

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA E GEOFÍSICA/LAGEMAR  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DINÂMICA DOS OCEANOS E DA TERRA

**CHRISTOPHER FLORENTINO**

ESTUDO DA SUPERFÍCIE BATIMÉTRICA LEPLAC COMO REFERÊNCIA  
À INFRAESTRUTURA DE DADOS ESPACIAIS MARINHOS DA DHN E AO  
PLANEJAMENTO ESPACIAL MARINHO NA AMAZÔNIA AZUL

Niterói - RJ

2023

**CHRISTOPHER FLORENTINO**

ESTUDO DA SUPERFÍCIE BATIMÉTRICA LEPLAC COMO REFERÊNCIA  
À INFRAESTRUTURA DE DADOS ESPACIAIS MARINHOS DA DHN E AO  
PLANEJAMENTO ESPACIAL MARINHO NA AMAZÔNIA AZUL

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Dinâmicas dos Oceanos e da Terra da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor. Área de concentração: Hidrografia.

Orientador: Dr. Arthur Ayres Neto

Niterói - RJ

2023

**CHRISTOPHER FLORENTINO**

ESTUDO DA SUPERFÍCIE BATIMÉTRICA LEPLAC COMO REFERÊNCIA  
À INFRAESTRUTURA DE DADOS ESPACIAIS MARINHOS DA DHN E AO  
PLANEJAMENTO ESPACIAL MARINHO NA AMAZÔNIA AZUL

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra, da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor. Área de concentração: Hidrografia

Aprovada em 07 de março de 2023

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Arthur Ayres Neto, Dr (Orientador)  
Deptº de Geologia/LAGEMAR-UFF

---

Profa. Cláudia Pereira Krueger, Dra.  
UFPR

---

Profa. Flávia Mandarino, Dra.  
CIAARA/DHN

---

Prof. Tiago Borges Ribeiro Gandra, Dr.  
IFRS

---

Prof. André Luiz Belém, Dr.  
Observatório Oceanográfico/Escola de Engenharia - UFF

---

Prof. Gilberto Tavares de Macedo Dias, Dr.  
Deptº de Geologia/LAGEMAR-UFF

Ficha catalográfica automática - SDC/BIG  
Gerada com informações fornecidas pelo autor

F633e Florentino, Christopher  
Estudo da Superfície Batimétrica LEPLAC como Referência à  
Infraestrutura de Dados Espaciais Marinhos da DHN e ao  
Planejamento Espacial Marinho na Amazônia Azul / Christopher  
Florentino. - 2023.  
124 p.: il.

Orientador: Arthur Ayres Neto.  
Tese (doutorado)-Universidade Federal Fluminense, Instituto  
de Geociências, Niterói, 2023.

1. Batimetria. 2. Plano de Levantamento da Plataforma  
Continental Brasileira (LEPLAC). 3. Infraestrutura de Dados  
Espaciais Marinhos (IDEM). 4. Planejamento Espacial Marinho  
(PEM). 5. Produção intelectual. I. Neto, Arthur Ayres,  
orientador. II. Universidade Federal Fluminense. Instituto de  
Geociências. III. Título.

CDD - XXX

Bibliotecário responsável: Debora do Nascimento - CRB7/6368

*Dedico este trabalho a minha amada esposa Denise,  
companheira inseparável e fonte de inspiração  
na busca pelo conhecimento!*

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra (DoT/UFF), com especial atenção a meu orientador Prof. Dr. Arthur Ayres Neto, profissional extremamente dedicado, sempre disponível e atento em suas valiosas correções e sugestões ao aperfeiçoamento da pesquisa. Ao Prof. Dr. André Belém, pelo incentivo e contribuições ao longo do trabalho, bem como aos comentários enriquecedores dos demais membros da Banca Examinadora Profa. Dra. Cláudia Krueger, Flávia Mandarinó, Prof. Dr. Tiago Gandra e Gilberto Dias.

Em especial, agradeço a meu grande companheiro de curso e amigo, o Capitão de Corveta Vitor B. Pimentel, pelo incomensurável apoio, suas críticas e sugestões foram fundamentais para o sucesso desta etapa acadêmica.

À Marinha do Brasil, à Diretoria de Hidrografia e Navegação e ao Centro de Hidrografia da Marinha, na figura dos Comandantes que sempre apoiaram minha busca pelo conhecimento. Ao Contra-Almirante Reis e aos Capitães de Mar e Guerra Magno, Sebastião e Costa Júnior, Ex-Diretores e atual Diretor do CHM, por terem me incentivado a seguir na construção dessa pesquisa. A toda equipe da Superintendência de Segurança da Navegação, com destaque a Divisão de Cartografia, pelo constante apoio e motivação ao longo dessa dupla jornada de trabalho e pesquisa.

Aos integrantes do Plano LEPLAC, em destaque aos Capitães de Mar e Guerra Luiz Carlos Torres e Ana Angélica Ligiéro Alberoni, pela atenção dedicada nas orientações e gentil cessão de informações necessárias ao desenvolvimento deste estudo.

