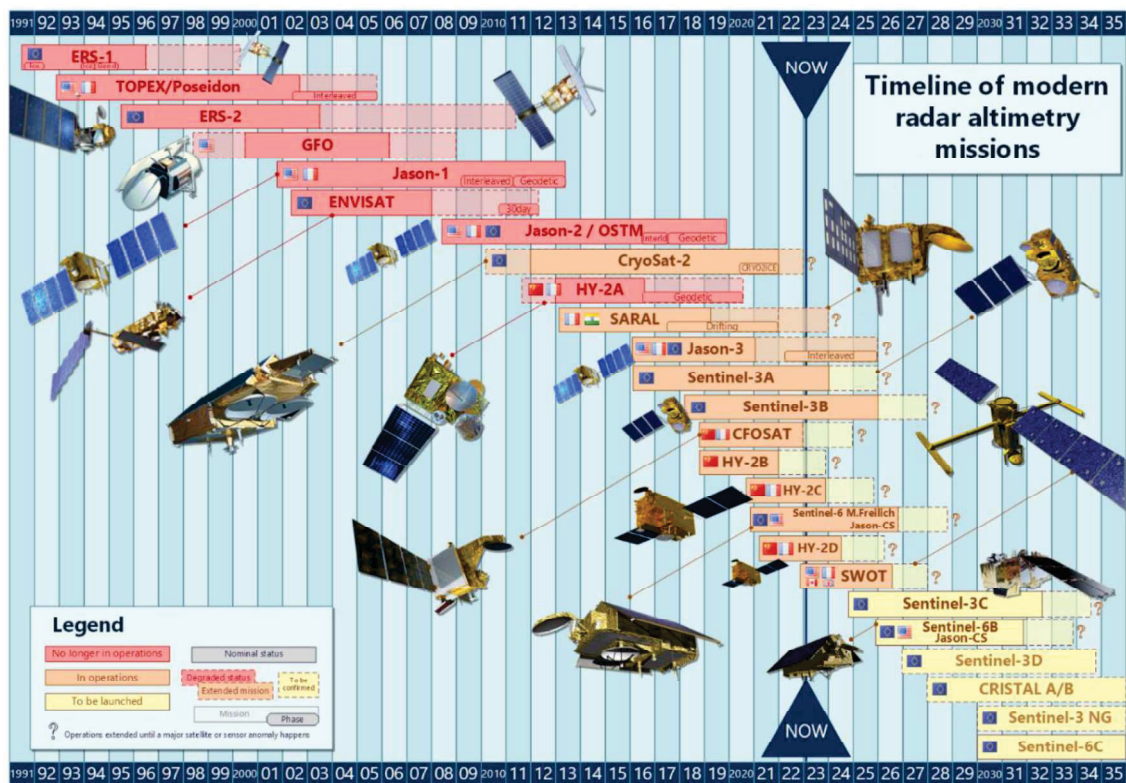
FONTE: IBGE (2021).

Como indicado anteriormente, uma outra perspectiva é o monitoramento dos oceanos de maneira remota realizada por missões espaciais dedicadas a este fim, essas missões são compostas pelos satélites altimétricos. O princípio fundamental baseia-se na medida do tempo que um pulso de radar leva para viajar do satélite à superfície do mar e de volta ao satélite. Altimetros de radar mapeiam a topografia da superfície do oceano com precisão e resolução espacial sem precedentes (NEILL; HASHEMI, 2018).

A FIGURA 8 mostra um esquema com uma linha do tempo dos altímetros de radar modernos desde os anos 90 até a próxima década, incluindo extensões de missões esperadas ou anunciadas, além da vida útil nominal do satélite. Missões passadas estão em vermelho e os satélites em operação estão em laranja. Missões futuras e extensões de missões não confirmadas estão em amarelo. A organização dessa linha do tempo é atualizada periodicamente por AVISO+ (2023) com base nos últimos comunicados dos respectivos programas e agências espaciais.

Para desenvolver modelos de Superfície Média do Mar (MSS - *Mean Sea Surface*) a partir dos dados das missões espaciais, o ideal seria que as observações das missões altimétricas estivessem disponíveis em todas as escalas de tempo e espaço. Conforme pode ser observado na FIGURA 8 há diversas missões e com épocas diferentes. De acordo com Andersen et al. (2023) o desafio é derivar um MSS com amostragem limitada no tempo e no espaço usando as observações dos diferentes satélites, outra questão é mesclar observações repetidas ao longo de trilhas com menor resolução espacial com a alta resolução espacial dos dados de missões geodésicas.

FIGURA 8 – MISSÕES ALTIMÉTRICAS.



FONTE: AVISO+ (2023).

O estudo da MSS é um campo importante na Oceanografia Física, Geofísica e Geodésia. Essa variável representa a altura média da superfície do oceano no tempo. Para se obter a MSS, é necessária uma separação completa do sinal oceânico em dois componentes distintos (em um período de referência estabelecido): uma parte variável e uma parte estática. O desafio consiste em remover a parte variável sem deteriorar a topografia das estruturas geofísicas, principalmente nos comprimentos de onda mais curtos (SCHAEFFER et al., 2023).

Há algum tempo, apenas duas instituições de pesquisa, CLS (*Collecte Localisation Satellites*) com suporte do CNES (*Centre National d'Études Spatiales*) e o DTU Space (*Department Of Space Research and Technology – Technical University of Denmark*) publicam novos modelos de MSS. O CLS/CNES lançou até o momento o CNES_CLS 2011, CNES_CLS 2015 e CNES_CLS 2023 e o DTU Space lançou o DTU10MSS, DTU13MSS, DTU15MSS, DTU18MSS e DTU21MSS. Porém, além desses modelos, recentemente foi lançado o *Shandong University of Science and Technology 2020* (SDUST2020). Este novo modelo de MSS foi estabelecido com um método de média móvel de 19 anos e dados de altimetria de vários satélites combinados durante um período de 27 anos (de janeiro de 1993 a dezembro de 2019). A cobertura geográfica do modelo é de 80° S a 84° N e conta com grades regulares de 1 minuto (YUAN et al., 2023) (QUADRO 1).

QUADRO 1 – RESUMO DO MODELO DE MSS SDUST2020.

Modelos	SDUST2020
Elipsoide de referência	T/P ¹
Época de referência	1993-2019 (27 anos)
Cobertura Geográfica	80°S a 84°N
Resolução Espacial	1/60° (~1,8 km)
Estimativa do erro	Não
Dados altimétricos	Perfis Médios: TOPEX/Poseidon, Jason-1, Jason-2, Jason-3, ERS-2, Envisat, GFO, SARAL, HY-2A, Sentinel-3A Fase Geodésica: ERS-1, Jason-1, HY-2A, SARAL, CryoSat-2

FONTE: Yuan et al. (2023).

¹ Elipsoide TOPEX/Poseidon (T/P) com os seguintes parâmetros: semieixo maior (a) = 6378136,3 m e o semieixo menor (b) = 6356751,600563 m.

Entre os modelos mais recentes, tem-se o modelo de MSS CNES_CLS 2023, ele foi calculado usando um período de 29 anos [1993-2021] de dados altimétricos. Em uma análise global, a precisão deste novo revelou uma melhoria de 40% face ao modelo anterior, de 2015. Esta nova determinação se concentra em uma melhor contabilização da variabilidade oceânica interanual e sazonal, na melhoria significativa nos oceanos polares e na melhoria dos comprimentos de onda mais curtos das partes estáticas do MSS. Além de incluir novos conjuntos de dados de alta resolução do CryoSat-2 e AltiKa, filtrados a 5 Hz para obter uma melhor relação sinal-ruído. Globalmente, o CNES_CLS 2023 é mais preciso perto da costa, comparado com os modelos DTU (AVISO+, 2023; SCHAEFFER et al., 2023).

Anterior ao CNES_CLS 2023, o modelo de MSS CNES_CLS 2015 foi calculado usando um período de 20 anos de dados de altimetria (1993-2012). O modelo foi determinado usando uma técnica de colocação de quadrados mínimos locais que fornece uma estimativa de erro calibrado. A técnica leva em consideração o ruído altimétrico, o ruído da variabilidade oceânica e os vieses ao longo da trilha que são determinados independentemente para cada observação. Foram usados, no cálculo do modelo, processamentos de dados específicos perto da costa, com o objetivo de preservar uma melhor continuidade da precisão do MSS desde o oceano aberto até as costas (PUJOL et al., 2018). O QUADRO 2 apresenta um resumo dos dois últimos modelos lançados pelo CNES/CLS.

QUADRO 2 – RESUMO DOS MODELOS DE MSS CNES/CLS.

Modelos	CNES_CLS 2015	CNES_CLS 2023
Elipsoide de referência	T/P	T/P ou WGS84
Época de referência	1993-2012 (20 anos)	1993-2021 (29 anos)
Cobertura Geográfica	80°S a 84°N	79,4°S a 88°N
Resolução Espacial	1/60° (~1,8 km)	1/60° (~1,8 km)
Estimativa do erro	Sim (em cm)	Sim (em cm)
Dados altimétricos	Perfis Médios: T/P, Jason 1 e 2, T/P tandem, ERS-2, Envisat e GFO. Fase Geodésica: ERS-1, Jason-1 e CryoSat-2.	Perfis Médios: - T/P, Jason 1, 2 e 3 - Interleave of T/P, Jason 1, 2 e 3 - ERS-2, Envisat, AltiKa, GFO Fase Geodésica: C2 (20 Hz), AltiKa (40 Hz) Área ártica: S3A/B (20 Hz) C2 (20 Hz) AltiKa(40 Hz) Validação S3A e IceSat-2

FONTE: AVISO+ (2023).

Por meio de novos processamentos com filtragem e edição atualizadas foi disponibilizado pelo DTU Space da Universidade Técnica da Dinamarca o modelo DTU21MSS. Esse modelo foi calculado a partir de dados altimétricos de 2Hz em contraste com as versões anteriores DTU15MSS e DTU18MSS que foram calculados a partir de dados altimétricos de 1Hz. O novo DTU21MSS é calculado sobre o mesmo tempo médio de 20 anos de 1993.01.01 a 2012.12.31 (ANDERSEN et al., 2023).

No antecessor do DTU21MSS, o DTU18MSS, foram adicionados mais 8 anos da missão Cryosat-2 com relação ao DTU13MSS, os perfis médios das missões TOPEX/Poseidon (T/P), Jason 1 e Jason 2 tiveram os longos comprimentos de onda corrigidos; houve uma atualização dos valores em regiões costeiras com o uso de perfis médios de 2 anos do Sentinel 3A, T/P, Jason 1, Jason 2; e a variabilidade dos oceanos foi removida das missões geodésicas (QUADRO 3) (ANDERSEN et al., 2016; ANDERSEN et al., 2018). Esse modelo foi testado por Santana e Dalazoana (2019) e apresentou o melhor resultado dentre os modelos analisados no estudo, a saber, DTU15MSS e CNES_CLS 2015.

QUADRO 3 – RESUMO DOS MODELOS DE MSS DTU SPACE.

Modelos	DTU18MSS	DTU21MSS
Elipsoide de referência	T/P	T/P ou WGS84
Época de referência	1993-2012 (20 anos)	1993-2012 (20 anos)
Cobertura Geográfica	80°S a 84°N	80°S a 84°N
Resolução Espacial	1/60° (~1,8 km) ou 2/60° (~3,6 km)	1/60° (~1,8 km)
Estimativa do erro	Não	Não
Dados altimétricos	Perfis médios: T/P, Jason 1, Jason 2, ERS2, ENVISAT e GFO. Fases geodésicas: Cryosat-2, Jason 1 e ERS1.	Perfis médios: T/P, Jason 1, Jason 2, ERS2, ENVISAT e GFO. Fases geodésicas: Cryosat-2, Jason 1, Jason 2, Saral AltiKa e ERS1.

FONTE: Andersen et al. (2023), Andersen et al. (2016) e Andersen et al. (2018).

2.4 VINCULAÇÃO DE ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS A UM REFERENCIAL GEOCÊNTRICO

A evolução dos SGRs no Brasil e no mundo ocorreu a partir da disponibilidade de novas técnicas espaciais e tecnologias da informação. Esta evolução propiciou, ao longo do tempo, uma melhoria na qualidade e produção dos dados espaciais (SAMPAIO; SAMPAIO, 2015). No Brasil já foram oficialmente adotados como SGRs,

o Córrego Alegre e o SAD69. Hoje, oficialmente é adotado o SIRGAS2000, em sua realização em 2000,4, conforme resolução nº 1 de 2015 do IBGE (BRASIL, 2015).

O acrônimo original de SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul) mudou em 2001 para Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas e atualmente é Sistema de Referência Geodésico para as Américas devido as mudanças de objetivos com o passar dos anos. Na atualidade, SIRGAS como uma organização, objetiva as seguintes questões (SIRGAS, 2023a):

- Estabelecer e manter um referencial geocêntrico continental (rede de estações com coordenadas geocêntricas de alta precisão $[X, Y, Z]$ e sua variação ao longo do tempo $[V_x, V_y, V_z]$);
- Definir, materializar e manter um sistema de referência vertical unificado através de altitudes físicas e geométricas consistentes a nível global;
- Desenvolver e atualizar um modelo de geoide gravimétrico de cobertura continental; e
- Estabelecer e manter uma rede continental de gravidade absoluta.

Já o SIRGAS, como sistema de referência, tem sua definição idêntica à do Sistema Internacional de Referência Terrestre (ITRS - *International Terrestrial Reference System*) e a realização do SIRGAS é a densificação regional do ITRF. As realizações ou densificações do SIRGAS, estão associadas a diferentes épocas e referidas a diferentes soluções do ITRF, materializam o mesmo sistema de referência e as suas coordenadas, depois de reduzidas à mesma época de referência e à mesma realização (ITRF), são compatíveis ao nível centimétrico. A realização do SIRGAS é efetuada por densificações nacionais da rede continental, que servem como referenciais locais (SIRGAS, 2023b).

O ITRF é um esforço internacional colaborativo, que conta com os investimentos de agências nacionais de mapeamento, agências espaciais e grupos de pesquisa na implementação e operação de observatórios geodésicos, seguidos por centros de dados que coletam e arquivam observações geodésicas e, em seguida, por centros de análise e centros de combinação das quatro técnicas geodésicas espaciais que contribuem para o cálculo do ITRF: *Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite* (DORIS), GNSS, *Satellite Laser Ranging* (SLR) e *Very Long Baseline Interferometry* (VLBI) (ALTAMIMI et al., 2023).

Os SGR modernos, como SIRGAS e ITRS, contam com a possibilidade de uma origem geocêntrica e atendem às necessidades atuais da Geodésia. Essa

característica permite que a comunidade usuária de dados espaciais possa fazer uso de dados mais confiáveis e com melhor interoperabilidade entre outros SGRs e as diferentes técnicas espaciais. Os avanços desses sistemas são sem precedentes, SIRGAS conta hoje com soluções semanais e multi-anuais que são processadas e disponibilizadas ao usuário (SIRGAS, 2023a). Já o ITRF mais atual, o ITRF2020 tem a precisão das coordenadas ao longo do tempo e as velocidades em comparação com soluções anteriores (ITRF2014, ITRF2008 e ITRF2005) melhor ou igual a 5 mm e 0,5 mm/ano, respectivamente (ALTAMIMI et al., 2023).

No contexto das redes de referência verticais terrestres, referência para as cartas topográficas, o estabelecimento de um sistema de referência internacional para altitudes ainda passa pela etapa de experimentos. Guimarães et al. (2022) apresentam a definição do sistema (resoluções, convenções e constantes), bem como aspectos relacionados à sua realização (infraestrutura e formulação matemática). Além disso, os autores apontam as perspectivas para a futura materialização do IHRF no Brasil além de apresentarem alguns experimentos numéricos.

No âmbito oceânico, as cartas náuticas não utilizam o mesmo referencial altimétrico das cartas topográficas, isto porque os dados batimétricos precisam estar relacionados com os efeitos da maré local para permitir uma navegação segura na região (MENEZES; SOUZA; FERREIRA, 2021). O referencial vertical oceânico, o DCN, materializa o zero do eixo vertical das cartas náuticas e esse nível corresponde no Brasil ao plano de referência dado pela Média das Baixas Marés de Sizígia (MLWS - *Mean Low Water Springs*).

A integração e vinculação dos diferentes níveis de referência em zona costeira se coloca como um desafio da Geodésia moderna. No entanto, os *data* verticais terrestres brasileiros encontram-se vinculados ao SIRGAS, na época IGS14, estando o *Datum* de Santana a -23,05 m e o *Datum* de Imbituba a 1,282 m com relação ao elipsoide GRS80 (IBGE, 2021). A ação garante que estes e os demais níveis sejam monitorados ao longo do tempo e que seja possível a análise de modelos e observações globais advindos de missões de satélites altimétricos.

Para IBGE (2021) a vinculação dos níveis por meio da conexão geocêntrica das observações maregráficas baseia-se em rastreo GNSS sobre estações de conexão SAT/RN (estações com informações planialtimétricas e referências de nível) pertencentes ao circuito de nivelamento, como ocorre no CGEM. A recomendação é

de que as estações sejam materializadas por meio de pilares dotados de dispositivo de centragem forçada, a fim de minimizar erros de centragem e altura da antena.

Santana e Dalazoana (2022) estabeleceram a posição geocêntrica dos níveis de referência das estações da RMPG de Imbituba e Fortaleza a partir de RNs primárias sem o conhecimento de altitudes elipsoidais (3012X e 4336A), os autores desenvolveram uma metodologia específica para obtenção dos valores das altitudes elipsoidais utilizando estações geodésicas do CGEM e o MGG XGM2019. Foi utilizado nesse estudo a correlação dos níveis de referência do IBGE e das fichas F-41 do BNDO.

A partir dos estudos de IBGE (2021) e Santana e Dalazoana (2022) é possível observar os desafios para a vinculação dos níveis de referência em zona costeira a um referencial geocêntrico. O conhecimento de coordenadas geodésicas tridimensionais com precisão da estação geodésica conectada aos níveis de referência da estação maregráfica é indispensável para esse processo, além disso, nota-se que a evolução temporal do Nível Médio do Mar Local (NMML) também proporciona resultados discrepantes. Para o DCN a diferença entre os dois estudos foi de 6 mm em Imbituba e 12 mm em Fortaleza, já o NMML dos estudos apresentam diferença de 70 mm em Imbituba e 2 mm em Fortaleza, porém vale ressaltar as épocas de observações distintas (TABELA 1).

TABELA 1 – NÍVEIS DE REFERÊNCIA GEOCÊNTRICOS EM IMBITUBA E FORTALEZA.

Níveis de Referência	IBGE (2021)	Santana e Dalazoana (2022)	Diferença
DCN (DHN) - Imbituba	0,879 m	0,873 m	0,006 m
NMML (RMPG) - Imbituba	1,423 m (2001-2020)	1,353 m (2001-2015)	0,070 m
DCN (DHN) - Fortaleza	-10,334 m	-10,322 m	-0,012 m
NMML (RMPG) - Fortaleza	-8,757 m (2008-2019)	-8,755 m (2008-2015)	0,002 m

FONTE: IBGE (2021) e Santana e Dalazoana (2022).

Em Oreiro, D'Onofrio e Fiore (2015) as estações geodésicas conectadas as estações maregráficas não possuíam coordenadas geodésicas tridimensionais conhecidas, como ocorre em grande parte das estações maregráficas do BNDO no Brasil. Esses autores utilizaram modelos de MSS que são vinculados a um elipsoide de referência para estabelecer um modelo de separação entre o elipsoide de referência e o DCN.

O contraponto a essa metodologia é a precisão alcançada em uma vinculação dessa forma, os autores citam que o erro esperado pode chegar a 30 cm. O que

ocorre nesse caso é que para a realização da vinculação dos níveis de referência a um referencial geocêntrico foi necessário a consideração de que o NMML proveniente de observações locais (h_{NMML}) fosse aproximadamente igual ao Nível Médio do Mar (NMM) contido no modelo de MSS (h_{MSS}) (Equação 1):

$$h_{NMML} \approx h_{MSS} \quad (1)$$

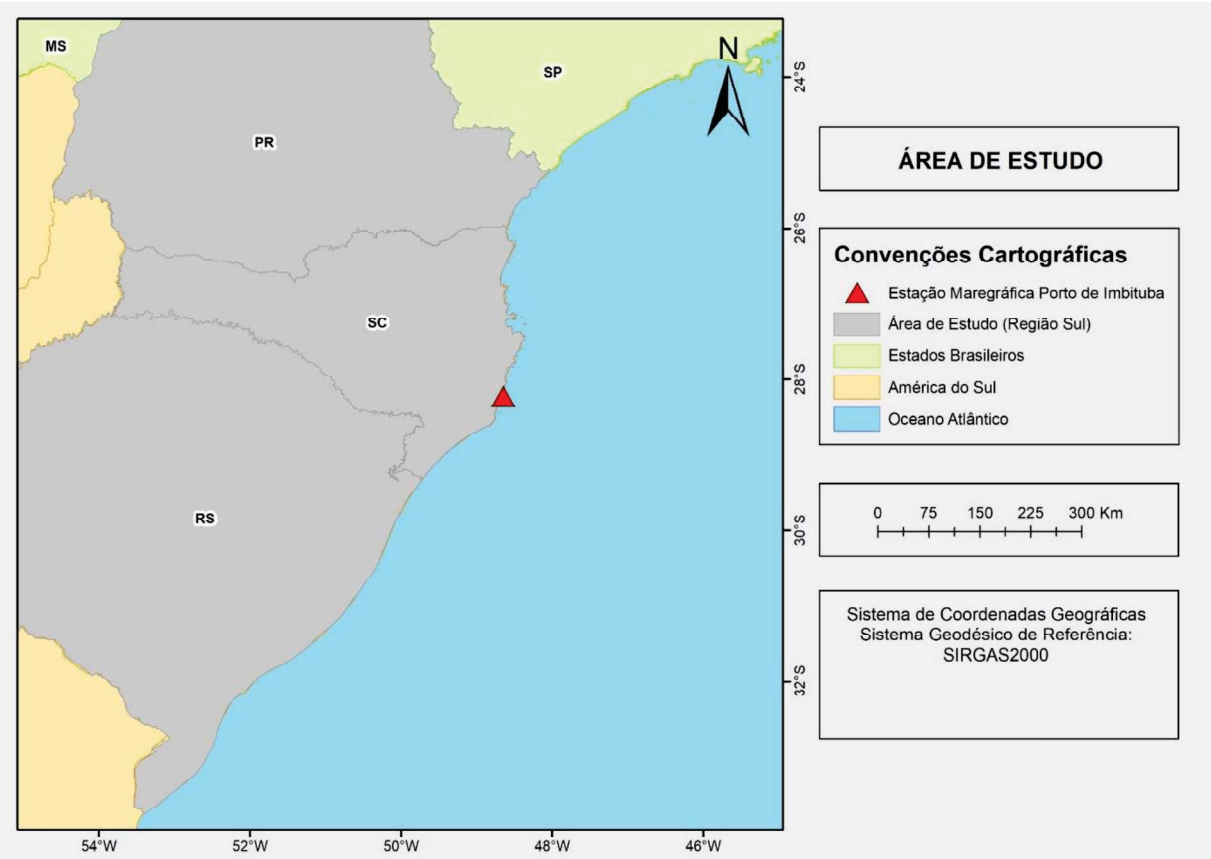
3 MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo, é apresentada a área de estudo no qual foi realizada a pesquisa, os principais materiais são descritos, e por último, os métodos que foram aplicados são expostos e esquematizados.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

Para essa pesquisa foram consideradas estações geodésicas e maregráficas da região sul do Brasil abrangendo os estados de Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul (FIGURA 9). Os estudos nessa região são importantes pois ela abriga um dos *Data* verticais do país (Imbituba-SC).

FIGURA 9 – ÁREA DE ESTUDO.



FONTE: O autor (2024).

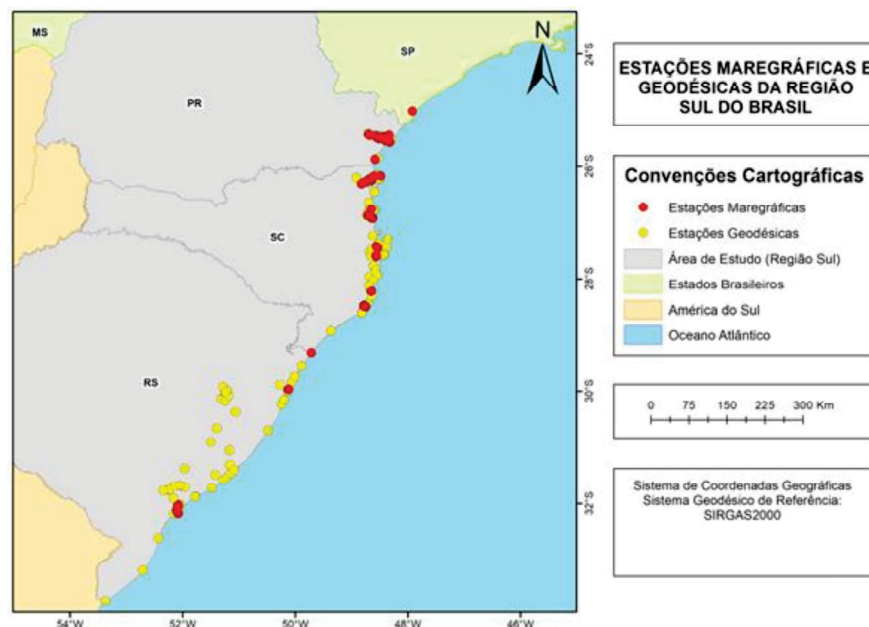
3.2 MATERIAL

Os dados geodésicos e maregráficos que foram utilizados para o desenvolvimento do estudo são do BNDO do CHM e do Banco de Dados Geodésicos (BDG) do IBGE, os MGOs são do CNES/CLS, DTU Space e *Shandong University of Science and Technology*, os modelos geodésicos nacionais do IBGE, o modelo geoidal sul-americano calculado por Guimarães, Matos e Blitzkow (2024) e os MGGs são do Centro Internacional para Modelos Globais Terrestres (ICGEM - *International Centre for Global Earth Models*).

3.2.1 Estações Maregráficas e Geodésicas

A partir da consulta ao BNDO do CHM (CHM, 2023) foi levantado que na região de estudo havia um quantitativo de 37 Estações Maregráficas (ativas e inativas) e 235 Estações Geodésicas (FIGURA 10). A investigação foi conduzida pela análise das fichas F-41 (estações maregráficas) e F-21 (estações geodésicas).