Aos amigos Ednei, Lilian, Dudu e Valéria, César e Dri, Fabi e Aranha, Condé e Jeane, Virginia, Talita e Fávero, que apesar da distância e dos raros encontros, sempre se fazem presentes em meu percurso como grandes motivadores às minhas conquistas.

A meus queridos pais Mozart e Regina, pelo abnegado esforço despendido com tanto amor e carinho ao longo de minha vida, e a minhas queridas irmãs Raiane e Allanys, fontes de muita alegria e orgulho. A meus sogros Cido e Rosa, e a pessoa mais preciosa que conheci, minha esposa “Dê”; bem como a meus amigos e cunhados Leonardo e Bárbara, fonte das pérolas Olívia e Ravenna.

Enfim, a todos que acreditaram e me impulsionaram frente a conclusão de mais este desafio, meu muito obrigado.

## RESUMO

Estudos apontam a histórica e crescente importância do conhecimento do fundo marinho às sociedades que visam um desenvolvimento socioeconômico estrategicamente sustentável. Diversas iniciativas de caráter global, regional e local, têm sido realizadas em busca da melhor representação desta realidade marinha, seja com investimentos na coleta de dados ou no uso de Modelos Digitais de Terreno (MDT) batimétricos. Ademais, nota-se que a indisponibilidade à tal informação batimétrica de forma simples e ágil, por vezes tem comprometido avanços técnico-científicos nacionais. Deste modo, os conceitos da Infraestruturas de Dados Espaciais Marinhos (IDEM) aliado ao Planejamento Espacial Marinho (PEM), têm se mostrado eficientes bases para gerência, armazenamento e a ampla divulgação desta e de outras informações geoespaciais complementares, impulsionando maiores benefícios. Assim, concatenado aos regulamentos e princípios nacionais e internacionais, esta pesquisa tem por objetivo realizar a qualificação inédita da superfície batimétrica nacional desenvolvida no âmbito do projeto LEPLAC (Plano de Levantamento da Plataforma Continental Brasileira), para fins de seu uso como referência à IDEM nacional e ao PEM, na área da Amazônia Azul. Para tal, uma metodologia foi desenvolvida e aperfeiçoada com um arranjo inovador de ferramentas capazes de comparar e avaliar (qualitativa e quantitativamente) áreas e feições da superfície LEPLAC Brasil, frente a outros modelos batimétricos disponíveis (ETOPO1, GEBCO2014 e GEBCO2020) e a um conjunto de dados de controle, oriundos de sondagens executadas sobre a área de interesse. Os resultados obtidos mostram que a superfície LEPLAC Brasil atingiu altos índices estatísticos de correlação ( $R$ ) e determinação ( $R^2$ ), e baixos valores a Raiz do Erro Médio Quadrático (REMQ) e Desvio-Padrão ( $\sigma$ ) junto ao conjunto dos dados de controle, sendo similar ao MDT GEBCO2020. Análises sobre os perfis batimétricos e superfícies de diferença baseados no MDT LEPLAC Brasil demonstraram ainda sua notável habilidade na detecção e delimitação de feições marinhas, destacando elementos importantes para compreensão da evolução geomorfológica na área de estudo. Ademais, os modelos batimétricos GEBCO2014 e ETOPO1 apresentaram a existência de alguns dados espúrios; enquanto a superfície LEPLAC Brasil (em sua versão 2021) foi a única que não demonstrou este tipo de comportamento. Portanto, com base nos índices positivos alcançados e no domínio sobre a tecnologia de mapeamento e parâmetros de construção iterativa do MDT LEPLAC Brasil, observa-se que este é capaz de atender aos quesitos da Infraestrutura de Dados Espaciais Marinhos da Diretoria de Hidrografia e Navegação (IDEM-DHN), bem como subsidiar às iniciativas do Planejamento Espacial Marinho (PEM) na região da Amazônia Azul.

**Palavras chave:** Batimetria, LEPLAC, Infraestrutura de Dados Espaciais Marinhos (IDEM), Planejamento Espacial Marinho (PEM).

## ABSTRACT

Studies point to the historical and growing importance of seafloor knowledge to societies that are aimed at strategic and sustainable socioeconomic development. Global, regional and local initiatives have been carried out toward the better representation of this seabed reality, either with investments in data collection or the use of bathymetric Digital Terrain Models (DTM). It is also noted that the unavailability of prompt access to such bathymetric information has sometimes compromised national technical and scientific advances. Thus, the concepts of Marine Spatial Data Infrastructures (MSDI) and Marine Spatial Planning (MSP) have been useful and efficient bases for the management, storage, and wide dissemination of this type of geospatial information, implying greater benefits. So, pursuant to national and international regulations and principles, this research aims to perform the unprecedented assessment of the national bathymetric surface developed under the LEPLAC Project (Brazilian Continental Shelf Survey Project), for its use as a reference to the national MSDI and MSP, in the area called the Blue Amazon. Through the methodology developed and enhanced with an innovative arrangement of tools could compare and evaluate (qualitatively and quantitatively) areas and features of the LEPLAC Brazil surface against other available bathymetric models (ETOPO1, GEBCO2014 and GEBCO2020), and a control data set provided by acoustics surveys carried out over the area of interest. The results show that LEPLAC Brazil has reached a high statistical index of Correlation (R) and Determination ( $R^2$ ), and low values of the Root of the Mean Square Error (RMSE) and Standard Deviation ( $\sigma$ ) along with the control data set, similar to DTM GEBCO2020. Analysis of bathymetric profiles and the differences between surfaces also demonstrated LEPLAC Brazil's capability to detect and delimit marine features, which highlights some important elements to enhance the comprehension of the geomorphological evolution of the region. In addition, the GEBCO2014 and ETOPO1 models presented the existence of some outliers; while the LEPLAC Brazil surface (in its 2021 version) was the only one that did not demonstrate this type of pattern. Therefore, based on the positive rates achieved and the domain of DTM LEPLAC Brazil's iterative construction technology and parameters, it is noted that LEPLAC Brazil is capable to fulfill the requirements of the Marine Spatial Data Infrastructure of the Directorate of Hydrography and Navigation (MSDI-DHN), as well as foster support to Marine Spatial Planning (PEM) initiatives in the Blue Amazon region.

**Keywords:** Bathymetry, LEPLAC, Marine Spatial Data Infrastructures (MSDI), Marine Spatial Planning (MSP).

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – 1(a) Representação da área de estudo em destaque sobre a Carta náutica nº1 – Costas e Ilhas ao Largo. Ao Sul observa-se a região da Elevação do Rio Grande, objeto dos estudos preliminares em Florentino (2018). 1(b) Visualização 3D do Modelo Digital de Terreno (MDT) LEPLAC Brasil (LEPLAC, 2021).....	11
<b>Figura 2</b> – Mapa de linhas e limites da proposta de plataforma continental brasileira “Amazônia Azul” (LEPLAC, 2021).....	12
<b>Figura 3</b> - Principais características morfológicas na margem Equatorial. Em terra, notam-se as cores oriundas do Mapa Geológico Brasileiro (CPRM, 2003). As seguintes características são classificadas como componentes ou prolongamentos naturais da margem continental brasileira: Delta do Amazonas, as Cadeias Norte Brasileira e de Fernando de Noronha, os Platôs de Paracatu, Rio Grande do Norte, Ceará e João Pessoa, os Terraços do Ceará e Natal, além de cânions, guyots e montes submarinos. A linha magenta tracejada representa a fronteira marítima com a República Francesa da Guiana (LEPLAC, 2016)...	14
<b>Figura 4</b> - Principais características morfológicas nas margens Oriental e Meridional. No continente, as cores advêm do Mapa Geológico Brasileiro (CPRM, 2003) e a divisão dos Estados brasileiros. As seguintes características morfológicas significativas, são classificadas como prolongamentos naturais da margem continental brasileira: Cânions de Aracaju, Bahia e Belmonte, Platôs da Bahia e Dorsal dos Abrolhos, Dorsal Vitória-Trindade, Platôs de São Paulo e Elevação do Rio Grande. Limite marítimo com o Uruguai em magenta (LEPLAC, 2018) .....	15
<b>Figura 5</b> – Principais componentes de uma IDEM. Adaptado de IHO (2017a).....	18
<b>Figura 6</b> – Exemplo da organização dos temas de uma IDEM. Adaptado de Fowler et al. (2010). .....	19
<b>Figura 7</b> – Cenário conceitual de atuação do PEM. Fonte: Adaptado de Ehler (2018). ....	20
<b>Figura 8</b> – Geoportail IDEM-DHN, disponível em: < <a href="https://idem.dhn.mar.mil.br/">https://idem.dhn.mar.mil.br/</a> >.....	23
<b>Figura 9</b> – (a) Coleta de dados batimétricos por método acústico (monofeixe e multifeixe). (b) Aquisição de profundidades derivadas de medição por radar altimétrico satelital. Fonte: NOAA/STAR, 2022. ....	27
<b>Figura 10</b> - Superfície GEBCO2014. Fonte: WEATHERALL et al., 2015.....	29
<b>Figura 11</b> – Evolução da cobertura de sondagem nos MDTs GEBCO. Superfícies GEBCO2014(a), GEBCO_2019(b) e GEBCO2020(c). Fonte: Adaptado de FERRINI et al., 2021.....	30