FIGURA 10 – ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS E GEODÉSICAS DO BNDO



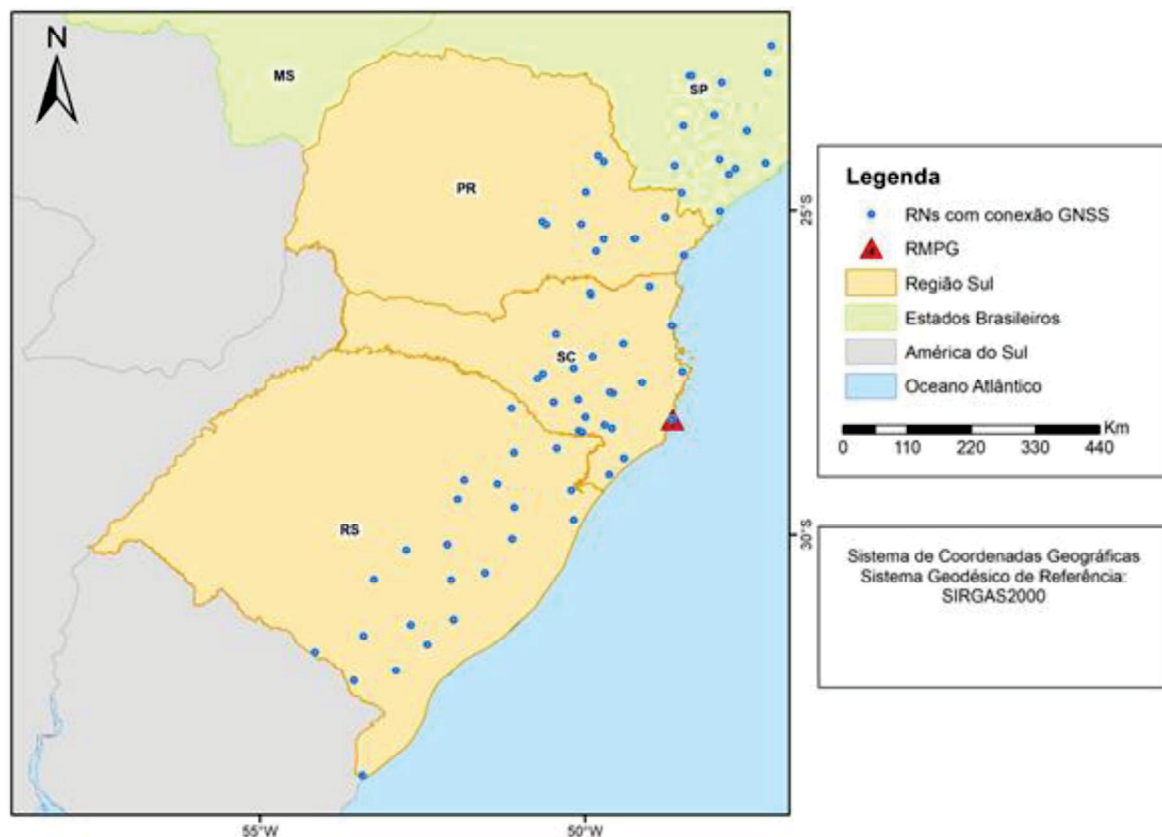
FONTE: O autor (2024).

Além das estações maregráficas e geodésicas do BNDO do CHM, também foram utilizados os dados do BDG do IBGE (FIGURA 11). Na região estudada há uma estação maregráfica da RMPG e de acordo com o BDG do IBGE existem, também,

64 RNs com conexão com dados GNSS próximas à costa conforme apontado em Santana et al. (2022).

Nas fichas F-41 das estações maregráficas da região de estudo são citadas estações do IBGE. Por isso, esse conjunto de estações geodésicas pode contribuir para a vinculação ao referencial geocêntrico.

FIGURA 11 – ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS E GEODÉSICAS DO IBGE.



FONTE: O autor (2024).

3.2.2 Modelos Globais Oceânicos (MGO)

Considerando as potencialidades de modelos de MSS mais recentes, devido a adição de novas missões altimétricas, ajustes nas metodologias de cálculo e os melhores resultados apresentados na avaliação dos modelos, optou-se por trabalhar com os três modelos mais recentes do DTU Space e os dois mais recentes do CNES/CLS, além do modelo da *Shandong University of Science and Technology*. É importante mencionar a diferença na duração da série temporal das observações para

o cálculo dos modelos, quatro deles possuem 20 anos de observações altimétricas, um deles 26 anos e o outro 28 anos (QUADRO 4).

QUADRO 4 – MODELOS GLOBAIS OCEÂNICOS SELECIONADOS PARA A PESQUISA.

Modelos	Período de referência
CNES_CLS 2015	1993-2012
CNES_CLS 2023	1993-2021
DTU15MSS	1993-2012
DTU18MSS	1993-2012
DTU21MSS	1993-2012
SDUST2020	1993-2019

FONTE: AVISO (2023), Yuan et al. (2023), Schaeffer et al. (2023), Andersen et al. (2023), Andersen et al. (2016) e Andersen et al. (2018).

3.2.3 Modelos Globais do Geopotencial (MGG)

Para as análises propostas na pesquisa foi necessário o conhecimento do desnível geoidal entre as estações maregráficas e geodésicas. Os modelos utilizados foram os MGGs XGM2019e, XGM19e_2159, EGM2008 e EIGEN-6C4 com grau máximo de desenvolvimento. Além dos MGGs, os modelos geoidais *South American Model Geoid 2023* (SAM_GEOID2023) (que abrange a América do Sul) e MAPGEO2015 (que abrange o Brasil) e o modelo de conversão de altitudes hgeoHNOR compuseram o conjunto de dados utilizados.

O modelo XGM2019e_2159 apresentou melhor resultado para as regiões costeiras do Brasil (SANTANA et al., 2022). EIGEN-6C4 é um MGG indicado com melhor adequação para a região sul do Brasil, conforme Nicacio, Dalazoana e De Freitas (2018). E o modelo EGM2008 é amplamente utilizado em várias aplicações, como em Santana e Dalazoana (2022). Os modelos geodésicos regionais (MAPGEO2015, hgeoHNOR e SAM_GEOID2023) são modelos disponíveis na região estudada e o seu uso nessa pesquisa permite compreender a potencialidade desses modelos para esse tipo de aplicação.

O MGG EGM2008, a época de seu desenvolvimento e divulgação trouxe muita inovação científica pelo grau e ordem até 2190, antes não visto, configurando um marco histórico (NICACIO; DALAZOANA, 2017). O modelo apresentou melhorias com relação ao seu antecessor, o EGM96, de seis vezes em resolução e de três a seis vezes em acurácia. O modelo combinou dados do modelo ITG-GRACE03S, informações gravitacionais extraídas de um modelo de 5' de resolução espacial de

anomalias de gravidade. Também compõe o conjunto de dados do modelo os dados terrestres, aerotransportados e as observações geodésicas provenientes de satélites altímetros (PAVLIS et al., 2012).

Semelhante ao modelo EGM2008, o modelo EIGEN-6C4 possui grau e ordem de desenvolvimento máximo de 2190. O modelo é o de maior resolução dos vinte e cinco modelos da família “EIGEN” que estão disponíveis no site do ICGEM. EIGEN é sigla para “*European Improved Gravity model of the Earth by New techniques*” ou em tradução livre “Modelo Europeu de Gravidade Terrestre Melhorado por Novas Técnicas”. O modelo é composto por dados SLR, GRACE, GOCE, além de dados terrestres utilizados a partir de uma grade regular de anomalias de gravidade de 2’ de resolução (FÖRSTE et al., 2014 apud NICACIO; DALAZOANA, 2017).

Os modelos XGM2019 possuem dados de satélite preenchidos pelo modelo somente satélite GOCO6S (KVAS et al., 2019), dados oceânicos do DTU13 (DTU, 2023), dados terrestres de altitudes obtidos a partir do modelo NGA16 com 15’ de resolução espacial, dados gravimétricos terrestres e aerotransportados. De maneira geral, o desempenho do modelo diminui em regiões continentais a partir do grau e ordem 719 devido a modelagem em alguns locais ser feita apenas a partir de informações da topografia do terreno pela escassez de dados gravimétricos (GRUBER et al., 2019; ZINGERLE et al., 2020). O XGM2019e, sucessor do XGM2019e_2159 é o primeiro MGG a superar o grau de desenvolvimento 2190, o modelo é desenvolvido até o grau e ordem 5540, desenvolvimento sem precedentes.

O QUADRO 5 apresenta um resumo dos MGGs utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa. No quadro, a coluna grau/ordem descreve o grau e ordem de desenvolvimento escolhido para a aplicação. Além destas informações, as fontes de dados utilizados na geração dos modelos, o ano de publicação do modelo e a principal referência disponível são apresentados no quadro. Quanto às fontes de dados, elas são associadas às letras: S - quando foram calculados com dados de satélites, A - quando foram utilizados dados de altimetria, T - quando foi inserido a topografia e G - para observações de gravidade sobre a superfície terrestre (a partir de levantamentos terrestres ou com equipamentos embarcados em aeronaves ou navios) (ICGEM, 2023).

QUADRO 5 – RESUMO DOS MODELOS GLOBAIS DO GEOPOTENCIAL UTILIZADOS NA PESQUISA.

Modelo	Ano	Grau/Ordem	Fonte de dados	Referências
XGM2019e_2159	2019	2190	A, G, S(GOCO06s), T	Zingerle et al. (2020)
XGM2019e	2019	5540	A, G, S(GOCO06s)	Zingerle et al. (2020)
EGM2008	2008	2190	A, G, S(Grace)	Pavlis et al. (2012)
EIGEN-6C4	2014	2190	A, G, S(Goce), S(Grace), S(Lageos)	Förste et al. (2014)

FONTE: ICGEM (2023).

O modelo geoidal MAPGEO2015 é fruto de uma parceria do IBGE com a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, o modelo é composto por uma grade de pontos com valores de ondulação geoidal espaçados de 5' e possui sua abrangência em torno de latitudes 6°N e 35°S e pelas longitudes 75°W e 30°W. Para sua concepção foram utilizados 947.953 pontos gravimétricos terrestres no Brasil e países vizinhos de fronteira, um modelo digital de elevação baseado no SRTM e o modelo geopotencial global EIGEN-6C4 até grau e ordem 200 (BLITZKOW et al., 2016).

O hgeoHNOR é um modelo para conversão de altitudes proveniente da adaptação de um modelo geoidal gravimétrico em grade, o MAPGEO2015, a partir das diferenças pontuais entre as altitudes geométricas e físicas nas estações em que ambas existem, assimilando, portanto, todas as características inerentes às três componentes do SGB. Ou seja, o modelo fornece a separação entre o elipsoide de referência das altitudes geométricas em SIRGAS2000 e as superfícies de referência da realização da componente vertical do SGB de 2018. Em termos práticos, o hgeoHNOR2020 possibilita que a comunidade usuária de dados geodésicos obtenha uma altitude física – convertida a partir de uma altitude geométrica – com maior consistência em relação às altitudes normais das referências de nível do IBGE (IBGE, 2023).

Por fim, o SAM_GEOID2023 foi calculado com base na solução do PVCG e com o uso da técnica de remoção e restauração dos longos comprimentos de onda do campo de gravidade. Os dados de gravidade terrestre são provenientes do banco de dados de gravidade terrestre da América do Sul da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) que contém 959.930 estações gravimétricas. Na região oceânica, os autores utilizaram o modelo Grav_32.1 baseado em várias missões de satélites altímetros. Para o preenchimento dos locais sem valores de

gravidade o MGG XGM19e foi utilizado em seu grau máximo. O mesmo MGG foi utilizado para calcular o SAM_GEOID2023, representando os componentes de longo e médio de comprimento de onda, usando decomposição e recomposição espectral (até grau e ordem 300). Os dados topográficos do modelo SRTMv3 foram selecionados para calcular o efeito da topografia residual (GUIMARÃES, MATOS E BLITZKOW, 2024).

3.3 MÉTODOS

Nesta seção são destacados os principais aspectos metodológicos que foram norteadores para o alcance dos objetivos desta pesquisa (citados na seção 1.4). O decorrer do texto perpassa pelas estratégias de cálculo, procedimento para as análises e a manipulação dos modelos, estações geodésicas e maregráficas. O esquema da FIGURA 12 apresenta as etapas da metodologia.

FIGURA 12 – ESTRATÉGIA DE AÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA.



FONTE: O autor (2024).

3.3.1 Inventário de dados geodésicos e maregráficos do BNDO

Atualmente os dados geodésicos e maregráficos do BNDO podem ser acessados na Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), Infraestrutura de

Dados Espaciais Marinhos e diretamente nas fichas F-21 e F-41 em CHM (2023). Nas duas infraestruturas de dados citadas as informações das estações não estão completas, por isso, nesse estudo as estações foram organizadas em planilhas eletrônicas para posterior exportação para um Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Para as estações maregráficas foram extraídas as seguintes informações das fichas F-41: estado, latitude, longitude, número da estação, nome da estação, RNs conectadas aos níveis de referência, ano de definição, início da coleta dos dados, fim da coleta dos dados, quantidade de dias de observação, tipo de Marégrafo e os valores métricos entre os níveis de referência da estação maregráfica.

Já para as estações geodésicas foram extraídas as seguintes informações das fichas F-21: estado, nome da estação, carta, código, data de definição, data da última inspeção, latitude, longitude, altitude elipsoidal, precisão da latitude, precisão da longitude, precisão da altitude, método de levantamento e SGR. Com relação ao método de levantamento, a ficha diz apenas “Rastreio por satélite”, não podendo ser possível caracterizar se a forma de obtenção das coordenadas é por linha de base com uma única estação da RBMC como estação de referência, ou se as coordenadas foram obtidas a partir do ajustamento de diferentes linhas de base.

Durante esse processo, buscou-se analisar possíveis inconsistências nos dados coletados das estações maregráficas bem como das estações geodésicas, a constatação levou a necessidade de atualização e revisão desses dados geodésicos e maregráficos junto aos responsáveis pelo BNDO.

De posse dos dados organizados das estações, todos eles foram espacializados no *software* de código aberto QGIS em sua versão 3.28.15 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2023) por meio da adição de camada de texto delimitado. Os dados consolidados foram disponibilizados em um banco de dados geográfico online para acesso da comunidade usuária de dados oceanográficos e geodésicos, essa ação foi realizada com o uso do *QGIS Cloud Plugin*.

Além disso, o estudo da precisão e da natureza das coordenadas geodésicas foi realizado porque a vinculação dos níveis de referência ao referencial geocêntrico requer o conhecimento das coordenadas geodésicas tridimensionais das estações geodésicas vinculadas as estações maregráficas, com isso, se faz importante saber qual a precisão das coordenadas das estações geodésicas que fazem parte da pesquisa.

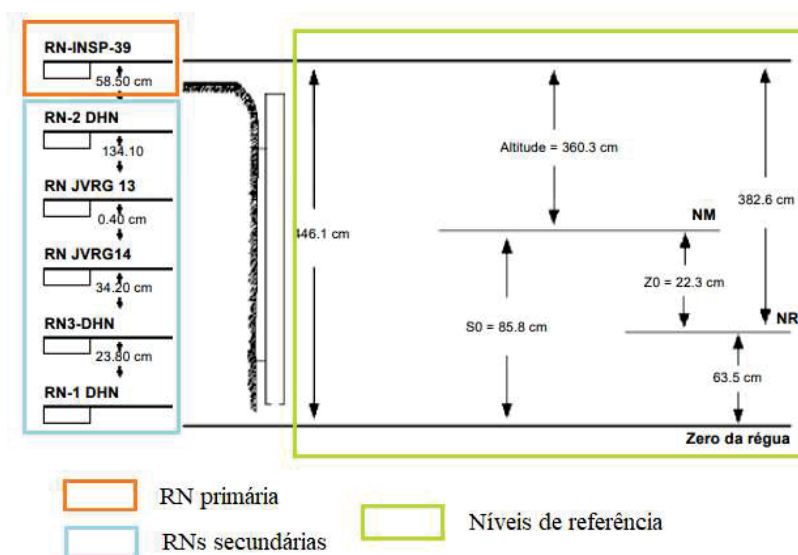
Esse estudo permite compreender com qual confiabilidade o vínculo da estação maregráfica ao referencial geocêntrico ocorrerá. Adicione-se a necessidade de compreender a natureza das coordenadas geodésicas, ou seja, quais métodos foram empregados no levantamento geodésico (rastreo por satélite ou métodos clássicos).

3.3.2 Investigação dos vínculos entre as estações maregráficas e geodésicas

Atualmente as fichas F-41 das estações maregráficas apresentam as RNs (primária e secundárias) nas quais seus níveis de referência estão vinculados (FIGURA 13). Em alguns casos apenas a primária é vinculada a uma RN do IBGE, as demais são empregadas para estabelecer os desníveis entre elas e a primária. Em geral as secundárias são RNs com desníveis conhecidos a partir da RN primária, por meio de nivelamento geométrico.

Nessa etapa da pesquisa, foi realizada a investigação de quais dessas RNs (estação geodésica) estão contidas no quantitativo de estações geodésicas do BNDO. Nas fichas F-41, os nomes das RNs se repetem, e não há uma codificação específica com identificadores únicos, o que dificulta o trabalho de investigação.

FIGURA 13 – DIAGRAMA DA FICHA F-41 DA ESTAÇÃO MAREGRÁFICA PRATICAGEM R. GRANDE (60380)



FONTE: O autor (2024).

Uma estratégia que foi adotada foi a busca por meio de análise espacial de ambos os dados (geodésicos e maregráficos), assim foi possível verificar quais estações geodésicas estavam próximas das estações maregráficas, e somente assim investigar se aquela estação geodésica era uma das RNs constantes nas fichas F-41.

Nessa etapa, uma ferramenta auxiliar foi o *plugin* QuickMapServices instalado no QGIS 3.28.15 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2023). Esse *plugin* permite o uso de base dados de imagens do Google, Open Street Map, NASA, entre outros. Estas imagens permitiram a comparação da posição das estações geodésicas (que constavam nas fichas F-21) com os croquis contidos nas fichas F-41 e a verificação se aquela estação geodésica era alguma das RNs vinculadas aos níveis de referência da estação maregráfica.

3.3.3 Compatibilização dos dados geodésicos

A compatibilização dos dados geodésicos é uma etapa essencial nos estudos e vinculação de referenciais geodésicos. No caso dos elipsoides de referência a transformação do referencial foi efetuada para que todos os dados estejam referidos ao elipsoide GRS80, mesmo elipsoide do SIRGAS2000. Isso porque os modelos de MSS estavam referidos ao elipsoide T/P e as coordenadas de estações geodésicas ao GRS80.

Para que se tenha a dimensão das discrepâncias existentes entre os elipsoides de referência, na TABELA 2, os parâmetros elipsoidais semieixo maior (a), semieixo menor (b), o achatamento (1/f) e a excentricidade (e) são apresentados para os elipsoides T/P e GRS80.

TABELA 2 – PARÂMETROS ELIPSOIDAIS

Elipsoide	T/P	GRS80
a (m)	6378136,3	6378137,0
b (m)	6356751,600563	6356752,314245
1/f	298,257000000	298,257222101
e	0,081819221456	0,0818191910435

FONTE: IERS (2010), RIO (2009) e RENGANATHAN (2010).

A conversão dos dados geodésicos com relação ao elipsoide T/P para o elipsoide GRS80 foi realizada seguindo o mesmo procedimento realizado por Carrión

(2017), a conversão foi feita em função das latitudes advindas da posição das estações geodésicas e maregráficas que compreendem o estudo, utilizando a fórmula descrita em Renganathan (2010):

$$\delta_h = h_1 - h_2 = -((a_2 - a_1) * (\cos \Psi)^2 + (b_2 - b_1) * (\sin \Psi)^2) \quad (2)$$

Na equação (2), δ_h corresponde à diferença das altitudes h_1 e h_2 referidas aos dois elipsoides, a_1 e a_2 são os semieixos maiores, b_1 e b_2 são os semieixos menores e Ψ a latitude geocêntrica do ponto de interesse para o qual se deseja realizar a conversão. Em amplitude, depois da compatibilização dos elipsoides os valores apresentaram uma diferença de aproximadamente 70 cm.

Conforme indicado em EKMAN (1989) as transformações entre conceitos de marés permanentes para altitudes elipsoidais também são necessárias para a realização de pesquisas dessa natureza. Foi adotado o conceito de maré médio e as conversões das altitudes (H) a partir do conceito livre de maré foram executadas pela equação (3). Na equação, k e h correspondem aos convencionados números de Love² e Ψ é a latitude geocêntrica (TENZER et al., 2010):

$$H_{mean-tide} = H_{tide-free} - (1 + k - h) \left[-0,198 \left(\frac{3}{2} \sin^2 \Psi - \frac{1}{2} \right) \right] \quad (3)$$

3.3.4 Avaliação de MGO com relação aos níveis de referência da RMPG

Somente é possível a avaliação ou o estudo da adequação de um modelo de MSS em uma região, se houver observações locais de nível do mar vinculadas a um referencial geocêntrico. Visto que os modelos de MSS apresentam o nível do mar com relação aos elipsoides WGS84 e/ou T/P.

Com isso, para esta etapa da pesquisa, foram utilizadas sete estações maregráficas da RMPG (Imbituba, Arraial do Cabo, Macaé, Salvador, Fortaleza, Belém e Santana) para a avaliação dos modelos de MSS selecionados. A comparação entre os níveis locais e globais ocorrerá após a compatibilização do referencial e do conceito de maré permanente, conforme Santana e Dalazoana (2022) e IBGE (2021).

² $k = 0,30$ e $h = 0,62$

Os modelos DTU foram baixados no seguinte endereço: <ftp.space.dtu.dk/pub/DTUXX>. O “XX” foi alterado para 15, 18 ou 21 que são os números dos modelos utilizados na pesquisa. O site disponibiliza os modelos em várias extensões com resolução de 1’ ou 2’. Para a pesquisa utilizou-se o modelo com resolução espacial de 1’. Os modelos CNES/CLS foram baixados em My Aviso + <ftp://ftp-access.aviso.altimetry.fr/> para o acesso é necessário a realização de um cadastro na plataforma. Por fim, o modelo da *Shandong University of Science and Technology* foi adquirido em <https://doi.org/10.5281/zenodo.6555990>. Todos os modelos utilizados na pesquisa possuem resolução de 1’, são gratuitos e foram baixados no formato NetCDF (.nc).

Os dados dos modelos de MSS foram espacializados no QGIS 3.28.15 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2023). Juntamente com os modelos, arquivos vetoriais contendo a posição das estações maregráficas da RMPG foram inseridos no QGIS. Para a extração dos valores de NMM dos modelos na exata posição que as estações maregráficas estão posicionadas foi utilizada a “Calculadora de Campo” do QGIS e a função *Raster Value* com o seguinte argumento: `raster_value('Nome do Modelo de MSS', Banda, $geometry)`. O procedimento foi realizado para todos os modelos.

3.3.5 Proposição da vinculação dos níveis de referência do BNDO a um referencial geocêntrico

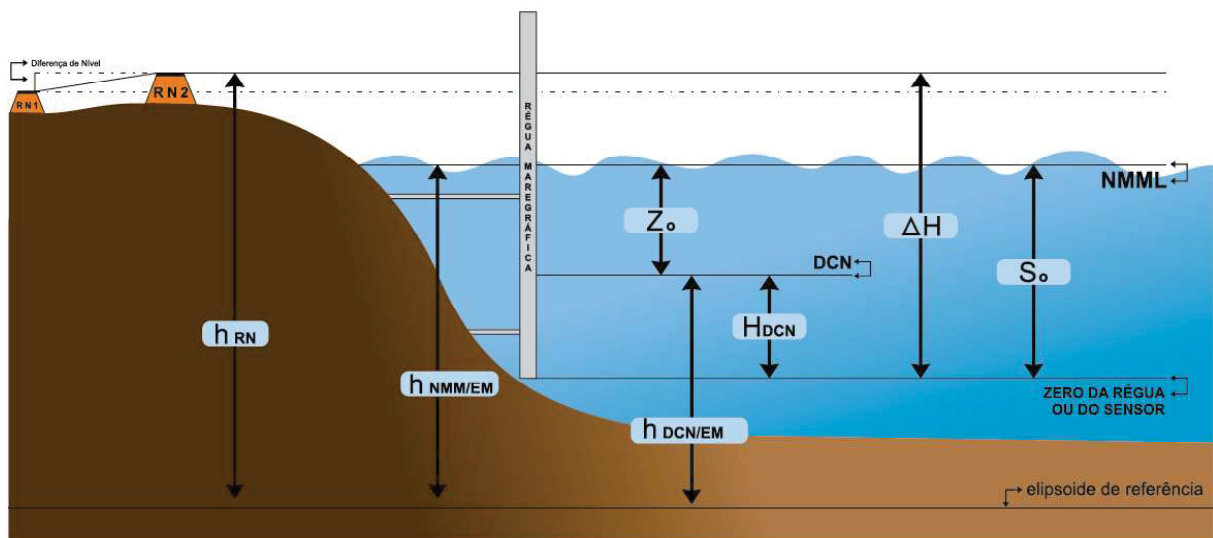
Para a obtenção da posição geocêntrica é necessário que os níveis de referência das estações maregráficas estejam conectados a pelo menos uma estação geodésica que contenha a sua posição geocêntrica conhecida. Isso porque em Woodworth et al. (2012) e Filmer et al. (2018) os dados necessários para o cálculo da altitude elipsoidal do NMML da estação maregráficas ($h_{NMM/EM}$) são: a altitude elipsoidal da RN (h_{RN}), os desníveis geoidal (ΔN) e altimétrico (ΔH) existentes entre a estação maregráfica e a RN, a distância vertical entre a estação maregráfica e a Referência Local Revisada (RLR - *Revised Local Reference*) (H_{RLR}) e a altitude do NMML com relação ao RLR de uma época específica (MSL_{RLR}). Dessa forma, a altitude elipsoidal do NMML na estação maregráfica ($h_{NMM/EM}$) pode ser obtida pela Equação (4):

$$h_{NMM/EM} = (h_{RN} - (\Delta H + \Delta N)) - H_{RLR} + MSL_{RLR} \quad (4)$$

O RLR é um nível de referência definido pelo Serviço Permanente do Nível Médio do Mar (PMSL - *Permanent Service for Mean Sea Level*) para cada estação maregráfica, relativamente ao qual o nível médio do mar está aproximadamente 7 m acima. As medições no local, durante diferentes períodos e com diferentes referências maregráficas estão todas relacionadas com este dado definido (AMS, 2024).

Como os dados utilizados nessa pesquisa são provenientes do BNDO, o RLR não é utilizado como referência, e sim o zero da régua ou do sensor. Há também a característica que os níveis de referência se encontram conectados a(s) RN(s) próximas (primária e secundárias) da estação maregráfica (FIGURA 14). A conexão é por meio de nivelamento geométrico que segue a orientação da DHN com realização de nivelamento e contranivelamento (duplo) com tolerância de fechamento entre os desníveis do nivelamento e contranivelamento de 8 mm para nivelamento de até 1 km e de $8 \text{ mm} \sqrt{k}$ para distâncias maiores do que 1 km, com k igual a distância nivelada em km obtida em um único sentido (nivelamento ou contranivelamento) (DHN, 2023).

FIGURA 14 – RELAÇÃO DOS NÍVEIS DE REFERÊNCIA CONTIDOS NAS FICHAS DAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DO BNDO.