<b>Figura 12</b> - ETOPO1 "Superfície de Gelo". Fonte: AMANTE e EAKINS, 2009. ....	31
<b>Figura 13</b> - ETOPO1 "Escudo Rochoso". Fonte: AMANTE e EAKINS, 2009.....	32
<b>Figura 14</b> - Base de dados batimétricos qualificados e aplicados na construção do Modelo Digital de Terreno (MDT) para Margem Continental Brasileira, ora denominado “LEPLAC Brasil” (exceto informações do SRTM30_Plus). Fonte: (ALBERONI et al., 2020). ....	34
<b>Figura 15</b> - Vista de topo do MDT LEPLAC Brasil com as principais feições geomorfológicas representadas. Dados do SRTM30_Plus foram incorporados, complementando a área oceânica mais distal da margem continental brasileira, onde havia escassez de dados. Fonte: (ALBERONI et al., 2020).....	35
<b>Figura 16</b> – Fluxograma aplicado à análise das superfícies batimétricas de interesse. Adaptado de Florentino et al. (2019b).....	43
<b>Figura 17</b> - Plataforma de distribuição da superfície ETOPO1 ( <a href="https://maps.ngdc.noaa.gov/viewers/wcs-client/">https://maps.ngdc.noaa.gov/viewers/wcs-client/</a> e <a href="https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/griddap/etopo180.html">https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/griddap/etopo180.html</a> ). Fonte: NOAA, 2021...	46
<b>Figura 18</b> - Página eletrônica de distribuição da superfície GEBCO2014 ( <a href="https://www.gebco.net/data_and_products/historical_data_sets/">https://www.gebco.net/data_and_products/historical_data_sets/</a> ). Fonte: GEBCO, 2021.	47
<b>Figura 19</b> - Plataforma de distribuição da superfície GEBCO2020 ( <a href="https://download.gebco.net/">https://download.gebco.net/</a> ). Fonte: GEBCO, 2020. ....	47
<b>Figura 20</b> – Página eletrônica de distribuição da superfície LEPLAC Brasil ( <a href="https://www.marinha.mil.br/dhn/?q=node/249">https://www.marinha.mil.br/dhn/?q=node/249</a> ). Fonte: LEPLAC, 2021. ....	48
<b>Figura 21</b> - Disposição dos dados de controle do BDBat sobre a área de estudo representada pela Carta nº1. ....	50
<b>Figura 22</b> - IHO-DCDB Viewer contendo janela de seleção de dados batimétricos que após qualificação foram somados ao conjunto de sondagens de controle da DHN ( <a href="https://www.ncei.noaa.gov/maps/iho_dcdb/">https://www.ncei.noaa.gov/maps/iho_dcdb/</a> ). Fonte: IHO, 2021. ....	51
<b>Figura 23</b> – Recorte da Superfície Resolução Variável (EM122, em laranja) e sua malha triangular em destaque (cor amarela), sobre trecho da Superfície de Resolução Regular (RA_23_2019, na cor azul) com sua grade de 100m (azul claro). ....	52
<b>Figura 24</b> – Recorte de ambas superfícies (EM122, em laranja e RA_23_2019, na cor azul) com equalização de suas resoluções espaciais para 100 m (grades em amarelo e azul claro, respectivamente).....	52

<b>Figura 25</b> - Distribuição da frequência dos valores de profundidades dos MDTs ETOPO1, GEBCO2014, GEBCO2020 e LEPLAC Brasil. O retângulo vermelho destaca os elementos inferiores à profundidade de zero metros. ....	59
<b>Figura 26</b> - Destaque à distribuição da frequência (escala logarítmica) com a representação dos limites dos valores de profundidades "inferiores a zero metros" dos respectivos MDTs. ....	60
<b>Figura 27</b> - Histograma dos Erros entre as superfícies ETOPO1, GEBCO2014, GEBCO2020, LEPLAC Brasil e os Dados de Controle.....	61
<b>Figura 28</b> - Correlação e regressão linear entre as profundidades obtidas pelo MDT ETOPO1 e os Dados de Controle. ....	63
<b>Figura 29</b> - Correlação e regressão linear entre as profundidades obtidas pelo MDT GEBCO2014 e os Dados de Controle. ....	64
<b>Figura 30</b> - Correlação e regressão linear entre as profundidades obtidas pelo MDT GEBCO2020 e os Dados de Controle. ....	65
<b>Figura 31</b> - Correlação e regressão linear entre as profundidades obtidas pelo MDT LEPLAC Brasil e os Dados de Controle. ....	66
<b>Figura 32</b> – Diagrama de Taylor contendo Desvio-Padrão, RMSE e Correlação entre os modelos ETOPO1, GEBCO2014, GEBCO2020, LEPLAC Brasil e os Dados de Controle. ....	67
<b>Figura 33</b> – (a) Disposição dos três perfis (em vermelho), selecionados a partir do conjunto de dados de controle plotados sobre a Carta nº1. (b) Perfis 1, 2 e 3 traçados sobre as feições morfológicas da área de estudo representada pela superfície LEPLAC Brasil. ....	68
<b>Figura 34</b> – (a) Disposição do Perfil 1 (tracejado em vermelho) e de feições geomorfológicas de destaque na região (estrelas em roxo) tomados sobre uma linha de dados de controle plotados sobre o Mapa Fisiográfico do LEPLAC, 2021. (b) Perfil 1 traçado sobre as feições morfológicas da área de estudo, sendo em vermelho dados de controle, enquanto as profundidades dos MDT seguem com GEBCO2014 em verde, GEBCO2020 em laranja, ETOPO1 em azul e LEPLAC Brasil na cor preta. Os retângulos representam setores: 1 – Plateus de São Paulo, 2 - Canal Vema, 3 – Monte Jean Charcot, e 4 - Guyot Sirius.....	69
<b>Figura 35</b> – (a) Disposição do Perfil 2 (tracejado em vermelho) e feições geomorfológicas de destaque na região (estrelas em roxo) tomados sobre uma linha de dados de controle plotados sobre o Mapa Fisiográfico do LEPLAC, 2021. (b) Perfil 2 traçado sobre as feições morfológicas da área de estudo, sendo em vermelho dados de controle, enquanto as	