FONTE: O autor (2024).

Devido as características dos dados do BNDO foram realizadas adaptações na Equação (4) para o cálculo da altitude elipsoidal do NMML ($h_{NMM/EM}$), e por

consequente, da altitude elipsoidal do DCN ($h_{DCN/EM}$). O desnível altimétrico (ΔH) é dado pela separação entre a RN primária e o zero da régua ou do sensor, a altura do DCN (H_{DCN}) é proveniente da separação do DCN até o zero da régua ou do sensor, o S_0 é a separação entre o NMML e o zero da régua ou do sensor e o Z_0 a separação entre o NMML e o DCN. Dessa forma as Equações (5), (6) e (7) possibilitam o cálculo das altitudes elipsoidais.

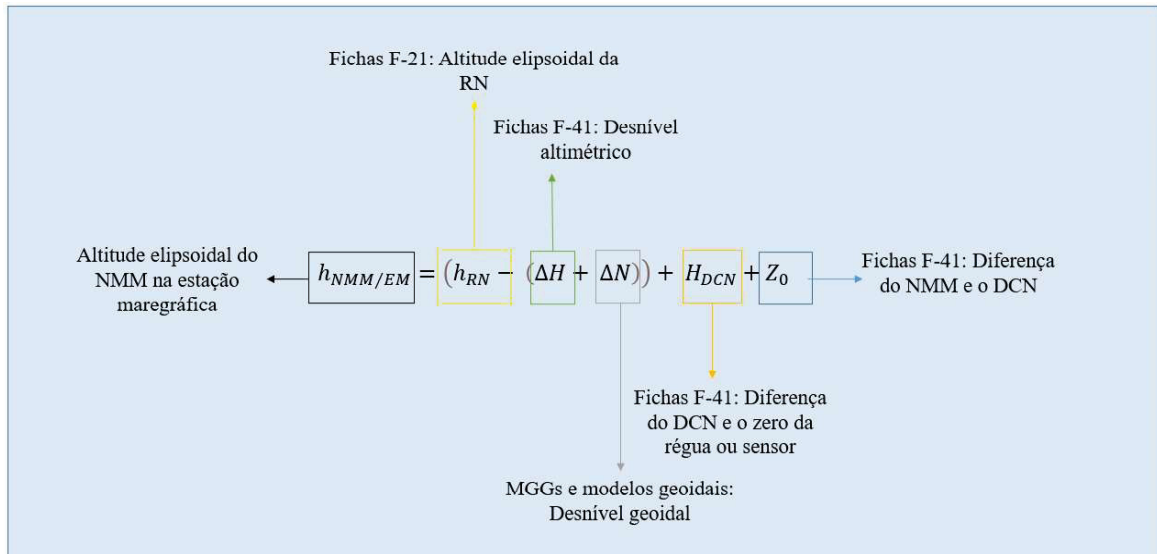
$$h_{NMM/EM} = (h_{RN} - (\Delta H + \Delta N)) + S_0 \quad (5)$$

$$h_{NMM/EM} = (h_{RN} - (\Delta H + \Delta N)) + Z_0 + H_{DCN} \quad (6)$$

$$h_{DCN/EM} = (h_{RN} - (\Delta H + \Delta N)) + H_{DCN} \quad (7)$$

A partir das estações maregráficas selecionadas na etapa descrita na subseção 3.3.2 a vinculação dos níveis de referência será realizada a partir das Equações (5), (6) e (7). Para tanto ΔH , H_{DCN} , S_0 e Z_0 foram extraídos das fichas F-41 das estações maregráficas, ΔN proveniente dos modelos geoidais escolhidos e h_{RN} obtida na ficha F-21 (FIGURA 15). Assim foi possível conhecer as altitudes dos NMMLs e dos DCNs com relação ao referencial geocêntrico e os demais níveis de referência foram calculados a partir das informações apresentadas nas fichas F-41.

FIGURA 15 – SÍNTESE DAS VARIÁVEIS ENVOLVIDAS E A FONTE PARA OBTENÇÃO DOS VALORES³.



FONTE: O autor (2024).

³ O desnível geoidal é a diferença entre as altitudes geoidais da estação maregráfica e a estação geodésica, por outro lado, o desnível altimétrico é a diferença de nível entre a estação maregráfica e a estação geodésica obtida por nivelamento geométrico.

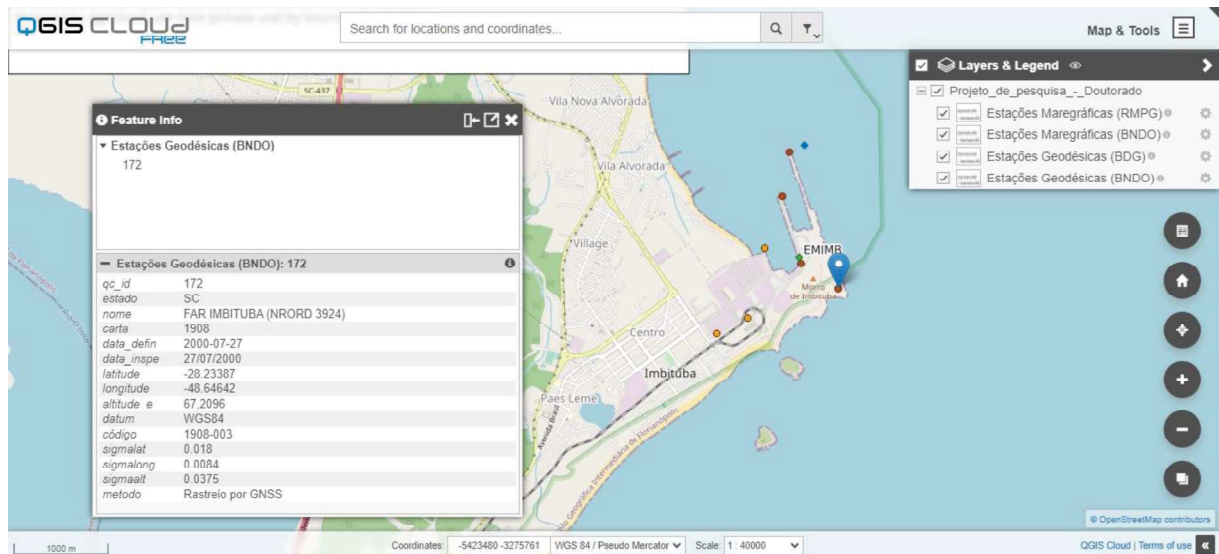
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 INVENTÁRIO DOS DADOS DA REGIÃO SUL

Com a proposta de se analisar os dados geodésicos e maregráficos do BNDO para a região sul do país, foi realizado o inventário dos dados. Durante a execução do inventário foram encontradas algumas inconsistências nos dados coletados nas estações maregráficas (fichas F-41) e geodésicas (fichas F-21). Foi observado que a localização de uma estação estava incorreta, havia erros de digitação de informações e algumas estações estavam contidas em apenas um dos locais de acesso ao BNDO. Após identificadas as inconsistências nos dados, foi escrito um relatório (Apêndice A) sobre essas informações e enviado à DHN da Marinha do Brasil, que, prontamente respondeu, realizou as correções e se dispôs a ajudar com a pesquisa e questões que pudessem surgir.

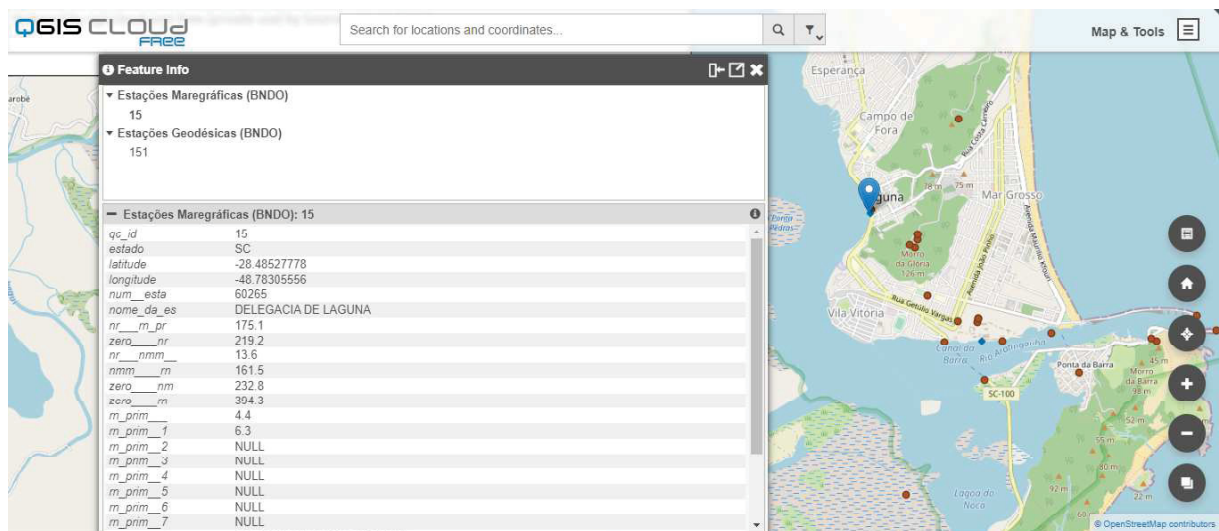
Com o uso do QGIS 3.28.15 os dados foram organizados e espacializados no ambiente SIG. Dessa forma, com a perspectiva de divulgação de todos os atributos subtraídos das fichas F-21 e F-41 foi criado um banco de dados on-line utilizando a ferramenta *QGIS Cloud Plugin*. Os dados das estações maregráficas e geodésicas utilizadas na pesquisa podem ser acessados em: https://qgiscloud.com/tulioalvessantana/Projeto_de_pesquisa_-_Doutorado/. As FIGURAS 16 e 17 apresentam as visualizações das estações geodésicas e maregráficas, respectivamente, com os seus respectivos atributos. As descrições de cada variável indicada no banco de dados foram inseridas no APÊNDICE B.

FIGURA 16 – VISUALIZAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO GEODÉSICA E SEUS ATRIBUTOS.



FONTE: O autor (2024).

FIGURA 17 – VISUALIZAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO MAREGRÁFICA E SEUS ATRIBUTOS.



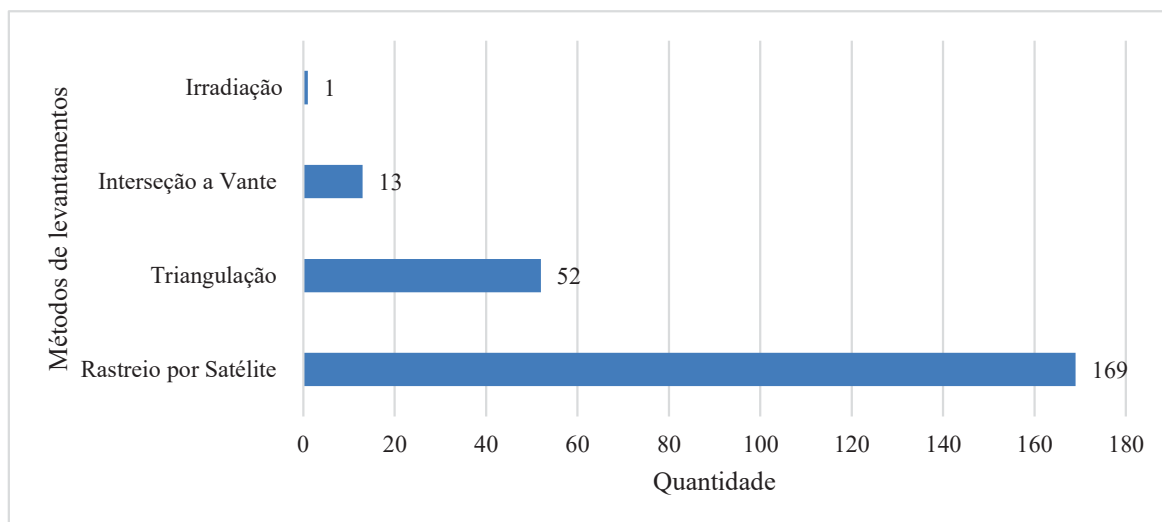
FONTE: O autor (2024).

4.2 ANÁLISE DOS DADOS ORGANIZADOS

Com relação as estações geodésicas foram identificadas 235 no BNDO, sendo que a maioria com o método de levantamento das coordenadas/posição denominado de rastreo por satélite (cerca de 168), porém, há a presença de métodos de levantamento clássicos como triangulação, interseção a vante e irradiação. O fato de mais de 70% das estações geodésicas terem sido rastreadas com um método

moderno denota algo positivo considerando a expectativa de uma melhor precisão para as coordenadas.

GRÁFICO 1 – MÉTODOS DE LEVANTAMENTOS DAS ESTAÇÕES GEODÉSICAS (BNDO).

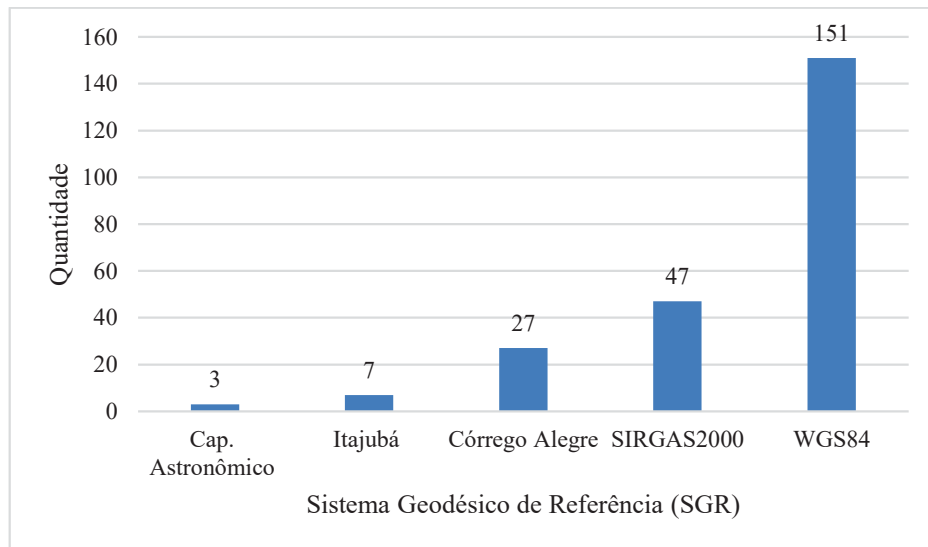


FONTE: O autor (2024).

Também foram analisados os SGR das estações, do total 198 estações estão nos sistemas SIRGAS2000 ou WGS84 conforme preconizado na NORMAM-501-DHN (DHN, 2023). As demais estações apresentam como SGR o Córrego Alegre, Itajubá e Cap. Astronômico. O que não condiz com a atual realidade do SGB. Vale salientar que Itajubá e Cap. Astronômico não foram SGRs oficiais do país e que a manutenção dessas estações possivelmente requer a execução de novos levantamentos para a determinação de coordenadas (caso as estações ainda existam).

Para as 27 estações geodésicas que estão com as coordenadas em Córrego Alegre a alternativa para a Marinha do Brasil, através da DHN é a conversão para SIRGAS2000 a partir do ProGrid que é serviço online de conversão disponibilizado pelo IBGE que realiza a transformação de coordenadas entre sistemas de referência oficiais do país.

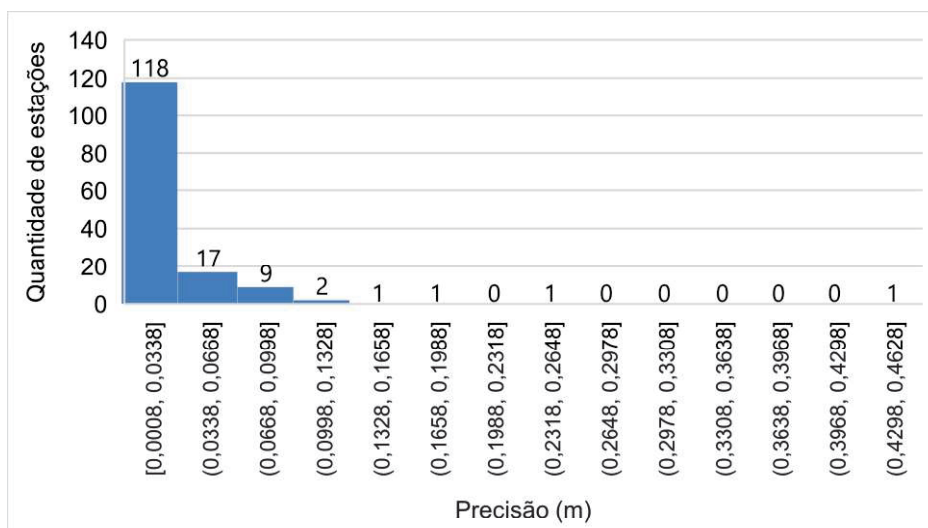
GRÁFICO 2 – SISTEMA GEODÉSICO DE REFERÊNCIA DAS ESTAÇÕES GEODÉSICAS (BNDO).



FONTE: O autor (2024).

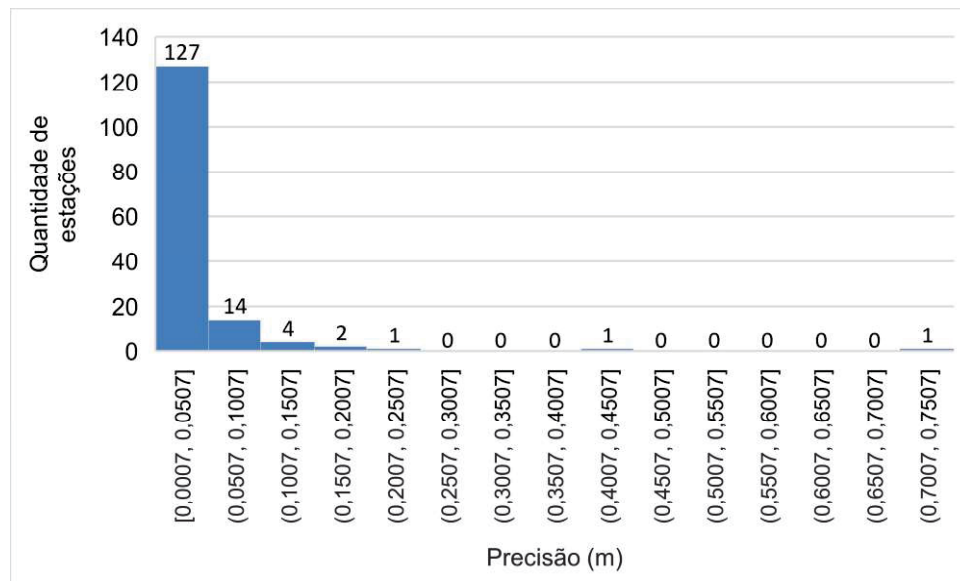
Além dos métodos de levantamento e SGR das estações geodésicas, as precisões de cada componente foi investigada. Com relação as latitudes e longitudes, 85 estações geodésicas (36%) não apresentam valor de precisão, as demais precisões foram organizadas no GRÁFICO 3 e 4. Por outro lado, 103 estações geodésicas (44%) não possuem as altitudes elipsoidais conhecidas, para as demais estações as precisões estão no GRÁFICO 5. Para os GRÁFICOS 3 a 5 no eixo das abscissas são apresentados os intervalos das precisões alcançadas para o conjunto de dados.

GRÁFICO 3 – PRECISÃO DAS LATITUDES.



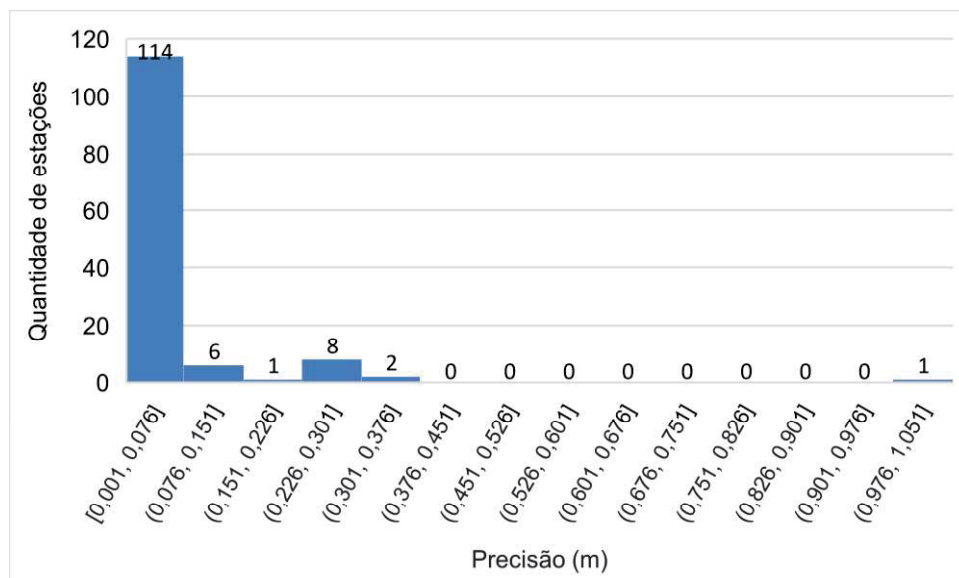
FONTE: O autor (2024).

GRÁFICO 4 – PRECISÃO DAS LONGITUDES.



FONTE: O autor (2024).

GRÁFICO 5 – PRECISÃO DAS ALTITUDES ELIPSOIDAIS.

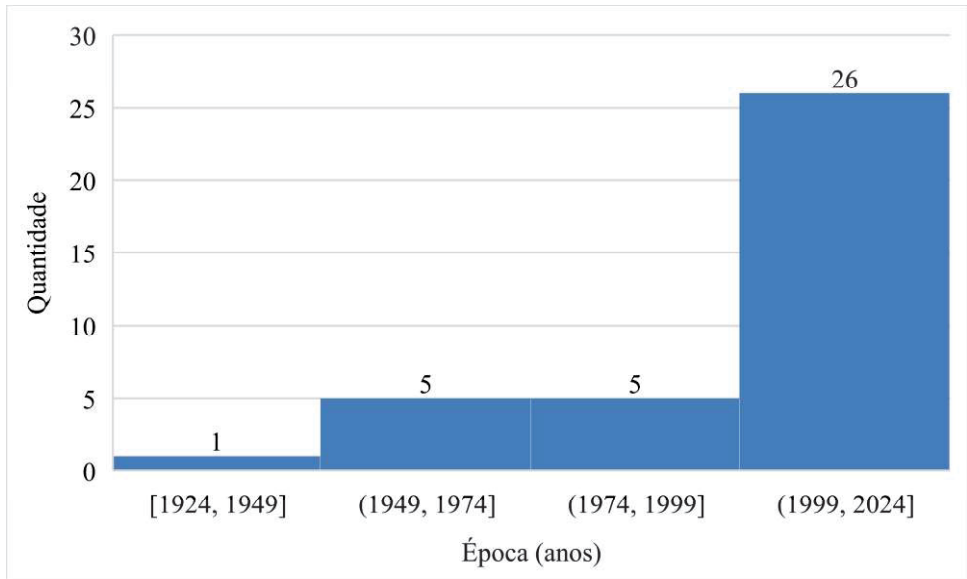


FONTE: O autor (2024).

No que diz respeito a análise das estações maregráficas, foram identificadas 37 no total. A amplitude da época/ano de implantação das estações vai desde a mais antiga em 1924, até a mais recente com sua definição em 2022 (GRÁFICO 6). A quantidade de dias em que o nível do mar foi observado em cada estação varia de 29 dias até 608 dias, onde calculando uma média das 37 estações, chega-se a um número de aproximadamente 139 dias de observação (GRÁFICO 7). Do quantitativo

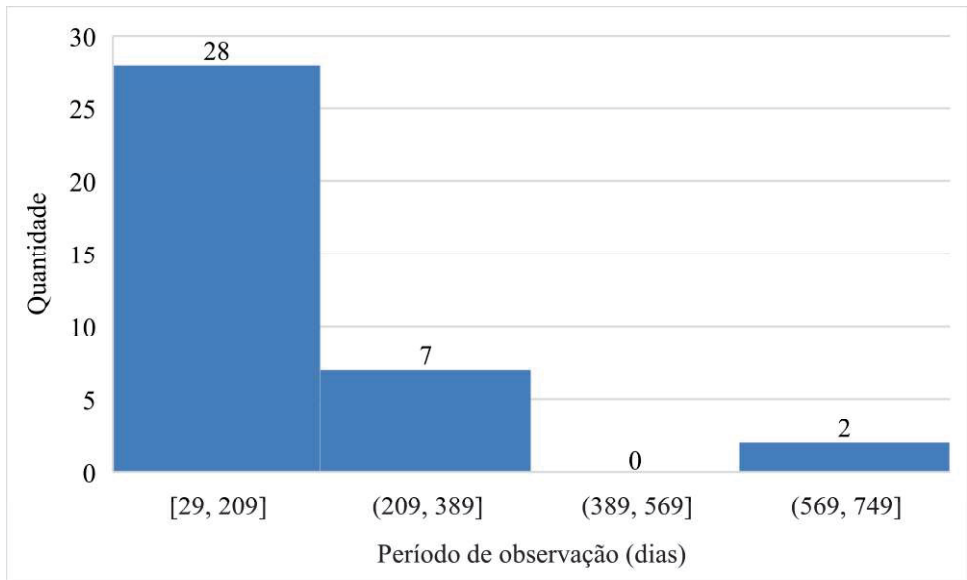
de estações maregráficas somente aquelas estações que possuírem pelo menos uma RN com altitude elipsoidal conhecida fizeram parte das próximas etapas da pesquisa (vide seção 4.3).

GRÁFICO 6 – ÉPOCAS DE IMPLANTAÇÃO DAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS.



FONTE: O autor (2024).

GRÁFICO 7 – PERÍODOS DE OBSERVAÇÕES MAREGRÁFICAS DAS ESTAÇÕES.



FONTE: O autor (2024).

4.3 INVESTIGAÇÃO DOS VÍNCULOS ENTRE AS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS E GEODÉSICAS

Tendo os dados das estações maregráficas e geodésicas organizados e especializados no QGIS 3.28.15 a investigação dos vínculos destas estações foi conduzida no mesmo programa. Apesar dos desafios da identificação devido as nomenclaturas utilizadas para as RNs, com a análise espacial foi possível encontrar seis estações maregráficas com vínculos com as estações geodésicas. Se faz necessário destacar que para ser elegível para a pesquisa a estação geodésica precisaria ter sua altitude elipsoidal conhecida. As estações geodésicas investigadas são do BNDO e do BDG, conforme seção 3.2.1.

A TABELA 3 apresenta os códigos, nomes, latitudes, longitudes (em SIRGAS2000) e os códigos das estações vinculadas. Nota-se que a estação maregráfica 60250 possui vínculo com as RNs 3103V e 3125D que fazem parte do BDG, as demais possuem conexão com estações geodésicas do BNDO. Além disso, para as estações maregráficas 60225, 60246 e 60250 foram encontradas duas estações geodésicas e nas demais apenas uma.

TABELA 3 – ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS

Código	Nome	Latitude	Longitude	Período de observação	Estação(ões) vinculada(s)
60380	Praticagem R. Grande	32° 08' 19" S	52° 06' 13" W	27/04/2013 a 31/03/2014 (338 dias)	2101-010
60265	Delegacia de Laguna	28° 29' 7" S	48° 46' 59" W	18/09/2008 a 30/11/2008 (74 dias)	1901-005
60250	Porto de Imbituba	28° 29' 50" S	48° 39' 0" W	01/01/2021 a 30/06/2021 (180 dias)	3125D e 3103V(UFPR2)
60246	Capitania dos Portos de Santa Catarina	27° 35' 35" S	48° 34' 11" W	04/10/2007 a 31/01/2008 (120 dias)	1905-007 e 1905-002
60224	Penha	26° 46' 0" S	48° 39' 6" W	20/08/1974 a 20/09/1974 (32 dias)	1809-006
60225	Clube Náutico Cruzeiro do Sul	26° 14' 40" S	48° 38' 30" W	01/12/2009 a 01/12/2010 (366 dias)	1804-019 e 1804-013

FONTE: O autor (2024).

Ao todo, foram encontradas nove estações geodésicas que possuíam vínculo com as estações maregráficas citadas na TABELA 3. Sete delas possuem altitudes elipsoidais conhecidas e as precisões dessas altitudes variam de 0,0519 m (2101-010) a 0,004 m (1804-013). As informações contidas na TABELA 4 foram extraídas das fichas F-21 do BNDO. Ao observar os nomes das estações geodésicas “RN-2” aparece quatro vezes, e este é o motivo da dificuldade de identificação da correlação com as fichas F-41. O ideal seria o uso de um código único.

TABELA 4 – ESTAÇÕES GEODÉSICAS.

Código	Nome	Latitude σ_{lat}	Longitude σ_{long}	Altitude elipsoidal σ_{alt}	Altitude Normal σ_{alt}
2101-010	RN-2 (Cais Prat. Rio Grande)	32°08'13,9597"S ±0,0287 m	52°06'16,0355"W ±0,0228 m	11,8609 m ±0,0519 m	-
1901-005	RN-2 Delegacia de Laguna	28°29'05,8955"S ±0,001 m	48°46'58,6309"W ±0,001 m	3,1 m ±0,01 m	-
3125D	3125D	28° 13' 48,92" S -	48°39'02,70" W -	- -	2,1806 m ±0,017 m
3103V	UFPR2	28° 13' 54,01" S -	48°39'02,10"W -	- -	1,8637 m ±0,017 m
1905-007	RN-2 da CPSC	27°35'45,1524"S ±0,002 m	48°34'03,9702"W ±0,002 m	2,6184 m ±0,005 m	-
1905-002	MT Cais da CPSC	27°35'45,6723"S ±0,003 m	48°34'02,7320"W ±0,003 m	2,531 m ±0,026 m	-
1809-006	RN-2 (Penha)	26°46'11,5911"S ±0,004 m	48°39'08,1355"W ±0,005 m	2,769 m ±0,013 m	-
1804-019	RN-4 - Clube Náutico Cruzeiro do Sul (RN2)	26°14'38,4816"S ±0,013 m	48°38'26,2318"W ±0,013 m	1,801 m ±0,021 m	-
1804-013	RN-3 PIER DelSFSul (RN5)	c	48°38'27,1403"W ±0,005 m	2,212 m ±0,004 m	-

FONTE: O autor (2024).

A existência dos vínculos entre as estações maregráficas e geodésicas possibilita a continuidade e a execução da estratégia de ação do estudo. Sendo assim, as estações maregráficas 60380, 60265, 60246, 60224 e 60225 serão utilizadas na seção 4.5 para a vinculação ao referencial geodésico global. Já a estação maregráfica 60250 não fará parte desse quantitativo, pois seus vínculos são com duas estações geodésicas que possuem apenas altitudes normais conhecidas, não há altitudes elipsoidais disponíveis.

Para solucionar o não conhecimento da altitude elipsoidal, Santana e Dalazoana (2022) adotaram uma estratégia para estabelecer a vinculação da estação maregráfica 60250. Isso a partir da estimativa da altitude elipsoidal da RN (3012X)

conectada a estação maregráfica, esta RN faz parte da rede de estações do CGEM. Foram utilizados os desníveis brutos e ajustados do CGEM e MGGs. Conforme apresentado na TABELA 1 (seção 2.4) as altitudes elipsoidais do NMML e do DCN da estação maregráfica 60250 é de 1,353 m e 0,873 m, respectivamente.

4.4 AVALIAÇÃO DE MGO COM RELAÇÃO AOS NÍVEIS DE REFERÊNCIA DA RMPG

A avaliação dos MGOs de MSS foi realizada a partir das análises dos valores da altitude elipsoidal do NMML da RMPG obtidos em IBGE (2021). A compatibilização do referencial e do conceito de maré permanente foi realizada conforme Santana e Dalazoana (2022) e IBGE (2021) tendo sido adotado como referência o conceito de maré médio e o elipsoide GRS80. Sendo assim, todas as altitudes elipsoidais do NMML utilizadas na comparação estão no mesmo conceito de maré e elipsoide de revolução.

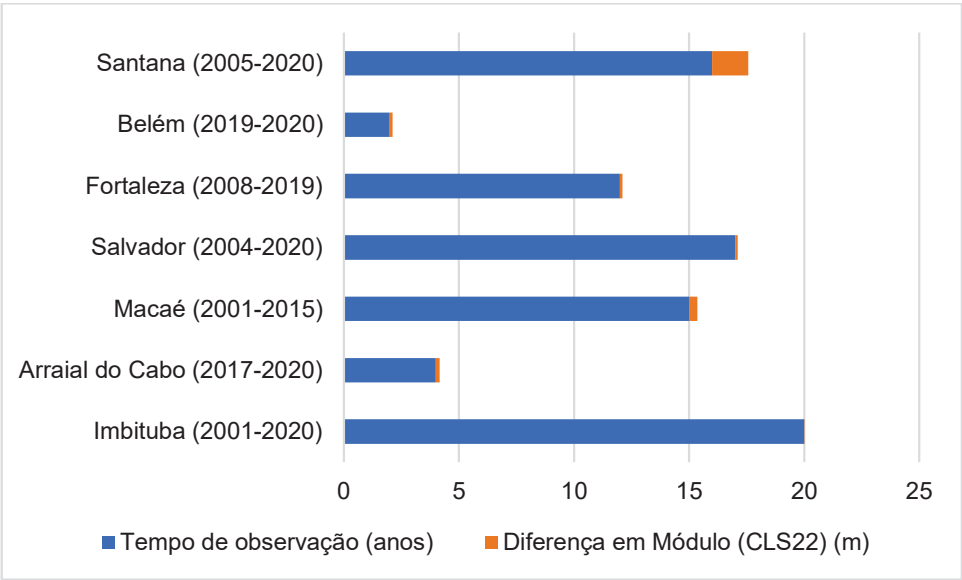
A TABELA 5 apresenta os valores de NMML com as observações locais da RMPG e o NMM proveniente do modelo CLS22 para cada estação maregráfica. A menor diferença encontrada é na estação maregráfica de Imbituba (0,006 m) e a maior na estação maregráfica de Santana (1,574 m). No GRÁFICO 8 ao analisar o tempo de observação maregráfica e a diferença em módulo encontrada, nota-se que a estação de Imbituba apresenta a menor diferença (0,006 m) e o maior tempo de observação (19 anos). No entanto, a estação maregráfica de Santana possui também um período longo de observação (15 anos), porém é a maior diferença (1,574 m). Na análise também chama a atenção ao fato da estação de Belém possuir apenas dois anos de observação e apresentar uma diferença de 0,116 m.

TABELA 5 – DIFERENÇAS DOS VALORES DA ALTITUDE ELIPSOIDAL DO NMM NAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DA RMPG COM RELAÇÃO AO MODELO CLS22.

Estação	RMPG (m)	CLS22 (m)	Diferença (m)
Imbituba (2001-2020)	1,423	1,417	0,006
Arraial do Cabo (2017-2020)	-5,660	-5,499	-0,161
Macaé (2001-2015)	-6,778	-6,425	-0,353
Salvador (2004-2020)	-10,726	-10,609	-0,117
Fortaleza (2008-2019)	-8,745	-8,645	-0,100
Belém (2019-2020)	-24,701	-24,817	0,116
Santana (2005-2020)	-22,730	-24,304	1,574

FONTE: O autor (2024).

GRÁFICO 8 – TEMPO DE OBSERVAÇÕES MAREGRÁFICAS DAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DA RMPG E A DIFERENÇA EM MÓDULO DA ALTITUDE ELIPSOIDAL DO NMM DO MODELO CLS22 EM COMPARAÇÃO COM A OBSERVAÇÃO LOCAL DA RMPG.



FONTE: O autor (2024).

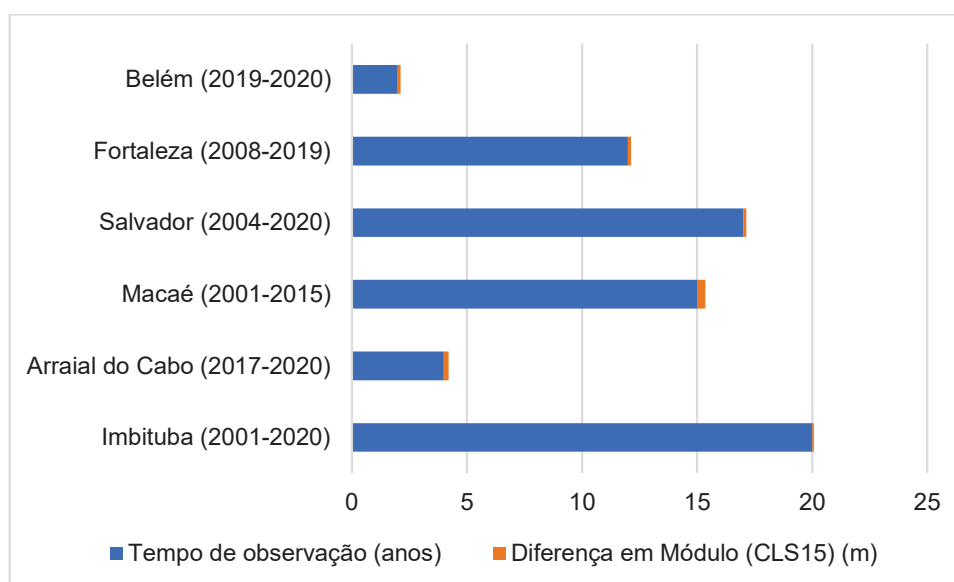
Para o modelo CLS15 não havia dados disponíveis na estação maregráfica de Santana, a menor diferença encontrada também foi na estação maregráfica de Imbituba (0,071 m) e a maior diferença em módulo ocorreu na estação maregráfica de Macaé (0,357 m) (TABELA 6). A estação maregráfica de Macaé que apresentou a maior diferença possui 14 anos de observações maregráficas e a estação maregráfica de Belém apresenta uma diferença de 0,114 m mesmo com apenas 2 anos de observações (GRÁFICO 9).

TABELA 6 – DIFERENÇAS DOS VALORES DA ALTITUDE ELIPSOIDAL DO NMM NAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DA RMPG COM RELAÇÃO AO MODELO CLS15.

Estação	RMPG (m)	CLS15 (m)	Diferença (m)
Imbituba (2001-2020)	1,423	1,352	0,071
Arraial do Cabo (2017-2020)	-5,660	-5,456	-0,204
Macaé (2001-2015)	-6,778	-6,421	-0,357
Salvador (2004-2020)	-10,726	-10,593	-0,133
Fortaleza (2008-2019)	-8,745	-8,614	-0,131
Belém (2019-2020)	-24,701	-24,815	0,114
Santana (2005-2020)	-22,730	-	-

FONTE: O autor (2024).

GRÁFICO 9 – TEMPO DE OBSERVAÇÕES MAREGRÁFICAS DAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DA RMPG E A DIFERENÇA EM MÓDULO DA ALTITUDE ELIPSOIDAL DO NMM DO MODELO CLS15 EM COMPARAÇÃO COM A OBSERVAÇÃO LOCAL DA RMPG.



FONTE: O autor (2024).

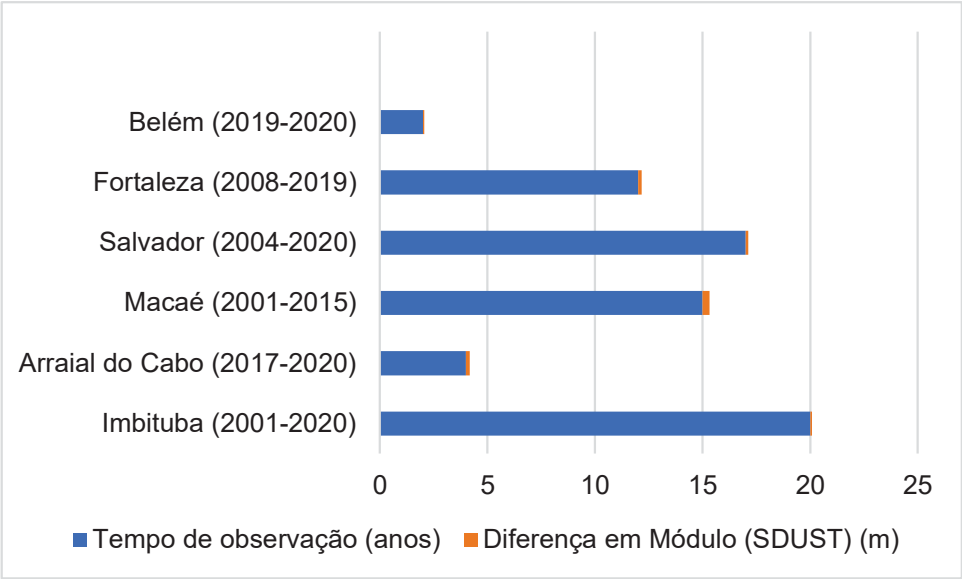
De maneira geral, ambos os modelos CLS/CNES, CLS22 e CLS15, apresentaram dificuldades na modelagem no NMM na região da estação maregráfica de Santana. É importante caracterizar que a estação maregráfica está posicionada no estuário do Rio Amazonas que apesar da influência fluvial (regime do rio) possui uma predominância de influência maregráfica (astronômica) (FIGURA 18). É provável que a interação oceano/continente comprometeu a qualidade dos dados provenientes da altimetria por satélite naquela região.

TABELA 7 – DIFERENÇAS DOS VALORES DA ALTITUDE ELIPSOIDAL DO NMM NAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DA RMPG COM RELAÇÃO AO MODELO SDUST2020.

Estação	RMPG (m)	SDUST20202020 (m)	Diferença (m)
Imbituba (2001-2020)	1,423	1,500	-0,077
Arraial do Cabo (2017-2020)	-5,660	-5,488	-0,172
Macaé (2001-2015)	-6,778	-6,454	-0,324
Salvador (2004-2020)	-10,726	-10,601	-0,125
Fortaleza (2008-2019)	-8,745	-8,585	-0,160
Belém (2019-2020)	-24,701	-24,635	0,066
Santana (2005-2020)	-22,730	-	-

FONTE: O autor (2024).

GRÁFICO 10 – TEMPO DE OBSERVAÇÕES MAREGRÁFICAS DAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DA RMPG E A DIFERENÇA EM MÓDULO DA ALTITUDE ELIPSOIDAL DO NMM DO MODELO SDUST2020 EM COMPARAÇÃO COM A OBSERVAÇÃO LOCAL DA RMPG.



FONTE: O autor (2024).

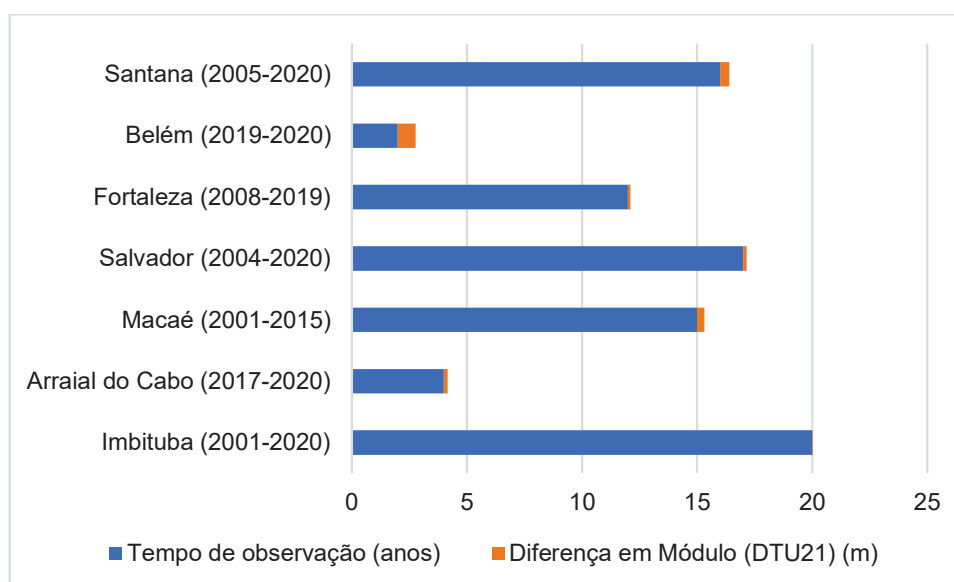
Já ao analisar o modelo DTU21 observa-se que há dados disponíveis para a estação maregráfica de Santana, porém o modelo apresenta a diferença de 0,4 m com relação ao dado da RMPG. A estação maregráfica de Belém registrou a maior diferença em módulo (0,771 m) e a estação maregráfica de Imbituba a menor (0,034 m), na comparação com as demais (TABELA 8). No GRÁFICO 11 são apresentados o tempo de observação das estações e a diferença encontrada para o modelo DTU21.

TABELA 8 – DIFERENÇAS DOS VALORES DA ALTITUDE ELIPSOIDAL DO NMM NAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DA RMPG COM RELAÇÃO AO MODELO DTU21.

Estação	RMPG (m)	DTU21 (m)	Diferença (m)
Imbituba (2001-2020)	1,423	1,389	0,034
Arraial do Cabo (2017-2020)	-5,660	-5,494	-0,166
Macaé (2001-2015)	-6,778	-6,465	-0,313
Salvador (2004-2020)	-10,726	-10,570	-0,156
Fortaleza (2008-2019)	-8,745	-8,634	-0,111
Belém (2019-2020)	-24,701	-23,930	-0,771
Santana (2005-2020)	-22,730	-23,130	0,400

FONTE: O autor (2024).

GRÁFICO 11 – TEMPO DE OBSERVAÇÕES MAREGRÁFICAS DAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DA RMPG E A DIFERENÇA EM MÓDULO DA ALTITUDE ELIPSOIDAL DO NMM DO MODELO DTU21 EM COMPARAÇÃO COM A OBSERVAÇÃO LOCAL DA RMPG.



FONTE: O autor (2024).

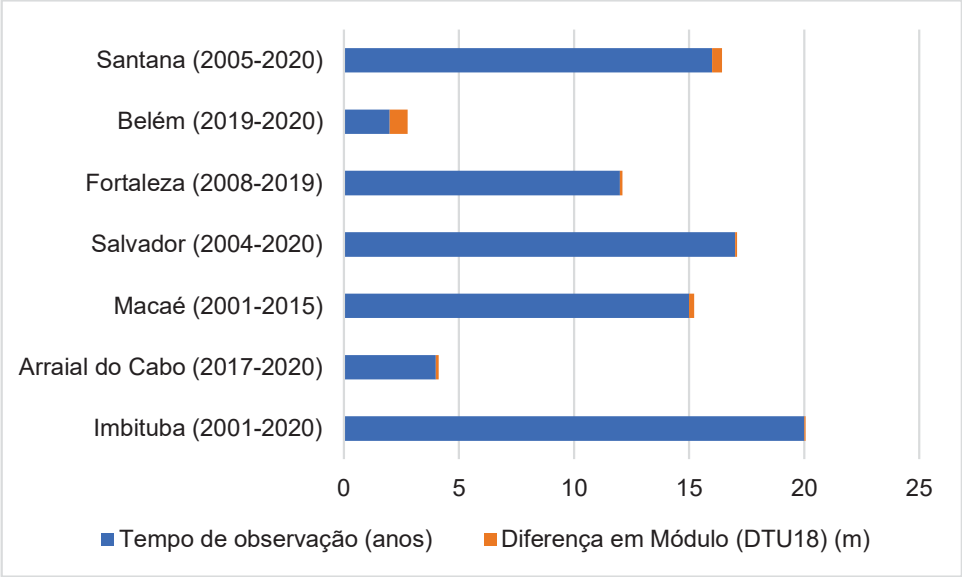
Para o DTU18 as diferenças encontradas variam em módulo de 0,060 m para estação mareográfica de Imbituba até 0,771 m na estação mareográfica de Belém (TABELA 9), de maneira semelhante, o modelo DTU15 a menor diferença em módulo na estação mareográfica de Imbituba (0,075 m) e a maior diferença de 0,771 m em Belém. Os GRÁFICOS 12 e 13 trazem a representação do tempo de observação e as diferenças encontradas para cada estação mareográfica na comparação com o DTU18 e com o DTU15, respectivamente.

TABELA 9 – DIFERENÇAS DOS VALORES DA ALTITUDE ELIPSOIDAL DO NMM NAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DA RMPG COM RELAÇÃO AO MODELO DTU18.

Estação	RMPG (m)	DTU18 (m)	Diferença (m)
Imbituba (2001-2020)	1,423	1,363	0,060
Arraial do Cabo (2017-2020)	-5,660	-5,540	-0,120
Macaé (2001-2015)	-6,778	-6,553	-0,225
Salvador (2004-2020)	-10,726	-10,636	-0,090
Fortaleza (2008-2019)	-8,745	-8,647	-0,098
Belém (2019-2020)	-24,701	-23,930	-0,771
Santana (2005-2020)	-22,730	-23,160	0,430

FONTE: O autor (2024).

GRÁFICO 12 – TEMPO DE OBSERVAÇÕES MAREGRÁFICAS DAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DA RMPG E A DIFERENÇA EM MÓDULO DA ALTITUDE ELIPSOIDAL DO NMM DO MODELO DTU18 EM COMPARAÇÃO COM A OBSERVAÇÃO LOCAL DA RMPG.



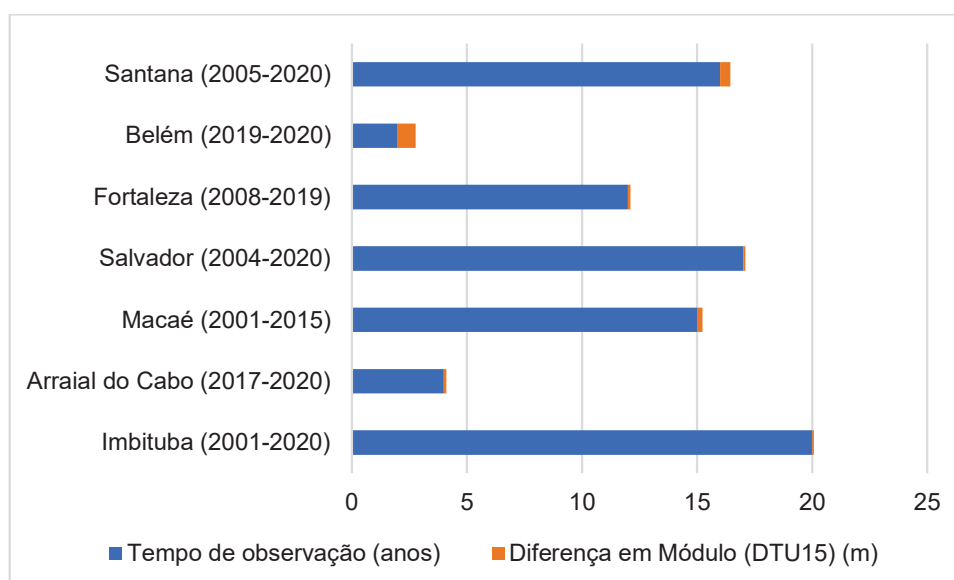
FONTE: O autor (2024).

TABELA 10 – DIFERENÇAS DOS VALORES DA ALTITUDE ELIPSOIDAL DO NMM NAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DA RMPG COM RELAÇÃO AO MODELO DTU15.

Estação	RMPG (m)	DTU15 (m)	Diferença (m)
Imbituba (2001-2020)	1,423	1,348	0,075
Arraial do Cabo (2017-2020)	-5,660	-5,547	-0,113
Macaé (2001-2015)	-6,778	-6,549	-0,229
Salvador (2004-2020)	-10,726	-10,631	-0,095
Fortaleza (2008-2019)	-8,745	-8,643	-0,102
Belém (2019-2020)	-24,701	-23,930	-0,771
Santana (2005-2020)	-22,730	-23,170	0,440

FONTE: O autor (2024).

GRÁFICO 13 – TEMPO DE OBSERVAÇÕES MAREGRÁFICAS DAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DA RMPG E A DIFERENÇA EM MÓDULO DA ALTITUDE ELIPSOIDAL DO NMM DO MODELO DTU15 EM COMPARAÇÃO COM A OBSERVAÇÃO LOCAL DA RMPG.



FONTE: O autor (2024).

É importante destacar que as diferenças encontradas nessa investigação podem vir das características das fontes de dados e das épocas de observação, seja ela o mareógrafo ou o satélite altímetro. Isso porque a localização do mareógrafo e das trilhas dos satélites podem influenciar nas discrepâncias encontradas nesse tipo de análise e as diferentes épocas e períodos de observação do nível do mar também.

Para a melhor compreensão das diferenças entre os modelos e as observações locais foram calculados os RMSE das diferenças encontradas. O maior valor de RMSE é observado para o modelo CLS22 e o menor para o SDUST2020. No

decorrer das análises foi possível identificar que as maiores diferenças ocorreram na região norte do país, com isso, retirou-se as estações maregráficas de Santana e Belém para um novo cálculo de RMSE. Nesse novo cenário o menor RMSE observado foi para o modelo DTU18 e o maior para o modelo CLS15 (TABELA 11).

TABELA 11 – VALORES DE RMSE DAS DIFERENÇAS ENTRE AS ALTITUDES ELIPSOIDAIS DO NMMS LOCAIS DA RMPG E OS ADVINDOS DE MODELOS.

MSS	RMSE (m)	RMSE* (m)
CLS22	0,617	0,187
CLS15	0,192	0,204
SDUST2020	0,163	0,191
DTU21	0,362	0,181
DTU18	0,352	0,131
DTU15	0,354	0,134

* sem a região norte.

FONTE: O autor (2024).

A TABELA 12 indica o modelo que possui a melhor adequação ao NMM medido localmente na estação maregráfica da RMPG. Para isso foi analisado qual o modelo que apresentou a menor diferença entre as observações de NMM para cada estação. Destaca-se que o modelo de MSS o DTU18 apresentou a menor diferença para três diferentes estações maregráficas.