profundidades dos MDT seguem com GEBCO2014 em verde, GEBCO2020 em laranja, ETOPO1 em azul e LEPLAC Brasil na cor preta. Os retângulos apresentam setores: 1 – Banco Davis, 2 – Banco Dogaressa, 3 – Monte submarino Columbia, e 4 – Ilhas de Trindade e Martin Vaz. .... 70

**Figura 36** – (a) Configuração do Perfil 3 (tracejado em vermelho) e feições geomorfológicas de destaque na região (estrelas em roxo) tomados sobre uma linha de dados de controle plotados sobre o Mapa Fisiográfico do LEPLAC, 2021. (b) Perfil 3 disposto sobre as feições morfológicas da área de estudo, sendo em vermelho dados de controle, enquanto as profundidades dos MDT seguem com GEBCO2014 em verde, GEBCO2020 em laranja, ETOPO1 em azul e LEPLAC Brasil na cor preta. Os retângulos apresentam setores: 1 – Plateus Rio Grande do Norte, 2 – Banco Sírius, 3 – Guyot Guarani, 4 – Zona de Fratura La Romanche e Cadeia Parnaíba, 5 – Montes Submarinos Ceará, e 6 - Zona de Fratura Vernadsky. .... 71

**Figura 37** - Cômputo dos limites superior (a) e inferior (b) ao dado de controle para ordem n°2 da S-44 6ed. OHI. .... 72

**Figura 38** – (a) Perfil 1 – Margem Meridional, com representação das profundidades e resíduos entre os Dados de Controle e as profundidades estimadas pelos MDTs. Em destaque, algumas feições geomorfológicas seguem numeradas por Setores. (b) Perfil 1 e seus Setores em destaque, contendo detalhes quanto ao Dado de Controle em vermelho, MDTs GEBCO2014 em verde, GEBCO2020 em laranja, ETOPO1 em azul e LEPLAC Brasil na cor preta, e os limites para Ordem 2, OHI em amarelo. Os retângulos apresentam setores: 1 – Plateus de São Paulo, 2 - Canal Vema, 3 – Monte Jean Charcot, e 4 - Guyot Sirius. .... 73

**Figura 39** – (a) Perfil 2 – Margem Oriental, com representação das profundidades e resíduos entre os Dados de Controle e as profundidades estimadas pelos MDTs. Em destaque, algumas feições geomorfológicas seguem numeradas por Setores. (b) Perfil 2 e seus Setores em destaque, contendo detalhes quanto ao Dado de Controle em vermelho, MDTs GEBCO2014 em verde, GEBCO2020 em laranja, ETOPO1 em azul e LEPLAC Brasil na cor preta, e os limites para Ordem 2, OHI em amarelo. Os retângulos apresentam setores: 1 – Banco Davis, 2 – Banco Dogaressa, 3 – Monte submarino Columbia, e 4 – Ilhas de Trindade e Martin Vaz. .... 74

**Figura 40** – (a) Perfil 3 – Margem Equatorial, com representação das profundidades e resíduos entre os Dados de Controle e as profundidades estimadas pelos MDTs. Em

destaque, algumas feições geomorfológicas seguem numeradas por Setores. (b) Perfil 3 e seus Setores em destaque, contendo detalhes quanto ao Dado de Controle em vermelho, MDTs GEBCO2014 em verde, GEBCO2020 em laranja, ETOPO1 em azul e LEPLAC Brasil na cor preta, e os limites para Ordem 2, OHI em amarelo. Os retângulos apresentam setores: 1 – Plateus Rio Grande do Norte, 2 – Banco Sírius, 3 – Guyot Guarani, 4 – Zona de Fratura La Romanche e Cadeia Parnaíba, 5 – Montes Submarinos Ceará, e 6 - Zona de Fratura Vernadsky. .... 75

**Figura 41** - Distribuição espacial dos valores de profundidades” negativas” observados em todos os MDTs à exceção do “novo” MDT LEPLAC Brasil\* ..... 77

**Figura 42** – (a) Exemplo de artefato detectado (em vermelho) no MDT ETOPO1. (b) Contraste dos valores obtidos pelos diferentes MDTs e Carta nº20. .... 78

**Figura 43** – (a) Exemplo de artefato detectado (em vermelho) no MDT GEBCO2014. (b) Contraste dos valores obtidos pelos diferentes MDTs e Carta nº20. .... 79

**Figura 44** - Distribuição da frequência dos valores de profundidades do “novo” MDT LEPLAC Brasil\*, sem presença de elementos inferiores à profundidade de zero metros.. 80