TABELA 12 – MODELOS DE MSS QUE APRESENTARAM MENORES DIFERENÇAS POR ESTAÇÃO MAREGRÁFICA.

Estação	Modelo	Diferença (m)
Imbituba (2001-2020)	CLS22	0,006
Arraial do Cabo (2017-2020)	DTU15	-0,113
Macaé (2001-2015)	DTU18	-0,225
Salvador (2004-2020)	DTU18	-0,090
Fortaleza (2008-2019)	DTU18	-0,098
Belém (2019-2020)	SDUST2020	0,066
Santana (2005-2020)	DTU21	0,400

FONTE: O autor (2024).

É notório que o período de observação maregráficas é uma variável importante para a definição do NMM. Levando isso em consideração na TABELA 13 tem-se os valores de R^2 (R-quadrado) para cada modelo de MSS. É uma medida estatística de quão próximos os dados estão da linha de regressão ajustada. R^2 varia de 0 a 1, sendo que valores mais próximos de 1 indicam um melhor ajuste do modelo aos dados. Esse valor foi calculado para testar a existência de correlação entre as variáveis tempo de observação e as diferenças encontradas em cada estação maregráfica. Os valores de R^2 indicaram uma correlação baixa entre as variáveis.

TABELA 13 – VALORES DE R-QUADRADO POR MODELO DE MSS DAS VARIÁVEIS TEMPO DE OBSERVAÇÕES MAREGRÁFICAS X DIFERENÇAS ENCONTRADAS DO NMM.

MSS	R^2
CLS22	0,046
CLS15	0,001
SDUST2020	0,074
DTU21	0,347
DTU18	0,305
DTU15	0,282

FONTE: O autor (2024).

Os resultados encontrados na avaliação dos modelos de MSS possibilitam dimensionar as diferenças que podem existir entre o NMM de um modelo e de observações locais ao longo da costa brasileira. No entanto, pela dimensão do país, uma melhor compreensão se daria a partir da existência de mais estações maregráficas para a análise. Ao descartar a relação das diferenças com o tempo das observações, é provável que elas estejam associadas a localização do marégrafo, as diferenças das épocas de observações dos modelos e das estações maregráficas e a precisão que os dados dos satélites altímetros alcançam em regiões costeiras.

Por fim, ao resumir os resultados a partir da Tabela 14, é possível notar resultados mais homogêneos para as estações maregráficas de Imbituba, Arraial do Cabo, Macaé, Salvador e Fortaleza, pois o desvio padrão das diferenças variam de 0,024 a 0,059 m. Enquanto para as estações maregráficas da região norte (Belém e Santana) o valor alcança 0,576 m para a estação de Santana. Por outro lado, entre os modelos, as diferenças são mais homogêneas para os modelos CLS15 e SDUST (0,175 m e 0,128 m, respectivamente), os demais apresentam desvio padrão maior

que 0,354 m. Adicionalmente, para este estudo, os modelos de MSS ainda serão utilizados para a comparação com os valores de altitude elipsoidal do NMML das estações maregráficas que serão vinculadas ao referencial geocêntrico (seção 4.5).

TABELA 14 – RESUMO DAS DIFERENÇAS ENCONTRADAS ENTRE OS MODELOS E AS ALTITUDES ELIPSOIDAIS DO NMML.

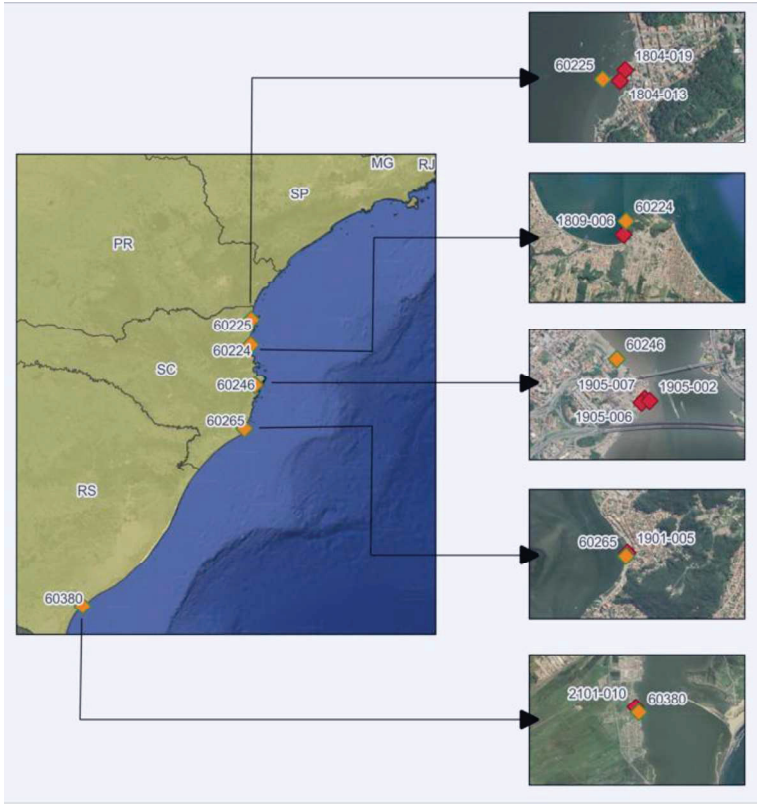
Estação/ Modelo	CLS22 (m)	CLS15 (m)	SDUST (m)	DTU21 (m)	DTU18 (m)	DTU15 (m)	Média (m)	DP (m)
Imbituba	0,006	0,071	-0,077	0,034	0,060	0,075	0,028	0,058
Arraial do Cabo	-0,161	-0,204	-0,172	-0,166	-0,120	-0,113	-0,156	0,034
Macaé	-0,353	-0,357	-0,324	-0,313	-0,225	-0,229	0,300	0,059
Salvador	-0,117	-0,133	-0,125	-0,156	-0,090	-0,095	-0,119	0,025
Fortaleza	-0,100	-0,131	-0,160	-0,111	-0,098	-0,102	-0,117	0,024
Belém	0,116	0,114	0,066	-0,771	-0,771	-0,771	-0,336	0,477
Santana	1,574	-	-	0,400	0,430	0,440	0,711	0,576
Média	0,138	-0,107	-0,132	-0,155	-0,116	-0,114	-	-
DP	0,650	0,175	0,128	0,354	0,358	0,362	-	-

FONTE: O autor (2024).

4.5 VINCULAÇÃO DOS NÍVEIS DE REFERÊNCIA DO BNDO A UM REFERENCIAL GEOCÊNTRICO

Após a etapa de investigação dos vínculos entre as estações maregráficas e geodésicas (seção 4.3) os valores de altitudes geoidais e fator de conversão de altitudes foram obtidos para as estações onde a vinculação será possível. A estação maregráfica Porto de Imbituba (60250) foi retirada do quantitativo de estações para vinculação porque as duas estações geodésicas que possuem vínculos com a estação não possuem altitudes elipsoidais conhecidas, somente altitudes normais, conforme citado anteriormente. A FIGURA 19 contém uma representação das estações maregráficas (em laranja) e geodésicas (em vermelho) utilizadas nessa etapa da pesquisa.

FIGURA 19 – REPRESENTAÇÃO DAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS E GEODÉSICAS.



FONTE: O autor (2024).

Nas TABELAS 15 e 16 os valores de conversão de altitudes do hgeoHNOR e as altitudes geoidais dos modelos são apresentados para as estações maregráficas e geodésicas. Associado ao modelo de conversão hgeoHNOR há também uma estimativa das incertezas dos dados que também estão contidos nas tabelas.

TABELA 15 – VALORES DE CONVERSÃO DE ALTITUDE DO HGEOHNOR E ALTITUDES GEOIDAIIS PROVENIENTES DOS MODELOS MAPGEO2015, GEOID2023, XGM19e, XGM19e_2159, EIGEN-6C4 E EGM2008 NAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS

Estação Maregráfica	hgeoHNOR (m)	MAPGEO (m)	GEOID2023 (m)	XGM19 e_2159 (m)	XGM19e (m)	EIGEN- 6C4 (m)	EGM2008 (m)
60380	8,53 ±0,11	8,29	7,972	8,000	7,997	8,063	8,057
60265	1,52 ±0,08	1,36	0,831	0,914	0,909	0,904	1,007
60246	0,73 ±0,08	0,6	0,091	0,105	0,114	0,107	0,090
60224	0,05 ±0,09	-0,11	-0,561	-0,385	-0,392	-0,380	-0,470
60225	0,2 ±0,09	-0,02	-0,483	-0,404	-0,409	-0,379	-0,473

FONTE: O autor (2024).

TABELA 16 – VALORES DE CONVERSÃO DE ALTITUDE DO HGEOHNOR E ALTITUDES GEOIDAIS PROVENIENTES DOS MODELOS MAPGEO2015, GEOID2023, XGM19, EIGEN-6C4 E EGM2008 NAS ESTAÇÕES GEODÉSICAS

Estação Geodésica	hgeoHNOR (m)	MAPGEO (m)	GEOID2023 (m)	XGM19e _2159 (m)	XGM19e (m)	EIGEN-6C4 (m)	EGM2008 (m)
2101-010	8,54 ±0,11	8,29	7,974	8,002	7,999	8,065	8,059
1901-005	1,52 ±0,08	1,36	0,831	0,914	0,909	0,904	1,007
1905-007	0,73 ±0,08	0,61	0,093	0,109	0,117	0,111	0,094
1905-002	0,73 ±0,08	0,61	0,093	0,110	0,117	0,111	0,094
1809-006	0,05 ±0,09	-0,11	-0,560	-0,385	-0,391	-0,380	-0,471
1804-019	0,20 ±0,09	-0,02	-0,486	-0,382	-0,411	-0,380	-0,476
1804-013	0,20 ±0,09	-0,02	-0,485	-0,381	-0,411	-0,381	-0,475

FONTE: O autor (2024).

Os desníveis geoidais foram calculados a partir das TABELAS 15 e 16 para os trechos entre as estações geodésicas e maregráficas, e são apresentados na TABELA 17. Nota-se que para os modelos nacionais os desníveis em sua grande maioria são nulos, com exceção para os trechos 30380/2101-010 (hgeoHNOR), 60246/1905-007 (MAPGEO2015) e 60246/1905-002 (MAPGEO2015). Além disso, a amplitude dos desníveis geoidais calculados variam em torno de alguns milímetros ou menor. Isso ocorre porque há uma distância pequena entre a estação maregráfica e a estação geodésica.

TABELA 17 – DESNÍVEIS GEOIDAIS ENTRE AS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS E ESTAÇÕES GEODÉSICAS.

Trecho	hgeoHNOR (m)	MAPGEO (m)	GEOID2023 (m)	XGM19e _2159 (m)	XGM19e (m)	EIGEN-6C4 (m)	EGM2008 (m)
60380/2101-010	0,01000	0,00000	0,00200	0,00220	0,00222	0,00200	0,00254
60265/1901-005	0,00000	0,00000	0,00000	-0,00020	-0,00020	-0,00013	-0,00017
60246/1905-007	0,00000	0,01000	0,00200	0,00430	0,00325	0,00411	0,00430
60246/1905-002	0,00000	0,01000	0,00200	0,00458	0,00335	0,00435	0,00455
60224/1809-006	0,00000	0,00000	0,00100	0,00008	0,00110	-0,00019	-0,00043
60225/1804-019	0,00000	0,00000	-0,00300	-0,00244	-0,00263	-0,00245	-0,00237
60225/1804-013	0,00000	0,00000	-0,00200	-0,00198	-0,00194	-0,00200	-0,00196

FONTE: O autor (2024).

Além dos desníveis geoidais, as altitudes elipsoidais das estações geodésicas são variáveis necessárias para o estabelecimento do vínculo geocêntrico, para tanto, elas foram convertidas para o conceito de maré médio conforme a TABELA 18. Os valores de altitudes elipsoidais foram extraídos das fichas F-21. No total, sete altitudes elipsoidais foram convertidas, considerando que as estações maregráficas 60246 e 60225 possuem duas estações geodésicas vinculadas.

TABELA 18 – ALTITUDES ELIPSOIDAIS DAS ESTAÇÕES GEODÉSICAS NO CONCEITO DE MARÉ MÉDIO E LIVRE DE MARÉ

Estação Geodésica	Altitude elipsoidal no conceito livre de maré (m)	Altitude elipsoidal no conceito de maré médio (m)
2101-010	11,8609±0,0519	11,8504
1901-005	3,1000±0,0100	3,0780
1905-007	2,6184±0,0050	2,5937
1905-002	2,5310±0,0260	2,5063
1809-006	2,7690±0,0130	2,7419
1804-019	1,8010±0,0210	1,7724
1804-013	2,2120±0,0040	2,1834

FONTE: O autor (2024).

Considerando as equações 5, 6 e 7, restam os valores de ΔH , H_{DCN} , S_0 e Z_0 para a efetivação dos cálculos da altitude elipsoidal do NMM e do DCN com relação ao elipsoide de revolução. Estes valores foram extraídos das fichas F-41 das estações maregráficas (TABELA 19).

TABELA 19 – VALORES DE ΔH , H_{DCN} , S_0 e Z_0 PARA AS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS EXTRAÍDOS DAS FICHAS F-41

Estação Maregráfica	ΔH (m)	H_{DCN} (m)	S_0 (m)	Z_0 (m)
60380 (2101-010)	3,876	0,635	0,858	0,223
60265 (1901-005)	4,050	2,192	2,328	0,136
60246 (1905-007)	4,895	2,353	2,930	0,577
60246 (1905-002)	4,758	2,353	2,930	0,577
60224 (1809-006)	3,345	0,335	1,001	0,666
60225 (1804-019)	3,251	0,829	1,714	0,885
60225 (1804-013)	3,422	0,829	1,714	0,885

FONTE: O autor (2024).

De posse das informações e dados contidos nas TABELAS 17, 18 e 19 a determinação das altitudes elipsoidais dos NMMs e dos DCNs com relação ao elipsoide GRS80 foi estabelecida. Os valores foram calculados a partir dos modelos hgeoHNOR, MAPGEO2015, GEOID2023, XGM19, EIGEN-6C4 e EGM2008 para as estações maregráficas da seção 4.3 com exceção da estação maregráfica 60250 (Porto de Imbituba) pois as estações geodésicas vinculadas a ela não possuem altitudes elipsoidais conhecidas.

Nota-se nas TABELAS 20 e 21 que duas estações maregráficas (60246 e 60225) possuem duas soluções, pois a elas estão vinculadas duas estações geodésicas. Com isso, foi observado para a estação maregráfica 60246 uma diferença aproximada entre as duas soluções de 0,08 m e para a estação maregráfica 60225 essa diferença aproximada é de 0,24 cm.

Ao encontrar essas diferenças entre as soluções para estas estações, uma investigação nos desníveis foi realizada. Nessa investigação, para a estação maregráfica 60246 o desnível calculado a partir das altitudes elipsoidais das duas estações geodésicas (1905-007 e 1905-002) é de 0,087 m e na ficha F-41 o desnível entre as estações geodésicas é de 0,137 m, uma diferença de 0,05 m. Por outro lado, na estação maregráfica 60225 o desnível calculado a partir das altitudes elipsoidais das duas estações geodésicas (1804-019 e 1804-013) é de -0,411 m e na ficha F-41 o desnível entre as estações geodésicas é de -0,171 m, uma diferença de 0,240 m. As precisões das altitudes elipsoidais das estações geodésicas 1804-019 e 1804-013 é de $\pm 0,0210$ e $\pm 0,0040$, respectivamente. O que não justificaria a dimensão da discrepância.

As diferenças entre os desníveis das estações geodésicas indicam a necessidade de novos levantamentos geodésicos precisos (rastreo GNSS e nivelamento) nas regiões das estações, principalmente para a estação 60225 que possui uma amplitude maior de diferença. Era esperado uma diferença entre os desníveis devido ao desnível geoidal no local, que apesar das correções dos modelos geoidais utilizados na pesquisa, a diferença pode persistir devido a precisão dos modelos geoidais disponíveis.

Um aspecto a ser avaliado (futuramente) é a forma de obtenção das coordenadas geodésicas das estações próximas as estações maregráficas, se foi por meio da formação da linha de base com uma única estação da RBMC como estação de referência, ou se as coordenadas foram obtidas a partir do ajustamento de

diferentes linhas de base. O fato da ficha F-21 indicar uma estação de referência leva à percepção de que a obtenção das coordenadas geodésicas pode ter sido feita a partir do processamento da linha de base, sem ser feito o ajustamento com outras estações de referência. Logo, as precisões indicadas na ficha podem ser precisões internas do levantamento.

De maneira geral, devido a pequena amplitude dos desníveis geoidais (TABELA 17) os resultados obtidos para as altitudes elipsoidais do NMM e do DCN a partir dos MGGs e do GEOID2023 são muito próximos e divergem em no máximo dois milímetros. Os modelos geodésicos nacionais, hgeoHNOR e MAPGEO2015, apresentaram desnível geoidal nulo em grande parte dos trechos e isso fez com que os valores fossem diferentes dos demais modelos.

TABELA 20 – DETERMINAÇÃO DA ALTITUDE ELIPSOIDAL DO NMM COM RELAÇÃO AO GRS80 NAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DO BNDO

Trecho	hgeoHNOR (m)	MAPGEO (m)	GEOID2023 (m)	XGM19e _2159 (m)	XGM19e (m)	EIGEN-6C4 (m)	EGM2008 (m)
60380/2101-010	8,822	8,832	8,830	8,830	8,830	8,830	8,830
60265/1901-005	1,356	1,356	1,356	1,356	1,356	1,356	1,356
60246/1905-007	0,629	0,756	0,764	0,761	0,762	0,762	0,761
60246/1905-002	0,678	0,668	0,676	0,674	0,675	0,674	0,674
60224/1809-006	0,398	0,398	0,397	0,398	0,397	0,398	0,398
60225/1804-019	0,235	0,235	0,238	0,238	0,238	0,238	0,238
60225/1804-013	0,475	0,475	0,477	0,477	0,477	0,477	0,477

FONTE: O autor (2024).

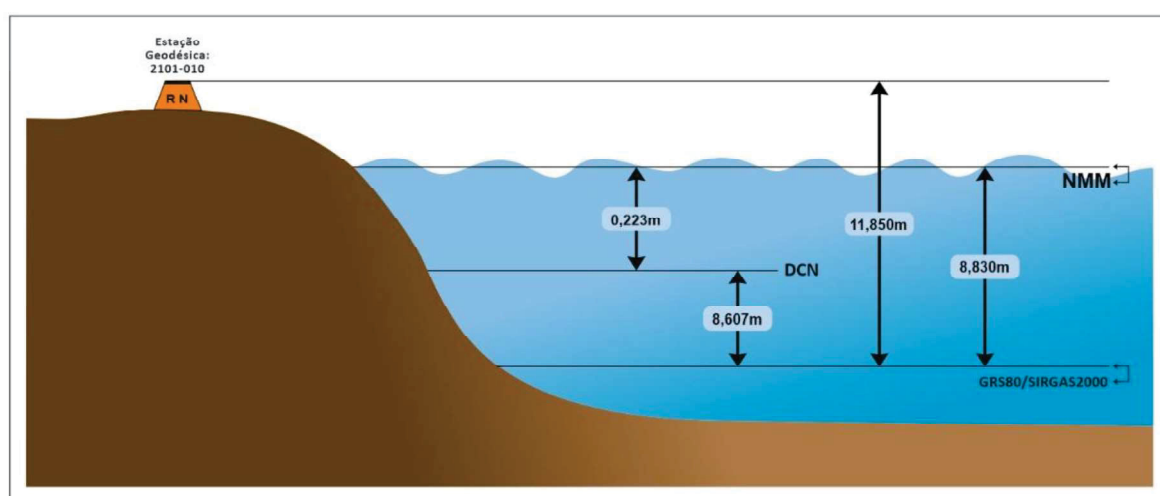
TABELA 21 – DETERMINAÇÃO DA ALTITUDE ELIPSOIDAL DO DCN COM RELAÇÃO AO GRS80 NAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DO BNDO

Trecho	hgeoHNOR (m)	MAPGEO (m)	GEOID2023 (m)	XGM19e _2159 (m)	XGM19e (m)	EIGEN-6C4 (m)	EGM2008 (m)
60380/2101-010	8,599	8,609	8,607	8,607	8,607	8,607	8,607
60265/1901-005	1,220	1,220	1,220	1,220	1,220	1,220	1,220
60246/1905-007	0,052	0,052	0,050	0,047	0,048	0,048	0,047
60246/1905-002	0,101	0,091	0,099	0,097	0,098	0,097	0,097
60224/1809-006	-0,268	-0,268	-0,269	-0,268	-0,269	-0,268	-0,268
60225/1804-019	-0,650	-0,650	-0,647	-0,647	-0,647	-0,647	-0,647
60225/1804-013	-0,410	-0,410	-0,408	-0,408	-0,408	-0,408	-0,408

FONTE: O autor (2024).

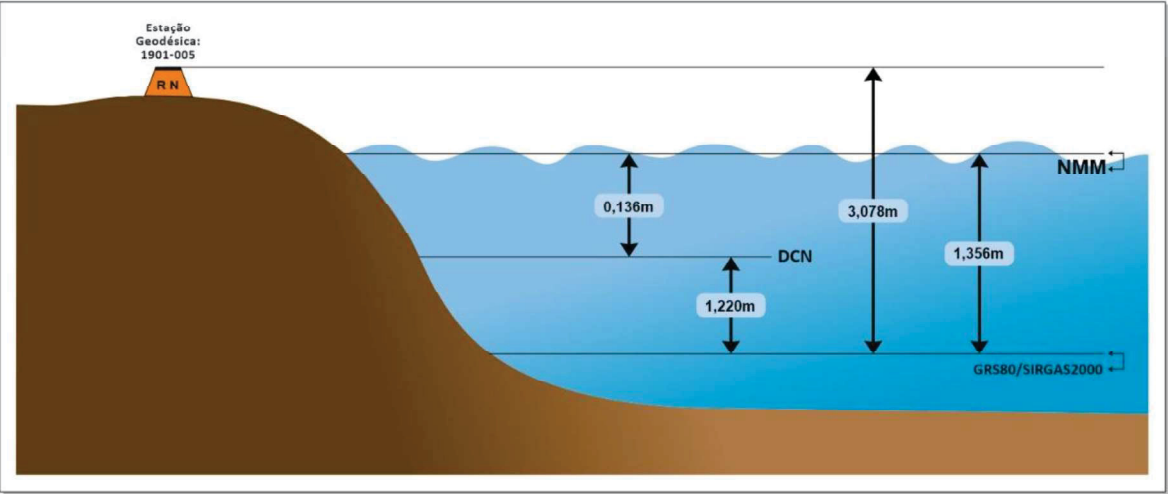
As FIGURAS 20 a 26 apresentam os diagramas das estações maregráficas a partir dos resultados obtidos nessa pesquisa. São indicadas as dimensões entre o elipsoide GRS80 e o NMM, DCN e RN (estação geodésica). O valor do afastamento do DCN e o NMM também é apresentado e foi extraído das fichas F-41 do BNDO. Considerando que o modelo XGM19e_2159 foi avaliado em Santana et al. (2022) e apresentou melhores resultados que os demais modelos para a região costeira, os resultados encontrados a partir desse modelo foram utilizados nas representações.

FIGURA 20 – DIAGRAMA DA ESTAÇÃO MAREGRÁFICA 60380 COM NÍVEIS DE REFERÊNCIA VINCULADOS AO GRS80 ATRAVÉS DA ESTAÇÃO GEODÉSICA 2101-010



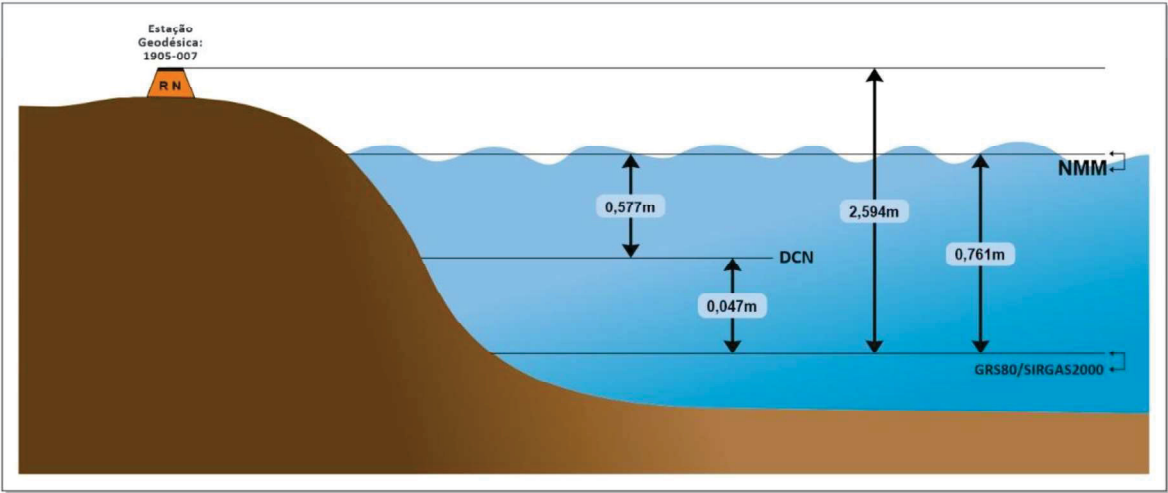
FONTE: O autor (2024).

FIGURA 21 – DIAGRAMA DA ESTAÇÃO MAREGRÁFICA 60265 COM NÍVEIS DE REFERÊNCIA VINCULADOS AO GRS80 ATRAVÉS DA ESTAÇÃO GEODÉSICA 1901-005



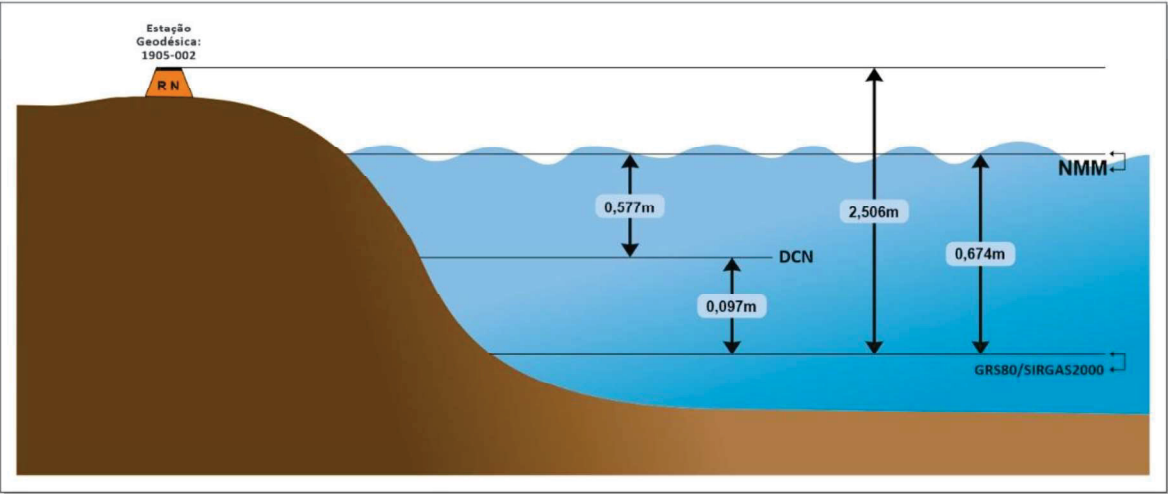
FONTE: O autor (2024).