**Figura 45** – (a) Superfície de diferença entre os MDTs LEPLAC Brasil (2019) e Brasil\*(2021). As cores das profundidades (m) representam 1%, 5%, 25%, 50% e 75% da variação máxima. (b) MDT LEPLAC Brasil\* ou LEPLAC2021. .... 80

**Figura 46** – Superfícies de diferença entre os MDTs: (a) LEPLAC2021 e ETOPO1. (b) LEPLAC2021 e GEBCO2014. (c) LEPLAC2021 e GEBCO2020. (d) LEPLAC2021 e GEBCO2021. As cores das profundidades (m) representam 1%, 5%, 25%, 50% e 75% da variação máxima..... 82

**Figura 47** – (a) Superfícies de diferença entre os MDTs LEPLAC2021 e LEPLAC2019, com destaque as regiões de análise. As cores das profundidades (m) representam 1%, 5%, 25%, 50% e 75% da variação máxima. (b) Identificação dos Tipos de Dados (TID) de origem da grade LEPLAC2021. .... 83

**Figura 48** – Detalhe das superfícies de diferença entre os MDTs na região da Elevação do Rio Grande: (a) LEPLAC2021 e ETOPO1. (b) LEPLAC2021 e GEBCO2014. (c) LEPLAC2021 e GEBCO2020. (d) LEPLAC2021 e GEBCO2021. (e) LEPLAC2021 e LEPLAC2019. Círculos em vermelho destacam elementos homólogos notáveis. As cores das profundidades (m) representam 1%, 5%, 25%, 50% e 75% da variação máxima..... 84

**Figura 49** – Detalhe das superfícies de diferença entre os MDTs na região da Cadeia Vitória Trindade: (a) LEPLAC2021 e ETOPO1. (b) LEPLAC2021 e GEBCO2014. (c)

LEPLAC2021 e GEBCO2020. (d) LEPLAC2021 e GEBCO2021. (e) LEPLAC2021 e LEPLAC2019. Círculos em vermelho destacam elementos homólogos notáveis. As cores das profundidades (m) representam 1%, 5%, 25%, 50% e 75% da variação máxima. .... 85

**Figura 50** – Detalhe das superfícies de diferença entre os MDTs na região Equatorial: (a) LEPLAC2021 e ETOPO1. (b) LEPLAC2021 e GEBCO2014. (c) LEPLAC2021 e GEBCO2020. (d) LEPLAC2021 e GEBCO2021. (e) LEPLAC2021 e LEPLAC2019. Círculos em vermelho destacam elementos homólogos notáveis. As cores das profundidades (m) representam 1%, 5%, 25%, 50% e 75% da variação máxima. .... 87

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Principais atributos das superfícies batimétricas em estudo.....	44
Tabela 2: Estatísticas globais das superfícies batimétricas .....	57
Tabela 3: Estatísticas entre as superfícies batimétricas e o dado de controle.....	58

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AJB	Águas Jurisdicionais Brasileiras
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
AUV	<i>Autonomous Underwater Vehicles</i>
BDB	<i>BathyDataBASE</i>
BNDO	Banco Nacional de Dados Oceanográficos
BSBD	<i>Baltic Sea Bathymetric Database</i>
CEP	<i>Caspian Environment Programme</i>
CHM	Centro de Hidrografia da Marinha
CIESM	<i>Mediterranean Science Commission</i>
CIRM	Comissão Interministerial para Recursos do Mar
COI	Comissão Oceanográfica Intergovernamental
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - Serviço Geológico do Brasil
CSB	<i>Crowdsourced Bathymetry</i>
CLPC	Comissão de Limites da Plataforma Continental
CNUDM	Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
DCDB	<i>IHO Data Centre for Digital Bathymetry</i>
DTM	<i>Digital Terrain Model</i>
EMODnet	<i>European Marine Observation and Data Network</i>
ENC	<i>Electronic Navigational Chart</i>
ERG	Elevação do Rio Grande
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
GEBCO	<i>General Bathymetric Chart of the Oceans</i>
GEODAS	<i>GEophysical Data System</i>
HPD	<i>Hydrographic Production Database</i>
IBGE	Instituto Geográfico Brasileiro de Geografia e Estatística
IBCSO	<i>International Bathymetric Chart of Southern Ocean</i>
IBCAO	<i>International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean</i>
IDE	Infraestrutura de Dados Espaciais
IDEM	Infraestrutura de Dados Espaciais Marinhos
IHO	<i>International Hydrographic Organization</i>
IHB	<i>International Hydrographic Bureau</i>
IHT	Incerteza Horizontal Total
ITP	Incerteza Total Propagada
IVT	Incerteza Vertical Total
IMO	<i>International Maritime Organization</i>
INDE	Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais
INSPIRE	<i>Infrastructure for Spatial Information in the European Community</i>
IODE	<i>International Oceanographic Data and Information Exchange</i>
IOC	<i>Intergovernmental Oceanographic Commission</i>
JAMSTEC	<i>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology</i>
JODC	<i>Japan Oceanographic Data Center</i>
km	Quilômetro(s)
LB	Linha de Base
LEPLAC	Plano Levantamento da Plataforma Continental
LH(s)	Levantamento(s) Hidrográfico(s)
LIBSR	<i>Leibniz Institute for Baltic Sea Research</i>