FIGURA 22 – DIAGRAMA DA ESTAÇÃO MAREGRÁFICA 60246 COM NÍVEIS DE REFERÊNCIA VINCULADOS AO GRS80 ATRAVÉS DA ESTAÇÃO GEODÉSICA 1905-007



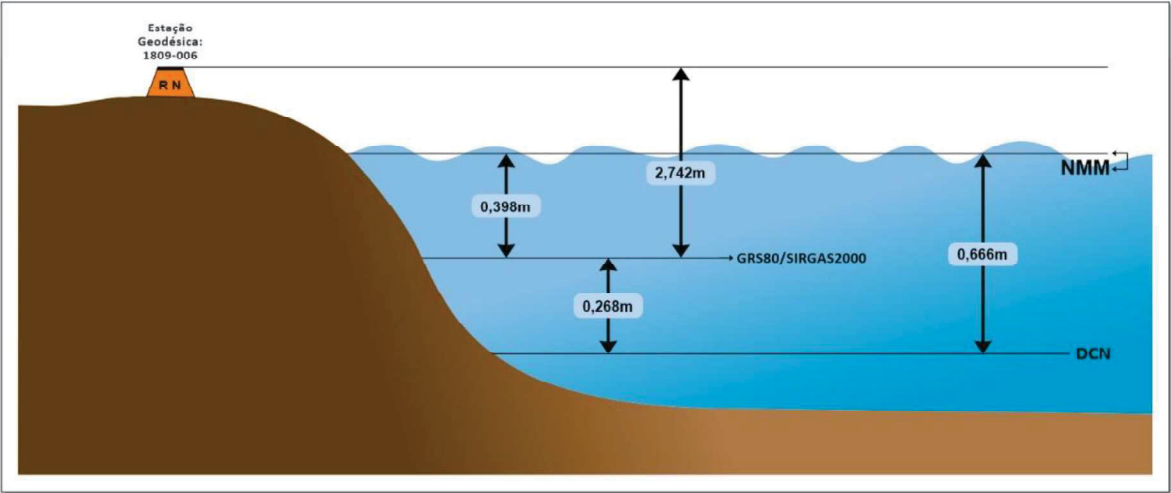
FONTE: O autor (2024).

FIGURA 23 – DIAGRAMA DA ESTAÇÃO MAREGRÁFICA 60246 COM NÍVEIS DE REFERÊNCIA VINCULADOS AO GRS80 ATRAVÉS DA ESTAÇÃO GEODÉSICA 1905-002



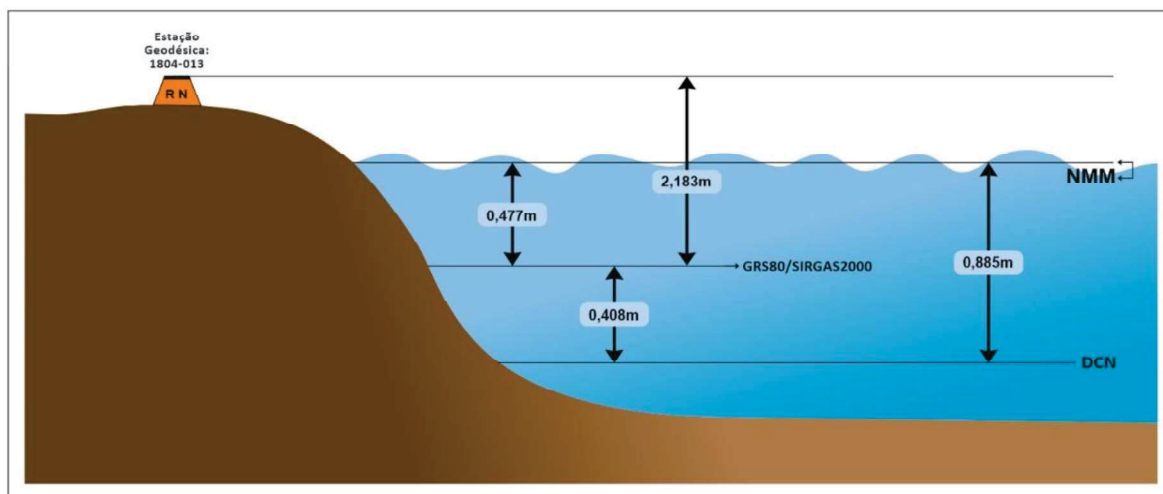
FONTE: O autor (2024).

FIGURA 24 – DIAGRAMA DA ESTAÇÃO MAREGRÁFICA 60224 COM NÍVEIS DE REFERÊNCIA VINCULADOS AO GRS80 ATRAVÉS DA ESTAÇÃO GEODÉSICA 1809-006



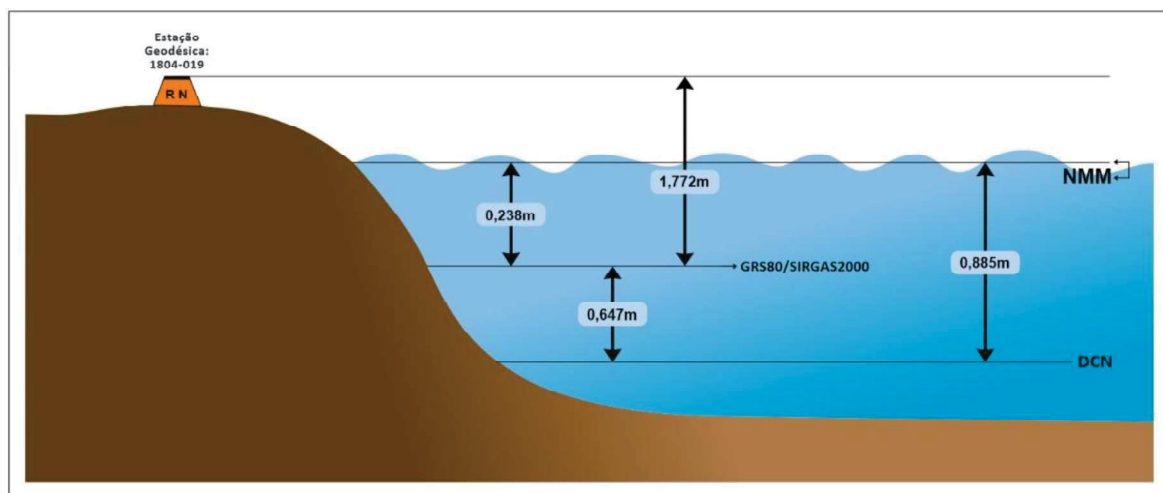
FONTE: O autor (2024).

FIGURA 25 – DIAGRAMA DA ESTAÇÃO MAREGRÁFICA 60225 COM NÍVEIS DE REFERÊNCIA VINCULADOS AO GRS80 ATRAVÉS DA ESTAÇÃO GEODÉSICA 1804-013



FONTE: O autor (2024).

FIGURA 26 – DIAGRAMA DA ESTAÇÃO MAREGRÁFICA 60225 COM NÍVEIS DE REFERÊNCIA VINCULADOS AO GRS80 ATRAVÉS DA ESTAÇÃO GEODÉSICA 1804-019



FONTE: O autor (2024).

Os valores dos resultados da vinculação dos níveis de referência a um referencial global, foram comparados com os valores de altitudes elipsoidais do NMM derivados dos modelos de MSS CLS22, CLS15, DTU21, DTU15 e SDUST2020. Os dados para as estações maregráficas 60380, 60265, 60246, 60224 e 60225 foram extraídos dos modelos utilizando o programa QGIS 3.28.15 (TABELA 22). Após isso eles foram convertidos para o elipsoide GRS80, já que estavam referidos ao elipsoide T/P (TABELA 23).

TABELA 22 – ALTITUDES ELIPSOIDAIS DO NMM COM RELAÇÃO AO T/P NAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DO BNDO

Estação Maregráfica	CLS22 (m)	CLS15 (m)	DTU21 (m)	DTU18 (m)	DTU15 (m)	SDUST2020 (m)
60380	9,432	9,420	9,485	9,625	9,628	9,586
60265	2,208	2,204	2,305	2,380	2,378	2,347
60246	1,133	1,113	1,323	1,417	1,408	1,615
60224	0,950	0,927	0,909	0,850	0,805	1,070
60225	1,393	1,397	0,979	0,937	0,933	1,103

FONTE: O autor (2024).

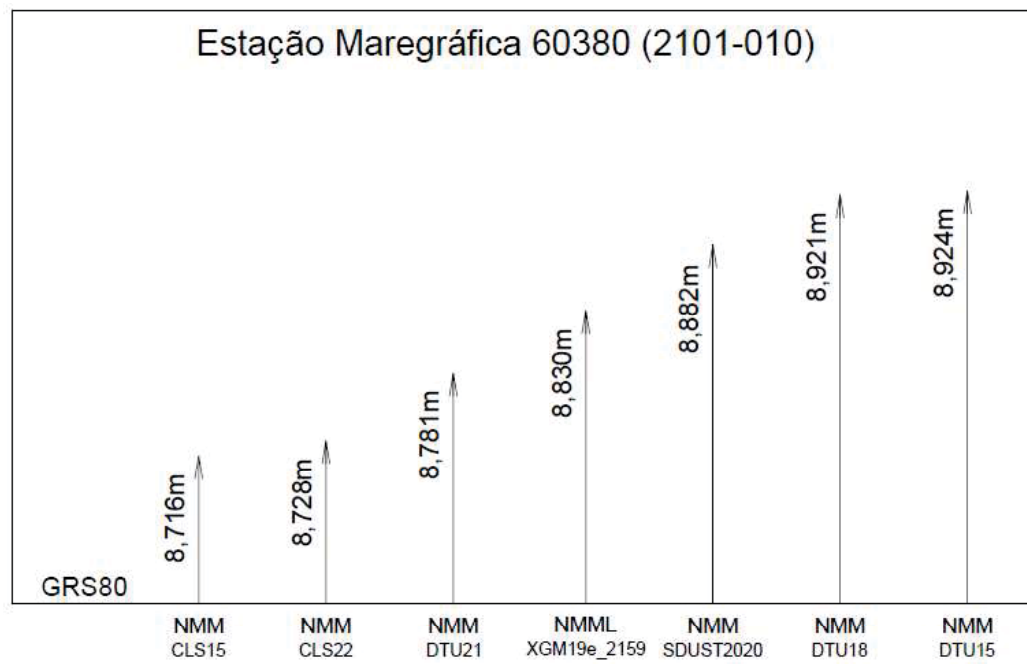
TABELA 23 – NMM DOS MODELOS DE MSS COM RELAÇÃO AO GRS80 NAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DO BNDO

Estação Maregráfica	CLS22 (m)	CLS15 (m)	DTU21 (m)	DTU18 (m)	DTU15 (m)	SDUST2020 (m)
60380	8,728	8,716	8,781	8,921	8,924	8,882
60265	1,505	1,501	1,602	1,677	1,675	1,644
60246	0,430	0,410	0,620	0,714	0,705	0,912
60224	0,247	0,224	0,206	0,147	0,102	0,367
60225	0,690	0,694	0,276	0,234	0,230	0,400

FONTE: O autor (2024).

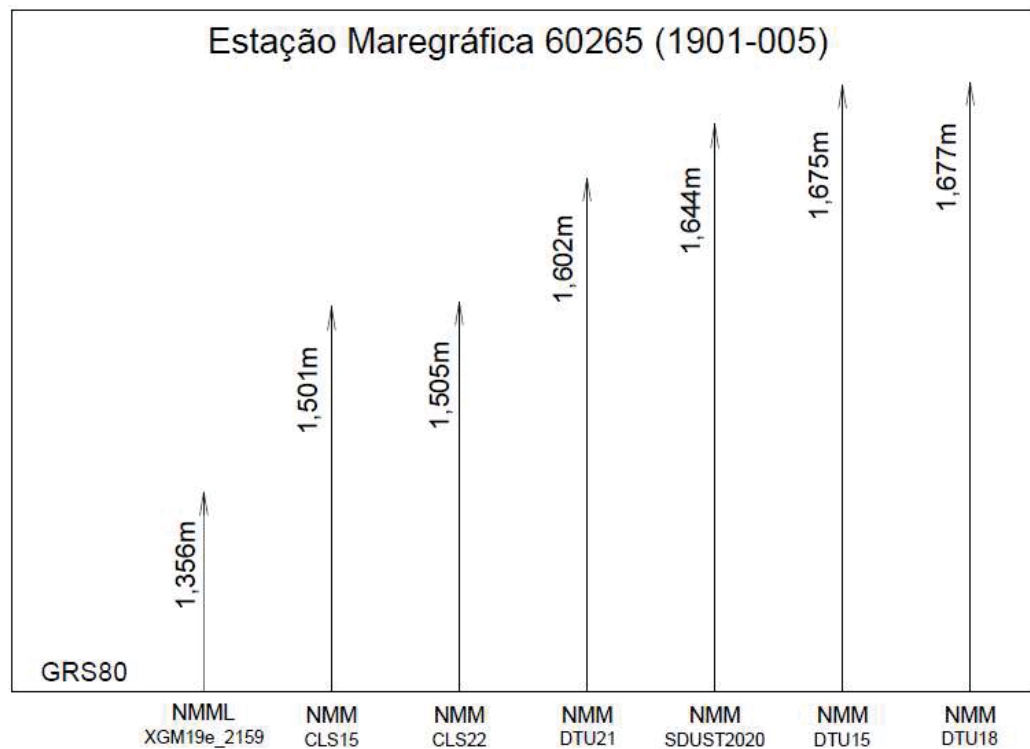
Para melhor visualização dos resultados das altitudes elipsoidais do NMM para as estações maregráficas e MGOs de MSS, as FIGURAS 27 a 32 apresentam esses valores em ordem crescente. Para a estação maregráfica 60380, os modelos SDUST2020 e DTU21 apresentaram as menores diferenças, 0,052 m e 0,049 m, respectivamente. A maior diferença encontrada foi de 0,114 m para o CLS15 (FIGURA 27). Na estação maregráfica 60265 a menor diferença é de 0,145 m para o modelo CLS15 e a maior 0,321 m para o modelo DTU18 (FIGURA 28).

FIGURA 27 – VISUALIZAÇÃO DOS NMMs DOS MODELOS DE MSS E DO NMML CALCULADO A PARTIR DO XGM19e_2159 PARA A ESTAÇÃO MAREGRÁFICA 60380 VINCULADA AO GRS80 ATRAVÉS DA ESTAÇÃO GEODÉSICA 2101-010



FONTE: O autor (2024).

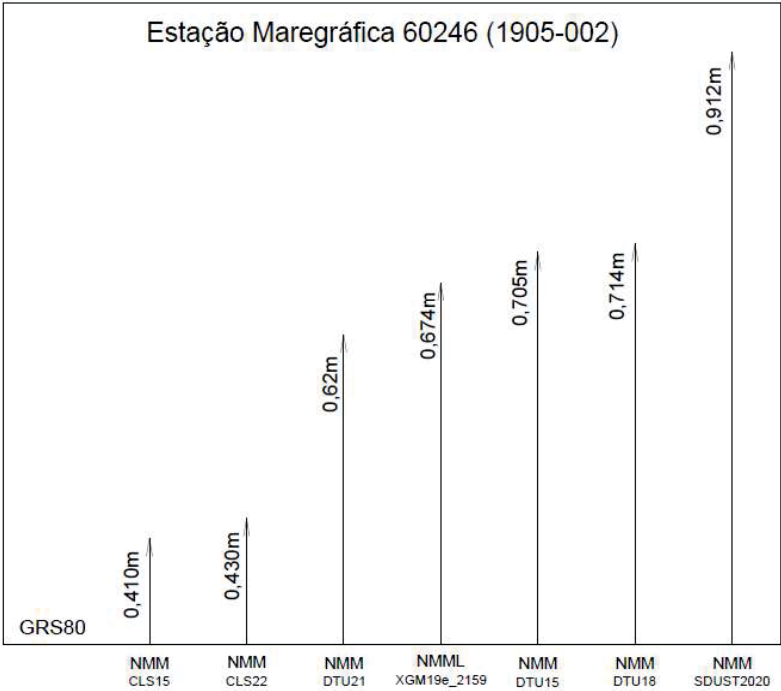
FIGURA 28 – VISUALIZAÇÃO DOS NMMs DOS MODELOS DE MSS E DO NMML CALCULADO A PARTIR DO XGM19e_2159 PARA A ESTAÇÃO MAREGRÁFICA 60265 VINCULADA AO GRS80 ATRAVÉS DA ESTAÇÃO GEODÉSICA 1901-005



FONTE: O autor (2024).

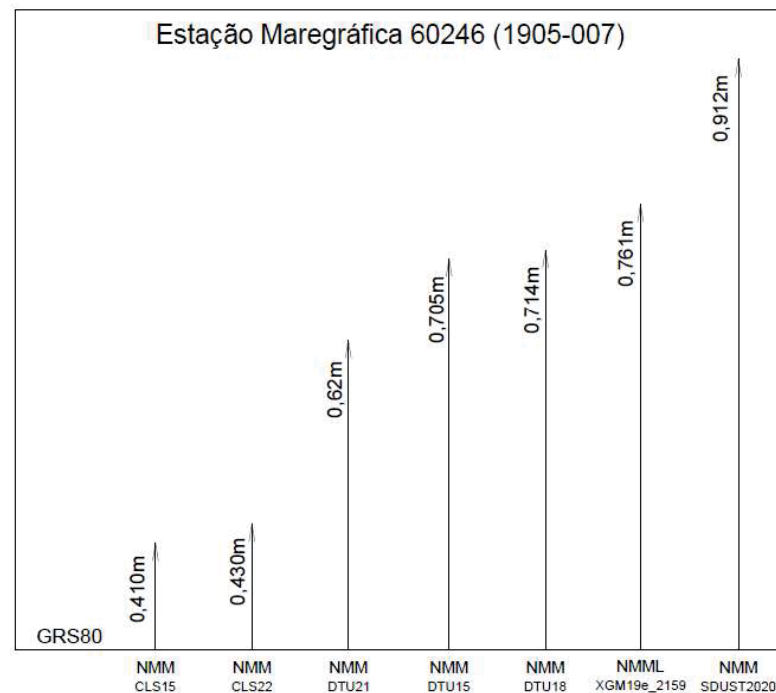
A estação maregráfica 60246 possui duas soluções, na primeira solução, a partir da vinculação com a estação geodésica 1905-002 a menor diferença encontrada foi de 0,031 m para o modelo DTU15 e a maior 0,264 m para o modelo CLS15 (FIGURA 29). Na segunda solução, a partir da estação geodésica 1905-007 a menor diferença é com relação ao DTU18 (0,047 m) e maior diferença também ocorre com relação ao CLS15 (0,351 m) (FIGURA 30).

FIGURA 29 – VISUALIZAÇÃO DOS NMMs DOS MODELOS DE MSS E DO NMML CALCULADO A PARTIR DO XGM19e_2159 PARA A ESTAÇÃO MAREGRÁFICA 60246 VINCULADA AO GRS80 ATRAVÉS DA ESTAÇÃO GEODÉSICA 1905-002



FONTE: O autor (2024).

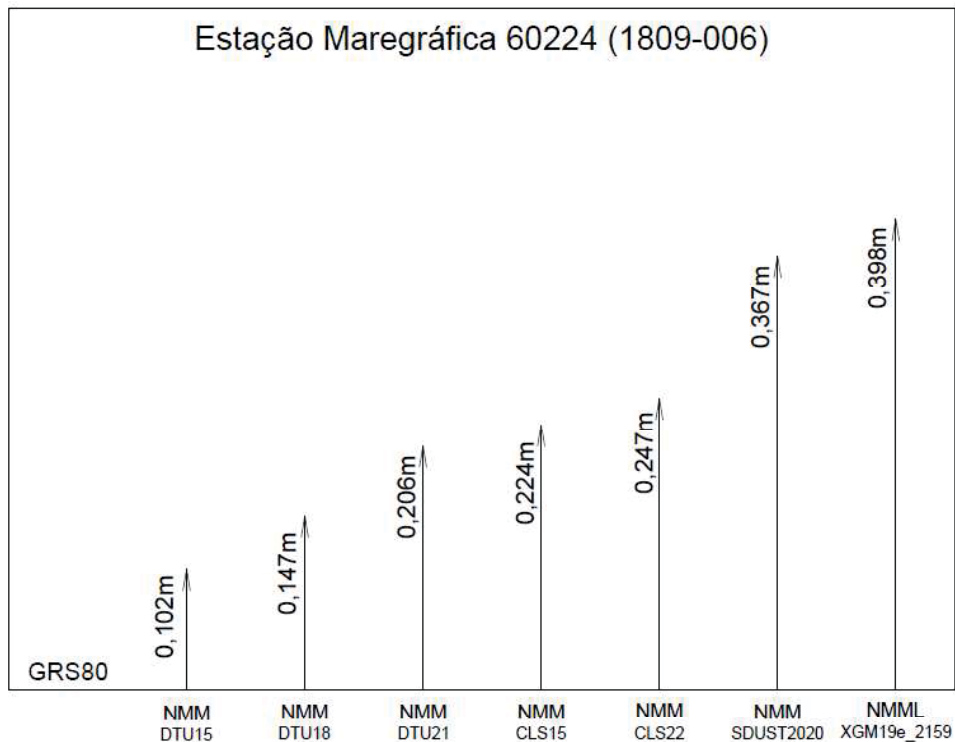
FIGURA 30 – VISUALIZAÇÃO DOS NMMs DOS MODELOS DE MSS E DO NMML CALCULADO A PARTIR DO XGM19e_2159 PARA A ESTAÇÃO MAREGRÁFICA 60246 VINCULADA AO GRS80 ATRAVÉS DA ESTAÇÃO GEODÉSICA 1905-007



FONTE: O autor (2024).

Para a estação maregráfica 60224 o valor da altitude elipsoidal do NMML é de 0,398 m, o modelo que mais se aproximou deste resultado foi o modelo SDUST2020 com uma diferença de 0,031 m e a maior diferença foi de 0,296 m para o DTU15 (FIGURA 31).

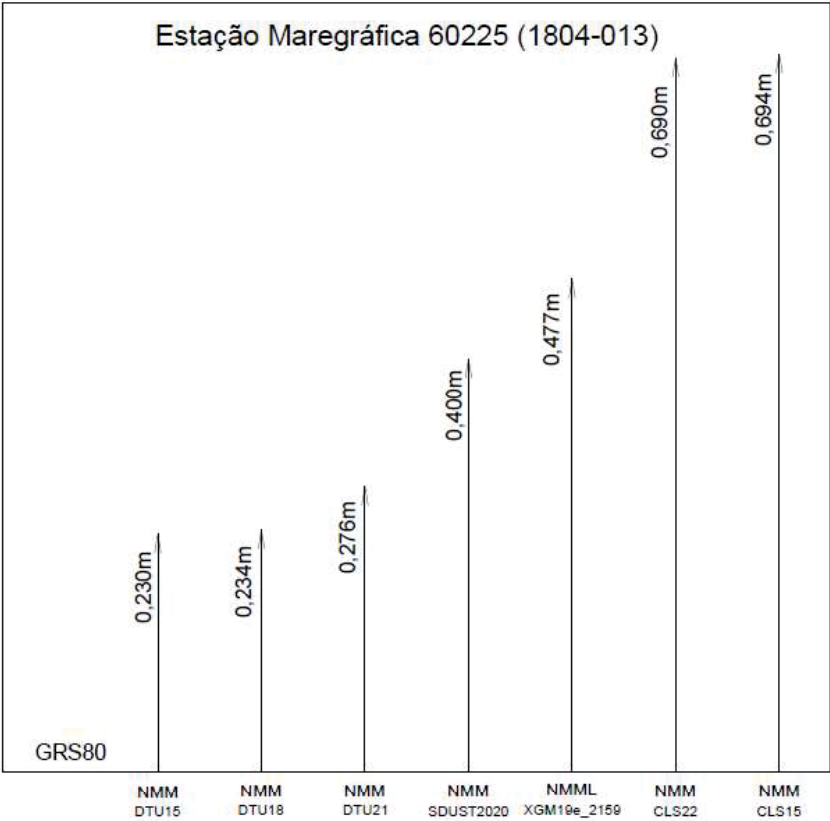
FIGURA 31 – VISUALIZAÇÃO DOS NMMs DOS MODELOS DE MSS E DO NMML CALCULADO A PARTIR DO XGM19e_2159 PARA A ESTAÇÃO MAREGRÁFICA 60224 VINCULADA AO GRS80 ATRAVÉS DA ESTAÇÃO GEODÉSICA 1809-006



FONTE: O autor (2024).

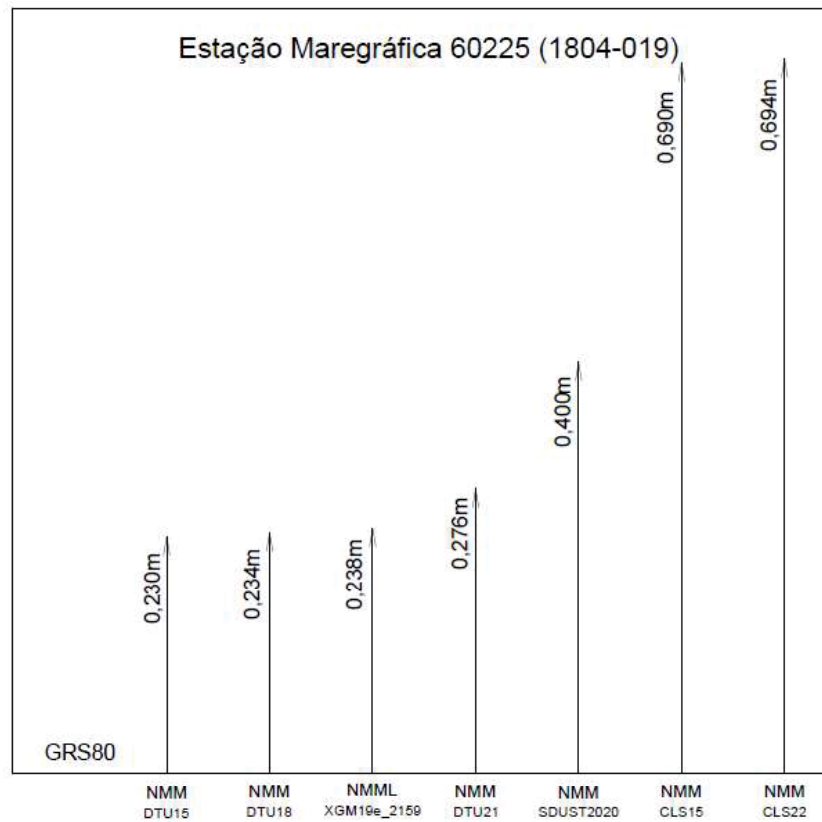
Tal como a estação maregráfica 60246, a estação maregráfica 60225 possui duas soluções, na primeira delas, com a vinculação a partir da estação geodésica 1804-013, a menor diferença é de 0,077 m com relação ao modelo SDUST2020 e a maior é de 0,247 m com relação a modelo DTU15 (FIGURA 32). Na segunda solução, a partir da estação geodésica 1804-019, a menor diferença ocorre para o modelo DTU18 e é de 0,004 m e a maior 0,456 m para o modelo SDUST2020 (FIGURA 33).