LiDAR	<i>Light Detection And Ranging</i>
LINZ	<i>Land Information New Zealand</i>
m	Metro(s)
MB	Marinha do Brasil
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDT(s)	Modelo(s) Digital(is) de Terreno
ME	<i>Mean Error</i>
MSDI	<i>Marine Spatial Data Infrastructures</i>
MyGDI	<i>Malaysia Geospatial Data Infrastructure</i>
NAD-DHN	Norma de Acesso aos Dados e às Informações Abertos da Diretoria de Hidrografia e Navegação
NaLIS	<i>National Infrastructure for Land Information System</i>
NGA	<i>National Geospatial Intelligence Agency</i>
NGDC	<i>National Geophysical Data Center</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Administration</i>
NORMAM-25	Norma da Autoridade Marítima nº25
NRCan	<i>Natural Resources Canada</i>
NSDI	<i>National Spatial Data Infrastructure</i>
OHI	Organização Hidrográfica Internacional
PEM	Planejamento Espacial Marinho
Petrobras	Petróleo Brasileiro S.A.
REMAC	Reconhecimento da Margem Continental
REMLAC	Programa de Avaliação da Potencialidade Mineral da Plataforma Continental Jurídica Brasileira
REVIZEE	Programa de Avaliação do Potencial Sustentável dos Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva
REMQ	Raiz do Erro Médio Quadrático
RMSE	<i>Root Mean Square Error</i>
RNC	<i>Raster Navigational Chart</i>
SID	<i>Source Identifier Grid</i>
SIO	<i>Scripps Institution of Oceanography</i>
SOLAS	<i>International Convention for the Safety of Life at Sea</i>
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
TIN	<i>Triangular Irregular Network</i>
UNCLOS	<i>United Nations Convention on the Law of the Sea</i>
UNESCO	<i>United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization</i>
UN-GGIM	<i>United Nations initiative on Global Geospatial Information Management</i>
web	<i>World Wide Web</i>
WGS84	<i>World Geodetic System of 1984</i>

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA .....	1
1.2. JUSTIFICATIVA E FINALIDADE .....	4
1.3. QUESTÕES DA PESQUISA .....	7
1.4. HIPÓTESES .....	7
1.5. OBJETIVOS .....	8
<b>1.5.1. Objetivo Geral e Finalidade</b> .....	<b>8</b>
<b>1.5.2. Objetivos Específicos</b> .....	<b>8</b>
1.6. ESTRUTURA DA PESQUISA .....	9
<b>2. ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>11</b>
<b>3. O PAPEL DA INFORMAÇÃO BATIMÉTRICA NO RELACIONAMENTO DA IDEM E DO PEM NACIONAL</b> .....	<b>18</b>
3.1. UM PANORAMA DAS IDEMs E DO PEM PELO MUNDO .....	21
3.2. A SITUAÇÃO NACIONAL DA IDEM-DHN E DO PEM .....	22
<b>4. A AVALIAÇÃO DA TOPOGRAFIA DO FUNDO MARINHO E SEUS MODELOS BATIMÉTRICOS DIGITAIS</b> .....	<b>25</b>
4.1. SUPERFÍCIE GEBCO2014 .....	28
4.2. SUPERFÍCIE GEBCO2020 .....	30
4.3. SUPERFÍCIE ETOPO1' .....	31
4.4. SUPERFÍCIE LEPLAC Brasil .....	32
4.5. A BUSCA PELA SUPERFÍCIE BATIMÉTRICA IDEAL PARA REGIÃO DE INTERESSE .....	37
<b>4.5.1. Ferramentas de Análise entre Superfícies Batimétricas Regulares</b> .....	<b>38</b>
<b>5. METODOLOGIA</b> .....	<b>42</b>
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>56</b>
6.1. SUMÁRIO ESTATÍSTICO .....	56
6.2. HISTOGRAMAS .....	59
6.3. REGRESSÃO LINEAR E COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO .....	62
6.4. DIAGRAMA DE TAYLOR .....	67
6.5. GRÁFICO DE PERFIS .....	68
6.6. SUPERFÍCIE DE DIFERENÇA .....	76
6.7. ANÁLISE CONJUGADA .....	88
<b>7. CONCLUSÃO</b> .....	<b>91</b>
7.1. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	94
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>95</b>

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

As Infraestruturas de Dados Espaciais Marinhos (IDEM's), ou *Marine Spatial Data Infrastructures* (MSDI) (IHO, 2017a), têm se mostrado como uma eficiente ferramenta de gerenciamento das atividades humanas ao redor do globo, no tocante a utilização racional e de disponibilidade duradoura dos recursos ambientais marinhos, integrando assim iniciativas com vistas ao chamado “uso inteligente dos oceanos” e a “economia azul” (FLORENTINO et al., 2019a; PANG, OEI, 2020). Diversos estudos no âmbito da Organização Hidrográfica Internacional (OHI), apontam para relações de custo-benefício positivas (variando monetariamente de 1:2 a 1:18 - dólares norte-americanos) à implementação efetiva de IDEM's nacionais e regionais, especialmente quando alinhadas a conceitos do Planejamento Espacial Marinho (PEM) (CIRM, 2019; IHO, 2018a). Tal abordagem tem sustentado decisões de caráter político-estratégico, envolvendo o uso e ocupação do espaço marinho, implicando em notáveis benefícios socioeconômicos à estas nações (GRIFFIN et al., 2017; CONTARINIS; PALLIKARIS; NAKOS, 2020).