FIGURA 32 – VISUALIZAÇÃO DOS NMMs DOS MODELOS DE MSS E DO NMML CALCULADO A PARTIR DO XGM19e_2159 PARA A ESTAÇÃO MAREGRÁFICA 60225 VINCULADA AO GRS80 ATRAVÉS DA ESTAÇÃO GEODÉSICA 1804-013



FONTE: O autor (2024).

FIGURA 33 – VISUALIZAÇÃO DOS NMMs DOS MODELOS DE MSS E DO NMML CALCULADO A PARTIR DO XGM19e_2159 PARA A ESTAÇÃO MAREGRÁFICA 60225 VINCULADA AO GRS80 ATRAVÉS DA ESTAÇÃO GEODÉSICA 1804-019



FONTE: O autor (2024).

Para Oreiro, D'Onofrio e Fiore (2015), os MGOs de MSS podem ser utilizados para obter a altitude elipsoidal do DCN da estação maregráfica ($h_{DCN/EM}$) a partir da diferença do NMM proveniente de modelos oceânicos (h_{MSS}) e o DCN (Z_0) obtida nas fichas F-41 (Equação 8). Uma estimativa do erro para esse tipo de ação pode ser visualizada a partir dos resultados da etapa de avaliação do comportamento dos MGOs de MSS com relação ao NMML. E com a comparação entre as altitudes elipsoidais do DCN calculados e os obtidos pela equação 8 conforme apresentado na TABELA 24.

$$h_{DCN/EM} = h_{MSS} - Z_0 \quad (8)$$

TABELA 24 – DIFERENÇAS ENTRE AS ALTITUDES ELIPSOIDAIS DO DCN CONTIDAS NA TABELA 21 E AQUELAS CALCULADAS CONFORME A EQUAÇÃO 8.

Trecho/ Modelo	CLS22 (m)	CLS15 (m)	SDUST (m)	DTU21 (m)	DTU18 (m)	DTU15 (m)	Média (m)	DP (m)
60380/2101-010	-0,102	-0,114	-0,049	0,091	0,094	0,052	-0,005	0,095
60265/1901-005	0,149	0,145	0,246	0,321	0,319	0,288	0,245	0,080
60246/1905-007	-0,194	-0,214	-0,004	0,090	0,081	0,288	0,008	0,190
60246/1905-002	-0,244	-0,264	-0,054	0,040	0,031	0,238	-0,042	0,190
60224/1809-006	-0,151	-0,174	-0,192	-0,251	-0,296	-0,031	-0,183	0,091
60225/1804-019	0,452	0,456	0,038	-0,004	-0,008	0,162	0,183	0,219
60225/1804-013	0,213	0,217	-0,201	-0,243	-0,247	-0,077	-0,056	0,219
Média	0,018	0,007	-0,031	0,006	-0,004	0,131	-	-
DP	0,258	0,269	0,152	0,201	0,211	0,151	-	-

FONTE: O autor (2024).

Em Oreiro, D’Onofrio e Fiore (2015) é observado que a discrepância entre os dados dos modelos de MSS e do NMM local na estação maregráficas é em torno de 30 cm e Filmer et al. (2024) observaram diferenças de 20 cm podendo chegar a 50 cm em algumas regiões. Nota-se que a TABELA 24 apresenta valores coerentes aos encontrados por esses autores em seus estudos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em busca de responder quais são os desafios e as perspectivas para vincular os *Data* verticais oceânicos a um referencial geodésico global esta tese se propôs a investigar alternativas para que estes vínculos ocorram no contexto brasileiro, especificamente, trabalhou-se com dados geodésicos e maregráficos do sul do Brasil contidos no BDG e no BNDO. Ressalta-se que todos os objetivos propostos foram atingidos.

A vinculação dos dados verticais oceânicos proposta considera a realidade nacional quanto à disponibilidade de dados geodésicos e maregráficos. O estudo explora as conexões existentes entre as estações e realiza o cálculo da vinculação utilizando modelos geodésicos e os níveis de referências das fichas F-41. Por fim, os resultados são avaliados e analisados em comparação com modelos globais oceânicos.

O inventário e a organização dos dados geodésicos e maregráficos apontaram a primeira dificuldade, considerando que havia algumas inconsistências nas fichas F-41 e F-21 do BNDO, além dos SGR obsoletos. O inventário permitiu a geração de um relatório que foi encaminhado a DHN. A compreensão de quais estações geodésicas estavam vinculadas as estações maregráficas foi uma tarefa morosa. Isso porque nas fichas F-41 são indicados os nomes das estações geodésicas e não seus códigos que são únicos e facilitariam a identificação. Por isso, recomenda-se a padronização da nomenclatura ou a inclusão da nomenclatura adotada pelo IBGE.

Apesar do esforço para identificar as conexões entre as estações geodésicas e maregráficas, apenas 5 estações maregráficas ($\approx 13\%$) do total de 39 estações maregráficas da região sul tiveram a sua vinculação ao referencial geocêntrico executada. E mesmo com a vinculação tendo ocorrido, nas duas estações maregráficas com redundância de soluções (60246 e 60225), notou-se uma discrepância significativa entre as soluções (≈ 8 cm e 24 cm). Esta discrepância pode estar associada a erros durante a aquisição e/ou processamento dos dados, indicando a necessidade de realizar novos levantamentos e processamentos dos dados nessas estações.

Tal discrepância indica a necessidade de um maior cuidado no rastreamento GNSS e no nivelamento geométrico no momento do estabelecimento da estação maregráfica. Além disso, para melhor padronização e sistematização de metodologias de

levantamentos em região costeira, recomenda-se que a DHN siga o conjunto de especificações para a Vinculação entre Estações Maregráficas para os nivelamentos do IBGE, seguindo a tolerância de pelo menos $3 \text{ mm } \sqrt{k}$. Intenta-se também sobre a necessidade de modelos geoidais precisos em zonas costeiras, devido à dificuldade do conhecimento do desnível geoidal entre a estação maregráfica e geodésica.

No contexto dos MGOs de MSS, a análise com os dados da RMPG mostrou uma certa complexidade no comportamento dos modelos na costa brasileira. A região norte do país, nem mesmo possui dados disponíveis para alguns dos modelos e muitas vezes apresentou diferenças superiores a outras regiões. O RMSE da comparação entre o NMML e o NMM do modelo de MSS considerando a região norte variou entre 0,163 m (SDUST2020) a 0,617 m (CLS22) e sem a região norte a variação foi de 0,131 m (DTU18) a 0,204 m (CLS15). Vale ressaltar que a região norte abriga o *Datum* vertical de Santana, no Amapá.

Ao investigar quais modelos possuem a melhor adequação ao NMM obtido localmente nas estações maregráficas da RMPG, em termos de amplitude das diferenças, o DTU18 apresenta os melhores resultados para três estações maregráficas (Macaé, Salvador, Fortaleza) e os modelos CLS22, DTU15, SDUST2020 e DTU21 apresentaram os melhores resultados para uma estação maregráfica cada (Imbituba, Arraial do Cabo, Belém e Santana, respectivamente).

A mesma comparação foi realizada para as cinco estações maregráficas que foram vinculadas ao referencial geocêntrico, e para elas, destaca-se que as diferenças apresentaram uma pequena amplitude para alguns modelos, como ocorreu na estação maregráfica 60380 na comparação com o modelo DTU21 (diferença de 0,049 m) e na estação maregráfica 60225 na comparação com o modelo DTU18 (diferença de 0,004 m).

Os estudos desses modelos de MSS são importantes porque eles são insumos para a integração de referenciais verticais em zonas costeiras, geração de modelos de separação entre o DCN e o elipsoide de revolução. Estes modelos podem contribuir para a vinculação a um referencial geodésico global nos casos das estações maregráficas que não possuem RNs com posição geocêntrica conhecida, conforme adotado em Oreiro, D'Onofrio e Fiore (2015).

No estudo realizado pelos autores na Argentina, os autores citam que o erro esperado para aplicação da metodologia pode chegar a 30 cm. E em muitas estações maregráficas brasileiras na comparação com os modelos de MSS a diferença

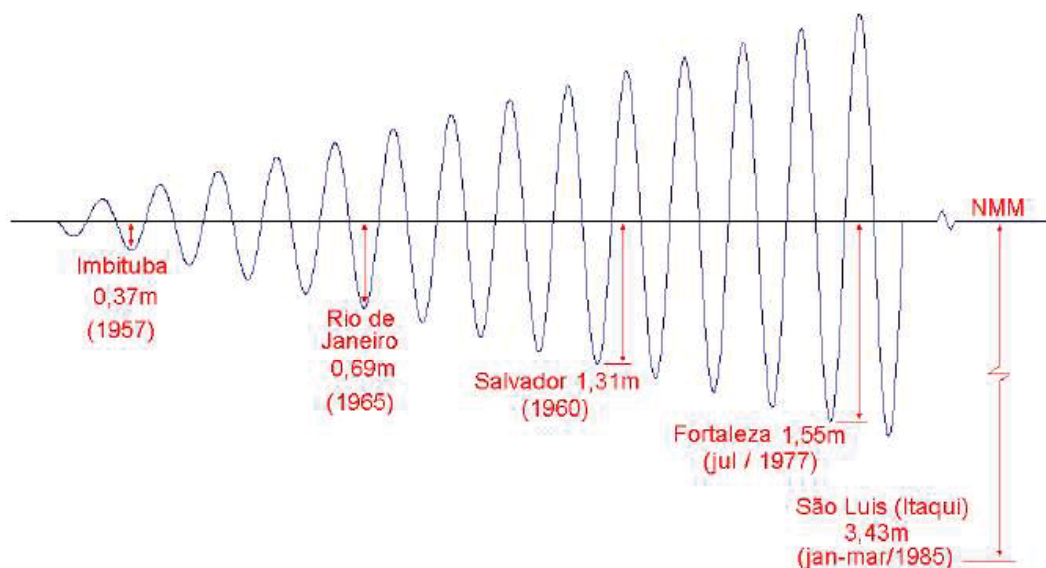
encontrada foi maior que 30 cm. Por outro lado, foram encontradas diferenças milimétricas (estação maregráfica de Imbituba comparada com as altitudes elipsoidais do modelo CLS21). Na Austrália, Filmer et al. (2024) avaliaram um conjunto de dados e modelos e promoveram a vinculação do DCN nacional com relação ao elipsoide de referência com uma acurácia de 20 cm, podendo chegar a 50 cm para algumas regiões.

Apesar dos desafios para a vinculação dos NMM e do DCN a um referencial geocêntrico, a ação foi executada nessa pesquisa. Resta a compreensão da incerteza para a execução dessa vinculação. O não conhecimento da precisão de todas as variáveis envolvidas no cálculo da altitude elipsoidal do NMM e do DCN impossibilita a propagação do erro e a estimativa de um erro esperado para as altitudes elipsoidais do NMM e do DCN. Recomenda-se que estudos futuros nesse sentido sejam realizados.

Por fim, é importante destacar que a construção dos diagramas das estações maregráficas com os níveis de referência apresentados com relação ao elipsoide GRS80 servirá como inspiração para as novas fichas F-41 do BNDO. Que atualmente apresentam seus níveis de referência com relação ao zero da régua.

Adicionalmente se faz mister destacar que ao longo da costa a amplitude de maré apresenta variações com relação ao NMM e por isso a importância de se estabelecer novas pesquisas que compreendam toda a costa para se possibilitar uma análise ampla do litoral brasileiro, principalmente na região ao norte do Brasil face as amplitudes de maré e os resultados das análises dos modelos de MSS. A FIGURA 31 apresenta um esquema de aumento progressivo da amplitude de maré ao longo do território o que corrobora com a afirmação acima.

FIGURA 34 – AMPLITUDE DE MARÉ.



FONTE: IBGE (2009).

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros recomenda-se:

- Levantamentos de campo para a obtenção das altitudes elipsoidais das RNs primárias das EMs contidas no BNDO para que possa ser possível a determinação da vinculação com relação ao elipsoide GRS80.
- Organização dos dados do BNDO como foi realizado no BDG pelo IBGE para melhor compreensão e facilidade na identificação de conexões entre as estações maregráficas e geodésicas.
- Estimativa de um referencial vertical oceânico único para a costa brasileira baseado em observações obtidas a partir de satélites altímetros e combinadas com observações maregráficas locais.
- Investigação da quantidade de população que vive nas zonas costeiras de baixa elevação no Brasil a partir de informações de censos demográficos do IBGE, e do impacto de variações do NMM nessa população com uso combinado de Modelos Digitais de Altitudes, MGGs e altitudes da RVRB.
- Realização de investigação similar ao longo de toda costa brasileira para a vinculação de estações maregráficas do BNDO a um referencial global.

- f) Realização de levantamentos aerogravimétricos na região costeira para promover a realização de cálculos de modelos geoidais mais precisos nessa região.
- g) Estudo da proximidade das trilhas dos satélites altímetros com relação as estações maregráficas e a influência para a melhor precisão da altitude do NMM do modelo de MSS.

REFERÊNCIAS

- ALBERTS, B. Towards a standardized European vertical datum for coastal mapping. In: EUREF 2016. San Sebastian. 25-27 May.2016.
- ALTAMIMI, Z.; REBISCHUNG, P.; COLLILIEUX, X.; MÉTIVIER, L.; CHANARD, K. ITRF2020: an augmented reference frame refining the modeling of nonlinear station motions. **Journal Of Geodesy**, [S.L.], v. 97, n. 5, p. 1-22, maio 2023. DOI. 10.1007/s00190-023-01738-w.
- AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY (AMS). **Glossary of Meteorology**: revised local reference. 2024. Disponível em: https://glossary.ametsoc.org/wiki/Revised_local_reference. Acesso em: 01 abril. 2024.
- ANDERSEN, O. B.; PICCIONI, G.; STENSENG, L.; KNUDSEN, P. The DTU15 MSS (Mean Sea Surface) and DTU15LAT (Lowest Astronomical Tide) reference surface. In: ESA LIVING PLANET SYMPOSIUM. Praga, CZ. Maio de 2016. Disponível em: <https://ftp.space.dtu.dk/pub/DTU15/DOCUMENTS/MSS/DTU15MSS+LAT.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2023.
- ANDERSEN, O. B.; ROSE, S. K.; ABULAITIJANG, A.; ZHANG, S.; FLEURY, S. The DTU21 Global Mean Sea Surface and First Evaluation. **Earth System Science Data**. 13 set. 2023. DOI. 10.5194/essd-15-4065-2023
- ANDERSEN, O. B.; ROSE, S. K.; KNUDSEN, P.; STENSENG, L. The DTU18 MSS Mean Sea Surface improvement from SAR altimetry. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GRAVITY, GEOID AND HEIGHT SYSTEMS – GRAVITY FIELD OF THE EARTH. Copenhagen, Denmark. September 12 - 21, 2018.
- AVISO+. **Satellite Altimetry Data**. 2023. Disponível em: <https://www.aviso.altimetry.fr/en/home.html>. Acesso em: 22 jul. 2023.
- AZKUE, M. F.; D'ONOFRIO, E. E.; BANEGAS, L. Development of an empirical chart datum model for a region of the Southwest Atlantic Ocean. **Ocean And Coastal Research**, [S.L.], v. 69, p. 1-11, 2021. DOI. 10.1590/2675-2824069.21-028mfda.
- BLEWITT, G.; ALTAMIMI, Z.; DAVIS, J.; GROSS, R.; KUO, C-Y.; LEMOINE, F. G.; MOORE, A.W.; NEILAN, R. E.; PLAG, H-P, ROTHACHER, M.,; SHUM, C. K.; SIDERIS, M. G.; SCHÖNE, T.; TREGONING, P.; ZERBINI, S. Geodetic observations and global reference frame contributions to understanding sea-level rise and variability. In: CHURCH, J. A.; WOODWORTH, P. L.; AARUP, T.; WILSON, W.S. (eds). **Understanding sea-level rise and variability**. Wiley, London, 2010. pp 256–284
- BLITZKOW, D.; MATOS, A. C. O. C.; MACHADO, W. C.; NUNES, M. A.; LENG RUBER, N. V.; XAVIER, E. M. L.; FORTES, L. P. S. MAPGEO2015: o novo modelo de ondulação geoidal do brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S.L.], v. 68, n. 10, p. 1873-1884, 19 dez. 2016. DOI. 10.14393/rbcv68n10-44289.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Resolução 1, de 24 de fevereiro de 2015. Define a data de término do período de transição definido na RPR 01/2005 e dá outras providências sobre a transformação entre os referenciais geodésicos adotados no Brasil, Rio de Janeiro, RJ, 24 fev. de 2015. Disponível em: https://geofp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/rpr_01_2015_sirgas2000.pdf. Acesso em: 22 jul. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Portaria nº 76, de 26 de março de 2018. Programa Nacional para Conservação da Linha de Costa. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 28 mar. de 2018.

CARRIÓN, J. L. S. **Vínculo do Datum Vertical Equatoriano ao International Height Reference system - IHRS**. 2017. 268 f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

CENTRO DE HIDROGRAFIA DA MARINHA (CHM). **Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO)**. 2023. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/chm/bndo>. Acesso em: 22 jul. 2023.

DALAZOANA, R.; DE FREITAS, S. R. C. Sistemas Geodésicos de Referência: rumo ao GGRS/GGRF. **Revista Brasileira de Cartografia**, Uberlândia, v. 72, p. 962-982, 30 dez. 2020. DOI. 10.14393/rbcv72nespecial50anos-56601.

DANMARKS TEKNISKE UNIVERSITET (DTU). **DTU Space**. 2023. Disponível em: https://www.space.dtu.dk/english/research/scientific_data_and_models. Acesso em: 22 jul. 2023.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO (DHN). **NORMAM-501**: Normas da autoridade marítima para levantamentos hidrográficos. 2023. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/dhn/sites/www.marinha.mil.br.dhn/files/normam/NORMA-M-501.pdf>. Acesso em: 01 maio. 2024.

DREWES, H. The Changing Objectives in Geodetic Research. **Zeitschrift Für Geodäsie: Information und Landmanagement**, [s.l.], v. 131, n. 5, p.1-7, maio 2006.

FALCONE, M.; HAHN, J.; BURGER, T. Galileo. In: TEUNISSEN, P. J. G.; MONTENBRUCK, O. **Springer Handbook of Global Navigation satellite Systems**. [s.l.]: Springer, 2017. p. 247-271.

FARZANEH, S.; PARVAZI, K. Noise Analysis of Satellites Altimetry Observations for Improving Chart Datum within the Persian Gulf and Oman Sea. **Annals Of Geophysics**, [S.L.], v. 61, n. 612018, p. 1-19, 19 dez. 2018. DOI.4401/ag-7610.

FARR, T. G.; ROSEN, P. A.; CARO, E.; CRIPPEN, R.; DUREN, R.; HENSLEY, S.; KOBRICK, M.; PALLER, M.; RODRIGUEZ, E.; ROTH, L. The Shuttle Radar Topography Mission. **Reviews Of Geophysics**, [S.L.], v. 45, n. 2, p. 1-33, 19 maio 2007. DOI. 10.1029/2005rg000183.

FILMER, M. S.; JOHNSTON, P. J.; JAYASWAL, Z.; TAYLOR, A.; CHITTLEBOROUGH, J.; CLAESSENS, S. J.; SEIFI, F.; KUHN, M.; MCCUBBINE, J.; ENTEL, M.. Connecting Land and Sea Vertical Datums: a data evaluation for developing australia's AUSHYDROID model. **Marine Geodesy**, [S.L.], v. 47, n. 3, p. 183-213, 18 mar. 2024. DOI. 10.1080/01490419.2024.2305898.

FILMER, M. S.; HUGHES, C. W.; WOODWORTH, P. L.; FEATHERSTONE, W. E.; BINGHAM, R. J. Comparison between geodetic and oceanographic approaches to estimate mean dynamic topography for vertical datum unification: evaluation at australian tide gauges. **Journal Of Geodesy**, [S.L.], v. 92, n. 12, p. 1413-1437, 2 abr. 2018. DOI. 10.1007/s00190-018-1131-5.

FÖRSTE, C.; BRUINSMA, S. L.; ABRIKOSOV, O.; LEMOINE, J-M.; MARTY, J.; CHARLES, F. FRANK, B. BARTHELMES, F.; BIANCALE, R. EIGEN-6C4 The latest combined global gravity field model including GOCE data up to degree and order 2190 of GFZ Potsdam and GRGS Toulouse. **GFZ Data Services**, DOI: 10.5880/ICGEM.2015.1, 2014.

GIEHL, S.; DALAZOANA, R. Panorama Geral das Técnicas de Observação do Nível do Mar para propósitos Geodésicos. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S.L.], v. 74, n. 2, p. 266-289, 30 maio 2022. DOI. 10.14393/rbcv74n2-59409.

GLOBAL POSITIONING SYSTEM (GPS). **Other Global Navigation Satellite Systems (GNSS)**. 2021. Disponível em: <https://www.gps.gov/systems/gnss/>. Acesso em: 07 jul. 2023.

GONZÁLEZ ACUÑA, J.; ARROYO SUAREZ, E. N. **Comparative methodologies for sounding reduction applied to a bathymetric survey referenced to the WGS84 ellipsoid , executed in Concepcion Bay and Gulf of Arauco**, VIII region, Chile. 2013. Disponível em: <<https://www.yumpu.com/en/document/view/15374601/comparative-methodologies-for-sounding-reduction-applied-to-a->>. Acesso em: 24 jul. 2020.

GOVERNMENT OF NEW SOUTH WALES (NSW). **Climate change impacts on sea level rise**. Disponível em: [https://www.climatechange.environment.nsw.gov.au/sea-level-rise#:~:text=The%20impacts%20of%20sea%20level,move%20further%20inland\)%20and%20erode](https://www.climatechange.environment.nsw.gov.au/sea-level-rise#:~:text=The%20impacts%20of%20sea%20level,move%20further%20inland)%20and%20erode). Acesso em: 07 jul. 2023.

GRUBER, T.; ZINGERLE, P.; PAIL, R.; OIKONOMIDOU, X. High resolution Gravity Field Models as Global Reference Surface for Heights. In: SIRGAS 2019. Rio de Janeiro, Brasil. Novembro, 2019. Disponível em: http://www.ggos.org/media/filer_public/d2/46/d246575b-370a-4a01-8b00-9b0c675fb498/ggosdays2019_day1_16_gruber-highresolutiongravityfield.pdf. Acesso em: 22 jul. 2023.

GUIMARÃES, G. N.; BLITZKOW, D.; MATOS, A. C. O. C.; SILVA, V. C.; INOUE, M. E. B. O Estabelecimento do IHRF no Brasil: situação atual e perspectivas futuras. **Revista Brasileira de Cartografia**, Uberlândia, v. 74, n. 3, p. 651-670, 5 set. 2022. DOI. 10.14393/rbcv74n3-64949.

GUIMARÃES, G. N.; MATOS, A. C. O. C.; BLITZKOW, D. Connecting the Local Vertical Data in South America to the IHRF. **Surveys in Geophysics**, preprint, 2024.

HEGARTY, C. J. The Global Positioning System (GPS). In: TEUNISSEN, P. J. G.; MONTENBRUCK, O. **Springer Handbook of Global Navigation satellite Systems**. [s.l.]: Springer, 2017. p. 197-217.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Monitoramento da Variação do Nível Médio do Mar nas Estações da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia 2001-2020**. Rio de Janeiro. 2021. Relatório Técnico. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101890.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Esclarecimento sobre a relação entre o Datum Vertical do SGB (Imbituba e Santana) e os Níveis de Redução e “Zeros” Hidrográficos no Litoral Brasileiro**. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/metodos-e-outros-documentos-de-referencia/outros-documentos-tecnicos-geo/16393-esclarecimento-sobre-a-relacao-entre-o-datum-vertical-do-sgb-imbituba-e-santana-e-os-niveis-de-reducao-e-zeros-hidrograficos-no-litoral-brasileiro.html?=&t=destaques>. Acesso em: 24 abril. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Modelo hgeoHNOR2020 para Conversão de Altitudes Geométricas em Altitudes Normais**. Rio de Janeiro. 2023. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv102048.pdf>. Acesso em: 01 abril. 2024.

INTERGOVERNMENTAL COMMITTEE ON SURVEYING AND MAPPING (ICSM). Australian Vertical Working Surface. Austrália. 2024. Disponível em: <<http://www.icsm.gov.au/australian-vertical-working-surface>>. Acesso em: 19 jun. 2024.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Cambridge, UK e New York, NY, USA: Cambridge University Press. 2022a. 3056 pp. Relatório Técnico. DOI. 10.1017/9781009325844.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate**. Cambridge, UK e New York, NY, USA: Cambridge University Press. 2022b. 755 pp. Relatório Técnico. DOI: 10.1017/9781009157964.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF GEODESY (IAG). **Description of the Global Geodetic Reference Frame**. 2024. Disponível em: <https://www.iag-aig.org/topic/3>. Acesso em: 30 abril. 2024.

INTERNATIONAL CENTRE FOR GLOBAL EARTH MODELS (ICGEM). **Modelos Estáticos**. 2023. Disponível em: http://icgem.gfz-potsdam.de/tom_longtime. Acesso em: 22 jul. 2023.

INTERNATIONAL EARTH ROTATION AND REFERENCE SYSTEMS SERVICE (IERS). **IERS Conventions**. 2010. Disponível em: < <http://iers-conventions.obspm.fr/content/chapter1/icc1.pdf> >. Acesso em: 04 maio. 2024.

KE, HAO; LI, FEI; AI, SONGTAO; LEI, JINTAO; WANG, ZEMIN; ZHANG, SHENGKAI. Establishment of Chart Datum and Vertical Datum Transformation for Hydrography in the Chinese Great Wall Bay, Antarctic Peninsula. **Journal Of Surveying Engineering**, [s.l.], v. 146, n. 2, p. 1-13, maio 2020. DOI. 10.1061/(asce)su.1943-5428.0000312.

KOGURE, S.; GANESHAN, A. S.; MONTENBRUCK, O. Reginal Systems. In: TEUNISSEN, P. J. G.; MONTENBRUCK, O. **Springer Handbook of Global Navigation satellite Systems**. [s.l.]: Springer, 2017. p. 305-334.

KVAS, A.; MAYER-GÜRR, T.; KRAUSS, S.; BROCKMANN, J. M.; SCHUBERT, T.; SCHUH, W-D.; PAIL, R.; GRUBER, T.; JÄGGI, A.; MEYER, U. The satellite-only gravity field model GOCO06s, **GFZ Data Services**. DOI. 10.5880/ICGEM.2019.002. 2019. Disponível em: <<http://dataservices.gfz-potsdam.de/icgem/showshort.php?id=escidoc:4081892>>. Acesso em: 22 jul. 2023.

MENEZES, R. R. V.; SOUZA, L. M.; FERREIRA, Í. O. Níveis de Referência Hidrográfico: uma abordagem descritiva. **Revista Brasileira de Cartografia**, Uberlândia, v. 73, n. 3, p. 827-841, 8 jul. 2021. DOI. 10.14393/rbcv73n3-56990.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Programa Nacional para Conservação da Linha de Costa – PROCOSTA**. Brasília, 2018. 36 p. Relatório Técnico. ISBN: 978-85-7738-362-7. Disponível em: https://antigo.mma.gov.br/images/arquivos/gestao_territorial/Procosta/PROCOSTA-versao_digital.pdf. Acesso em: 08 jul. 2023.

MÜLLER, J.; PAIL, R. Geodesy 2030. **Zeitschrift Für Geodäsie, Geoinformation Und Landmanagement**, [S.L.], p. 1-12, 2022. DOI. 10.12902/zfv-0392-2022.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **65 Years Ago: Sputnik Ushers in the Space Age**. 2022. Disponível em: <https://www.nasa.gov/feature/65-years-ago-sputnik-ushers-in-the-space-age>. Acesso em: 07 jul. 2023.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). **Vertical Datum Transformation Integrating America's Elevation Data**. 2024. Disponível em:< <https://vdatum.noaa.gov/welcome.html>>. Acesso em: 19 jun. 2024.

NEILL, S. P.; HASHEMI, M. R. In Situ and Remote Methods for Resource Characterization. **Fundamentals Of Ocean Renewable Energy**, [S.L.], p. 157-191, 2018. DOI. 10.1016/b978-0-12-810448-4.00007-0.

NEUMANN, B.; VAFEIDIS, A. T.; ZIMMERMANN, NICHOLLS, R. J. Future Coastal Population Growth and Exposure to Sea-Level Rise and Coastal Flooding - A Global Assessment. **Plos One**, [S.l.], v. 10, n. 3, p.1-34, 11 mar. 2015. DOI. 10.1371/journal.pone.0118571.

NICACIO, E. L. DALAZOANA, R. Passado e Presente dos Modelos Globais do Geopotencial: Uma abordagem Conceitual sobre sua evolução. **Revista Eletrônica Multidisciplinar – FACEAR**, [S.l.], v. 2, n. 6, p. 1-15, 2017.

NICACIO, E.; DALAZOANA, R.; DE FREITAS, S. R. C. de. Evaluation of recent combined global geopotential models in Brazil. **Journal Of Geodetic Science**, [s.l.], v. 8, n. 1, p.72-82, 1 jul. 2018. DOI. 10.1515/jogs-2018-0008.

OLIVEIRA JUNIOR, A. M.; ARROYO, E. N. S.; RAMOS, A. M.; ARENTZ, M. F. R. Seabed Mapping on an Earth Centered Earth Fixed (ECEF) Geocentric Reference Frame. Cooperative Validation with US Navy and Brazilian Navy in Guanabara Bay, Rio de Janeiro. In: ION GNSS 2010 CONFERENCE. Portland OR USA. September 21 - 24, 2010.

O'REILLY, C., S. PARSONS, AND D. LANGELIER. A seamless vertical reference surface for hydrographic data acquisition and information management. In: Canadian Hydrographic Conf., 1996. Ottawa: Canadian Hydrographic Association. 1996. P. 26–33.

OCEAN DECADE. **Vision and Mission: Achieving the ocean we want by 2030**. Disponível em: <https://oceandecade.org/vision-mission/>. Acesso em: 07 jul. 2023.

OREIRO, F.; D'ONOFRIO, E.; FIORE, M. Vinculación de Las Referencias Altimétricas de Las Cartas Náuticas Con El Elipsoide WGS84 para El Río de La Plata. **GEOACTA**, [s.l.], v. 40, n. 2, p. 109-120, 2015. ISSN 1852-7744.

PAVLIS, N. K.; HOLMES, S. A.; KENYON, S. C.; FACTOR, J. K. The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008). **Journal of Geophysical Research**, v. 117, n. B04406, p. 1–38, 2012. DOI. 10.1029/2011JB008916.

PINEAU-GUILLOU, L.; DORST, L. Creation of Vertical Reference Surfaces at Sea Using Altimetry and GPS. In: ALTAMIMI, Z.; COLLILIEUX, X. **Reference Frames for Applications in Geosciences**. v. 138, 2012. p.229-235. DOI. 10.1007/978-3-642-32998-2.

PUJOL, M. I.; SCHAEFFER, P.; FAUGÈRE, Y.; RAYNAL, M.; DIBARBOURE, G.; PICOT, N.. Gauging the Improvement of Recent Mean Sea Surface Models: a new approach for identifying and quantifying their errors. **Journal Of Geophysical Research: Oceans**, [S.L.], v. 123, n. 8, p. 5889-5911, ago. 2018. DOI. 10.1029/2017jc013503.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System 3.28.15**. Open Source Geospatial Foundation Project. 2023. Disponível em: https://qgis.org/pt_BR/site/. Acesso em: 23 jul. 2023.

RENGANATHAN, V. **Arctic sea ice freeboard heights from satellite altimetry**. 2010. 216 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Departamento de Engenharia Geomática, Schulick Escola de Engenharia, Calgary, 2010.

REVNIVYKH, S. GLONASS. In: TEUNISSEN, P. J. G.; MONTENBRUCK, O. **Springer Handbook of Global Navigation satellite Systems**. [s.l.]: Springer, 2017. p. 219-243.

RIO, M. H. **GOCE User Toolbox (GUT)**: GUT Implementation and Supporting Scientific Studies. ESA, 3 de abril de 2009. 62 p. Disponível em: https://earth.esa.int/documents/10174/15547/GUT_Tutorial.pdf/f1c3df3c-d16b-4fdf-8871-185757f5fb63;jsessionid=B4FD19223347A6B828F06E01F3B4462F.eodisp-prod4040?version=1.0. Acesso em: 04 maio. 2024.

SAMPAIO, A. C. F.; SAMPAIO, A. Á. M. Datum Córrego Alegre: O Estado da Arte de sua Existência ou Não. **Revista Brasileira de Cartografia**, Uberlândia, v. 67, n. 8, p. 1705-1713, dez. 2015.

SANCHÉZ, L.; CUNDERLÍK, R.; DAYOUB, N.; MIKULA, K.; MINARECHOVÁ, Z.; SÍMA, Z.; VATRT, V. VOJTÍSKOVÁ, M. A conventional value for the geoid reference potential W_0 . **Journal Of Geodesy**, [s.l.], v. 90, n. 9, p.815-835, 23 maio 2016. DOI. 10.1007/s00190-016-0913-x.

SANTANA, F. R.; KRUEGER, C. P.; SANTANA, T. A.; NASCIMENTO, G. A. G.; OLIVEIRA JUNIOR, A. M. Cartas Náuticas com Modelos SEP: evolução histórica, e perspectivas para hidrografia brasileira. **Revista Brasileira de Cartografia**, Uberlândia, v. 72, p. 1299-1328, 30 dez. 2020. DOI. 10.14393/rbcv72nespecial50anos-56616.

SANTANA, T. A.; DALAZOANA, R. Analysis of vertical reference levels in the brazilian coast: comparing local and global approaches. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 28, n. 3, p. 1-17, 2022. DOI. 10.1590/s1982-21702022000300012.

SANTANA, T. A.; DALAZOANA, R. Discussões e impactos acerca da adoção de referencial vertical oceânico unificado. In: SIMPÓSIO SIRGAS, 2019, Rio De Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019. p. 1-12. Disponível em: https://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol24/86_Santana_Dalazoana_2019_limpactos_ref_vert_oce.pdf. Acesso em: 22 jul. 2023.

SANTANA, T. A.; DALAZOANA, R. Integração dos Referenciais Verticais Terrestre e Oceânico: conceitos relacionados, projetos desenvolvidos e desafios. **Revista Brasileira de Cartografia**, Uberlândia, v. 72, n. 2, p. 345-364, 22 jun. 2020. DOI. 10.14393/rbcv72n2-52611.

SANTANA, T. A.; SOARES, J. G.; GIEHL, S.; DALAZOANA, R. Avaliação de modelos globais do geopotencial em zonas costeiras do Brasil. **Revista Brasileira de**

Geomática, Curitiba, v. 10, n. 4, p. 295-314, 2022. DOI. 10.3895/rbgeo.v10n4.15503.c

SCHAEFFER, P.; PUJOL, M. I.; VEILLARD, P.; FAUGERE, Y.; DAGNEAUX, Q.; DIBARBOURE, G.; PICOT, N. The CNES CLS 2022 Mean Sea Surface: short wavelength improvements from cryosat-2 and saral/altika high-sampled altimeter data. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 15, n. 11, p. 2910, 2 jun. 2023. DOI. 10.3390/rs15112910.

SISTEMA DE REFERÊNCIA GEODÉSICO PARA AS AMÉRICAS (SIRGAS). **Definição SIRGAS**. 2023b. Disponível em: <https://www.sirgas.org/pt/sirgas-definition/>. Acesso em: 22 jul. 2023.

SISTEMA DE REFERÊNCIA GEODÉSICO PARA AS AMÉRICAS (SIRGAS). **Missões e Objetivos**. 2023a. Disponível em: <https://sirgas.ipgh.org/pt/organizacao/missao-e-objetivos/>. Acesso em: 22 jul. 2023.

SLOBBE, D. C.; KLEES, R. **Establishing a consistent vertical reference frame for the North Sea area**. Relatório. ago. 2012. Disponível em: <http://archive.northsearegion.eu/files/repository/20150107091528_BLASTReport-EstablishingaconsistentverticalreferenceframefortheNorthSeaarea.pdf >. Acesso em: 19 jun. 2024.

SOARES, S.; SANTOS, E.G; LUZ, R. T.; DA SILVA, A. L. Procedimentos para o Controle Geodésico de Estações Maregráficas (CGEM) Aplicados à Rede Maregráfica Permanente Para Geodésia (RMPG). *In*: X Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, 2018, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2018. p. 1-2.

SOARES, S.; SANTOS, E.G; SIQUEIRA, J.C.S; LIMA, M.K; LUZ, R.T. Rede Geodésica de Referência Costeira: Ações Preliminares para Integração de Altitudes e Profundidades. *In*: XIII Simpósio sobre Ondas, Marés, Engenharia Oceânica e Oceanografia por Satélite, 2019, Arraial do Cabo. **Anais...** Arraial do Cabo: Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira, 2019. p. 1-4.

TENZER, R.; VATRT, V.; ABDALLA, A.; DAYOUB, N. Assessment of the LVD offsets for the normal-orthometric heights and different permanent tide systems—a case study of New Zealand. **Applied Geomatics**, [s.l.], v. 3, n. 1, p.1-8, 7 dez. 2010. DOI. 1007/s12518-010-0038-5.

TURNER, J. F.; ILIFFE, J. C.; ZIEBART, M. K. WILSON, C.; HORSBURGH, J. Interpolation of Tidal Levels in the Coastal Zone for the Creation of a Hydrographic Datum. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, [s.l.], v. 27, n. 3, p.605-613, mar. 2010. DOI. 10.1175/2009jtecho645.1.

UNITED NATIONS COMMITTEE OF EXPERTS ON GLOBAL GEOSPATIAL INFORMATION MANAGEMENT (UN-GGIM). **UN-GGIM Knowledge Base**. 2024. Disponível em: <https://ggim.un.org/knowledgebase/knowledgebasecategory37.aspx>. Acesso em: 30 abril. 2024.

UNITED NATIONS COMMITTEE OF EXPERTS ON GLOBAL GEOSPATIAL INFORMATION MANAGEMENT (UN-GGIM). **The Global Fundamental Geospatial Data Themes**. 2019. Disponível em: https://ggim.un.org/meetings/GGIM-committee/9th-Session/documents/Fundamental_Data_Publication.pdf. Acesso em: 10 jun. 2024.

VITTE, A. C. O litoral brasileiro: a valorização do espaço e os riscos socioambientais. **Territorium-Revista de Geografia Física aplicada no reordenamento do território e gestão de recursos naturais**, [s.l.], v. 10, p.61-67, 2003.

WOODWORTH, P.; WÖPPELMANN, G.; MARCOS, M.; GRAVELLE, M.; BINGLEY, R. Why We Must Tie Satellite Positioning to Tide Gauge Data. **Eos**, [s.l.], n. 98, p. 1-3, 3 jan. 2017. DOI. 10.1029/2017eo064037.

WOODWORTH, P.L.; HUGHES, C.W.; BINGHAM, R.J.; GRUBER, T. Towards worldwide height system unification using ocean information. **Journal Of Geodetic Science**, [S.L.], v. 2, n. 4, p. 302-318, 1 dez. 2012. DOI. 10.2478/v10156-012-0004-8.

YANG, Y.; TANG, J.; MONTENBRUCK, O. Chinese Navigation Satellite Systems. In: TEUNISSEN, P. J. G.; MONTENBRUCK, O. **Springer Handbook of Global Navigation satellite Systems**. [s.l.]: Springer, 2017. p. 273-301.

YUAN, J.; GUO, J.; ZHU, C.; LI, Z.; LIU, X.; GAO, J. SDUST20202020 MSS: a global 1'×1' mean sea surface model determined from multi-satellite altimetry data. **Earth System Science Data**, [S.L.], v. 15, n. 1, p. 155-169, 9 jan. 2023. DOI. 10.5194/essd-15-155-2023.

ZINGERLE, P.; PAIL, R.; GRUBER, T.; OIKONOMIDOU, X. The combined global gravity field model XGM2019e. **Journal Of Geodesy**, [S.L.], v. 94, n. 7, p. 1-12, jul. 2020. DOI. 10.1007/s00190-020-01398-0.

APÊNDICE A – RELATÓRIO DE INCONSISTÊNCIA DOS DADOS DO BANCO NACIONAL DE DADOS OCEANOGRÁFICOS (BNDO)

Resumo

O relatório em questão descreve algumas questões relacionadas à precisão dos dados coletados pelas estações maregráficas e estações geodésicas do Banco Nacional de Dados Oceanográficos. Foi observado na investigação algumas inconsistências nos dados coletados, o que pode afetar a confiabilidade destas informações.

Estações Maregráficas (F-41)

Rio Grande do Sul

1. Estação Torres (60311): Esta estação está localizada no Rio Grande do Sul, porém, de acordo com o arquivo KMZ disponibilizado pela Marinha do Brasil, encontra-se no território de Santa Catarina. Sugerimos que a localização da estação seja corrigida para garantir a precisão dos dados coletados.

Santa Catarina

1. Estação Ilha Anhatomirim (60244): Esta estação está presente no arquivo KMZ, mas não consta na tabela do site da Marinha do Brasil e nem nos arquivos das fichas das estações. Sugerimos que a estação seja incluída nas informações disponibilizadas no site, juntamente com a respectiva ficha, para garantir que os dados coletados sejam acessados.

2. Estação Molhe Sul de Laguna (60263): Assim como a estação anterior, esta estação está presente somente no arquivo KMZ, mas não consta no site, na guia de Estações Maregráficas. Sugerimos que esta estação também seja incluída nas informações disponibilizadas no site.

Paraná

1. Estação Ilha das Peças (60146): na tabela que se encontra no site da Marinha, na guia Estações Maregráficas, a longitude está com o “E” no fim, o que indica que é uma coordenada que está à leste do Meridiano de Greenwich, porém,

sabemos que o território brasileiro inteiro se encontra à Oeste, logo, acreditamos que o correto seria “W”, assim como todas as outras estações.

Estações Geodésicas (F-21)

Rio Grande do Sul

Nenhum problema encontrado nas estações geodésicas.

Santa Catarina

Foram encontradas 5 estações com informações incorretas e/ou inexistentes.

São elas:

1. MT CABEÇUDAS (1801-009) - Não se tem o método de rastreio registrado na ficha. Consta apenas “SIRGAS”, que é um Sistema Geodésico de Referência (SGR) e não um método de rastreio.
2. FTE LAJE DO FUNDÃO (1804-012) - Não possui arquivo da ficha.
3. RN-3 DA CPSC (1905-006) – Na ficha consta a precisão, mas não o valor da Altitude Elipsoidal.
4. FAR NAUFRAGADOS (1906-001) - A data da última inspeção é mais antiga (21/08/1973) do que a data de criação (01/05/1985).
5. FAR SANTA MARTA (1909-002) - A data da última inspeção também é mais antiga (21/08/1973) do que a data de criação (01/05/1985).

Paraná

Foi encontrada apenas uma estação com dados incompletos:

1. RN-1 PORTO PARANAGUÁ (1822-018) – Não consta o método de rastreio correto, apenas está escrito “SIRGAS”, que, como dito na estação MT CABEÇUDAS (1801-009), é um SGR e não um método de obtenção.

Conclusão

O objetivo do presente relatório é identificar informações sobre as condições das estações geodésicas e maregráficas nos estados do Rio Grande do Sul, Santa

Catarina e Paraná, constatando eventuais problemas que possam afetar a completude e segurança dos dados coletados.

Cumpramos ressaltar que o intuito é exclusivamente a melhoria na precisão e segurança dos dados coletados por meio das estações em questão, sem qualquer interesse em prejudicar as instituições ou pessoas envolvidas.

A análise criteriosa dos dados, a identificação de problemas e a apresentação de sugestões para solucioná-los têm como objetivo principal promover a qualidade dos serviços prestados e, conseqüentemente, aumentar a confiabilidade das informações obtidas.

APÊNDICE B – METADADOS DAS INFORMAÇÕES DO BNDO ESPACIALIZADAS NO QGIS.

Descrições das variáveis das estações geodésicas (QUADRO 6) e maregráficas (QUADRO 7) do BNDO para fins de informação ao acessar o sistema online (https://qgiscloud.com/tulioalvessantana/Projeto_de_pesquisa_-_Doutorado/).

QUADRO 6 – VARIÁVEIS E DESCRIÇÕES DAS ESTAÇÕES GEODÉSICAS DO BNDO.

VARIÁVEIS	DESCRIÇÃO
Estado	Unidade federativa
Nome	Nome da estação
Carta	Carta
Codigo	Código da estação
Data_Defin	Data Definição
Data_Inspe	Data ÚLTIMA Inspeção
Latitude	Latitude geodésica (em graus decimais)
Longitude	Longitude geodésica (em graus decimais)
Altitude_E	Altitude Elipsoidal (em m)
sigmalat	Precisão da latitude
sigmalong	Precisão da longitude
sigmaalt	Precisão da altitude
Metodo	Método de coleta dos dados
Datum	Sistema Geodésico de Referência

QUADRO 7 – VARIÁVEIS E DESCRIÇÕES DAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DO BNDO.

VARIÁVEIS	DESCRIÇÃO
Estado	Unidade federativa
Latitude	Latitude geodésica (em graus decimais)
Longitude	Longitude geodésica (em graus decimais)
Num_Esta	Número da estação
Nome_da_es	Nome da estação
NR_RN_Pr	Separação entre o NR e a RN primária (em cm)
Zero_NR	Separação entre o zero do sensor ou da régua e o NR (em cm)
NR_NMM_	Separação entre o NR e o NMM (Z0) (em cm)
NMM_RN	Separação entre o NMM e a RN Primária (Altitude) (em cm)
Zero_NM	Separação entre o zero do sensor ou da régua e o NMM (S0) (em cm)
Zero_RN	Separação entre o zero do sensor ou da régua e a RN Primária (em cm)
RN_Prim_	Separação entre a RN Primária e a RN secundária 1 (em cm)
RN_Prim_1	Separação entre a RN Primária e a RN secundária 2 (em cm)
RN_Prim_2	Separação entre a RN Primária e a RN secundária 3 (em cm)
RN_Prim_3	Separação entre a RN Primária e a RN secundária 4 (em cm)
RN_Prim_4	Separação entre a RN Primária e a RN secundária 5 (em cm)
RN_Prim_5	Separação entre a RN Primária e a RN secundária 6 (em cm)
RN_Prim_6	Separação entre a RN Primária e a RN secundária 7 (em cm)
RN_Prim_7	Separação entre a RN Primária e a RN secundária 8 (em cm)
RNs_conect	RNs conectadas aos Níveis de referência da ficha F-41
Ano_de_def	Ano de definição dos Níveis de referência
Inicio_da	Início da coleta dos dados
Fim_da_col	Fim da coleta dos dados
Quantidade	Quantidade de dias de observação
Tipo_de_Ma	Tipo de Marégrafo

ANEXO A – FICHA DE DESCRIÇÃO DE ESTAÇÃO (F-21) – ESTAÇÃO GEODÉSICA

	F-21	DESCRIÇÃO DE ESTAÇÃO	F-21-2109-002/2006 Padrão
Rede: PRINCIPAL		Carta: 2109	Estado: RS
Estação: MT ARACRUZ		Marco-Testemunho nº 74005	Data: 21/09/2006
MÉTODO DE OBTENÇÃO: Rastreio Satélite			Estação inspecionada em: 21/09/2006

Coordenadas Geográficas	Precisão	Coordenadas UTM
Lat.: 30° 08' 03,0986" S	0,009 m	N: 6666302,823 m
Long.: 051° 18' 54,1832" W	0,032 m	E: 469654,96 m
Alt. Elip.: 83,296 m	0,0198 m	MC: -51
Alt. Ortom.:		
Alt. Hidrog.:		
Datum: SIRGAS		

ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA		
Nome:	Precisão	
PORTO ALEGRE (RBMC)		
Lat.: 30° 04' 26,5527" S	0,001 m	
Long.: 051° 07' 11,1532" W	0,002 m	
Alt. Elip.: 76,75 m	0,002 m	
Datum: SIRGAS		
Nome:	Precisão	
Lat.:		
Long.:		
Alt. Elip.:		
Datum:		

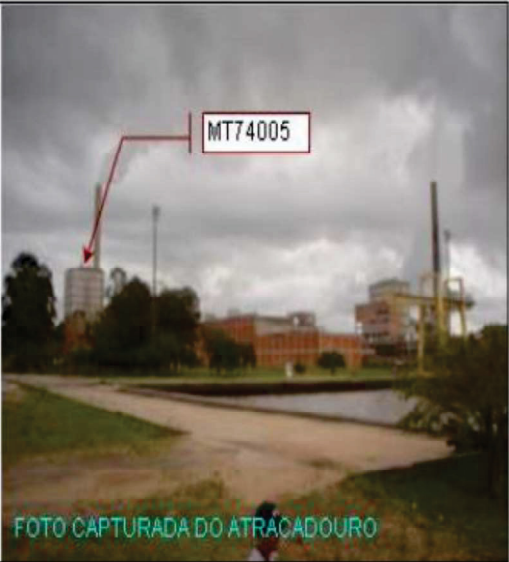


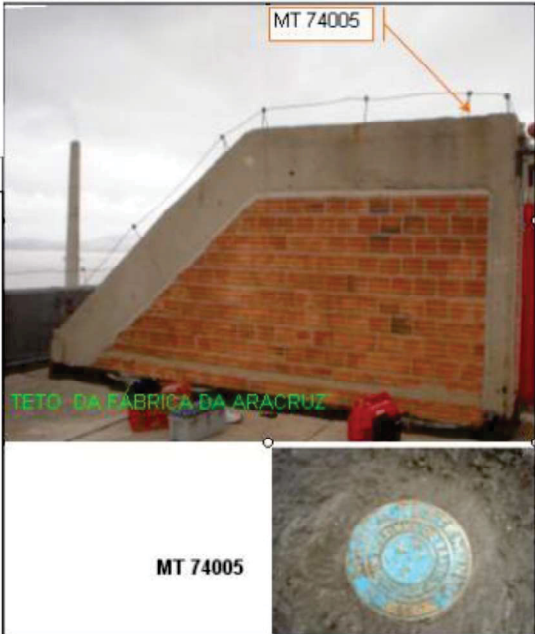
FOTO CAPTURADA DO ATRACADOURO

Itinerário / Observações

O MT padrão DHN nº 74005, encontra-se situado no Complexo Industrial da Aracruz Celulose S.A., localizado na Ponta da Alegria, tendo como endereço a Rua São Geraldo 1800 – Gualba – RS, fixado no terraço do prédio onde funciona a caldeira de recuperação do complexo, sobre a cobertura de uma das escadas de acesso para o terraço, ao nível do concreto. O acesso por embarcação é o mais indicado, visto que a fábrica fica a sete milhas do porto de Porto Alegre na margem oeste do Rio Guaíba.

Há disponibilidade de energia elétrica (220V), sendo necessário extensão de 5 metros e um adaptador para tomada de 3 pinos (não do tipo faca). É obrigatório o guarnecimento de EPI para trânsito no Complexo Industrial (bota, capacete, óculos e cinto de segurança).
LH 002/06 (NHo Amorim do Valle), RA 016/07.

Esquema de Sinais e Marcos Testemunhos



TETO DA FABRICA DA ARACRUZ

MT 74005

ANEXO B – FICHA DE DESCRIÇÃO DE ESTAÇÃO (F-41) – ESTAÇÃO MAREGRÁFICA

	60320 F-41	DESCRIÇÃO DE ESTAÇÃO MAREGRÁFICA	F – 41 – Padrão – Tramandai - 60320 – Versão 1/2007 F – 41 – 2000 – 401/61
Estação Tramandai LH Carta N°. 2000 – De Torres a Mostardas	Estado RS	Localidade Imbé Ano 1961	
Coordenadas geográficas Lat 29° 58.00' S Long 050° 07.00' W Datum Fuso + 3h	O nível de redução está 79,7 centímetros acima do zero régua de 1961. Fonte de informação: Análise Estatística e Harmônica da Maré de 32 dias de observação. Tipo de marégrafo: Lógé Zero do marégrafo: coincide com o zero da régua.		
Descrição das réguas de marés Régua "A" instalada num trapiche junto ao marégrafo no DEPREC. Régua "B" instalada no molhe em construção no Imbé, próximo a entrada da barra. Esta ficha foi compilada do Modelo DHN-5503 e da F-41-2000-401/61 atualizada em 04/10/2007.		Descrição das referências de nível RN-DEPREC – Instalada num pilar de cimento, atrás da casa do encarregado do posto. Citada a partir de 1956. RN1 – Instalada na base da antena de rádio do DEPREC. Citada a partir de 1961. RN2 – Instalada na igreja de N.S. de Fátima, no Imbé, próximo a porta lateral. Citada a partir de 1961.	
DHN-6016-A	Arquivo Técnico a ser preenchida no CHM Recebida em Documento de referência		Pessoal que tomou parte na montagem Equipe de 1956: DEPREC Equipe de 1961: CB - Vianna CB - Barroso CB - Getúlio Chefe da equipe: CT França