Por tratar de uma gama significativa de dados geoespaciais com alto custo de coleta, armazenamento e gestão, as IDEM's compreendem um rico universo de informações marinhas e marítimas, organizadas em estrutura de dados por diferentes camadas atinentes ao cenário geográfico, tal como sua topografia marinha ou batimetria, áreas de proteção ambiental, climatologia e meteorologia, oceanografia, recursos vivos e não vivos, composição do fundo e sub-fundo, além de outras questões legais como seus limites territoriais nacionais e internacionais, etc. Neste sentido, a base de referência a tal pirâmide de conhecimento, usualmente, é tida como a superfície batimétrica, ou Modelo Digital de Terreno (MDT) marinho da região de interesse (STRAIN; RAJABIFARD; WILLIAMSON, 2006; FOWLER et al., 2010).

Assim, o mapeamento geomorfológico do fundo marinho e a disseminação ou compartilhamento de tais informações espaciais, são desafios impreteríveis às sociedades que buscam um desenvolvimento socioeconômico sustentável dentro da perspectiva ecossistêmica marinha (WÖLFL et al., 2019; CONTARINIS; PALLIKARIS; NAKOS, 2020; RYABININ, 2020). Os benefícios do fornecimento de superfícies batimétricas por

meio de tais IDEM são inúmeros (COOPER; PEPPER; OSBORNE, 2010; LINZ, 2015; QUADROS, 2012).

Contudo, devido às dificuldades inerentes à obtenção desta informação, que requer aprimoramento de técnicas de medições e elevado custo envolvido em sua coleta, e por se tratar de um desafio global, observa-se inúmeras tentativas à construção de uma melhor representação desta realidade marinha, seja através do uso de Modelos Digitais de Terreno (MDT) batimétricos, ou mesmo na forma de dados de sondagem esparsos como uma nuvem de pontos (IHO, 2017a; WÖLFL et al., 2019). Estas iniciativas possuem diferentes escalas, variando de soluções globais (IHO, 2014; JAKOBSSON et al., 2017), regionais (FERRINI, 2021; EMODnet, 2016, 2018, 2021; HALL, 2014) e locais (LINZ, 2015; ALBERONI et al., 2020; RUAN et al., 2020), proporcionando em certos casos a existência de sobreposições entre MDTs distintos, causando assim a necessidade da escolha quanto ao modelo mais adequado a determinado propósito.

A eleição de tal MDT batimétrico é tão importante quanto complexa, pois servirá de referência aos experimentos e decisões futuras, influenciando direta ou indiretamente na qualidade dos resultados destas análises (CHIOCCI; CATTANEO; URGELES, 2011; FAPESP, 2012; BONGIOVANNI; STEWART; JAMIESON, 2020; SEPULVEDA, 2020a). Assim, a metodologia para análise da qualidade (também conhecida como QC – *Quality Control*) destas superfícies deve observar aspectos qualitativos e quantitativos capazes de confrontar as superfícies batimétricas modeladas matematicamente e ora disponíveis, frente à dados de controle tomados sobre o terreno, observando as estatísticas intrínsecas ao MDT e a detecção da existência de dados espúrios, ou “artefatos” (ABRAMOVA, 2012, 2021; VRDOLJAK, 2021; IHO&IOC, 2019; MATOS et al., 2012; ŠILJEG; LOZIĆ; RADOŠ, 2015).

No caso do Brasil, a busca pelo conhecimento detalhado do fundo marinho remonta investimentos da década de 70, com a criação da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM). Estes alcançaram em 1989, a aprovação do Plano de Levantamento da Plataforma Continental Brasileira (LEPLAC), instituído pelo Decreto nº 98.145/1989 e em desenvolvimento até o presente momento (MOHRIAK, TORRES, 2017). Desde seu surgimento, este Plano tem como propósito determinar o limite exterior da Plataforma Continental Brasileira para além das 200 milhas marítimas, de acordo com a Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar – CNUDM (UNCLOS, 1994). Para tal, se destaca a união de um significativo número de dados batimétricos oriundos de diferentes

levantamentos hidrográficos (LHs), realizados majoritariamente por iniciativas públicas e algumas privadas, devidamente qualificadas. O conjunto destas sondagens tornou-se então base para construção de modelos de dados batimétricos, ou MDTs, destinados à representação marinha da região costeira brasileira, sua plataforma continental e o alto mar (ALBERONI et al., 2020; LEPLAC, 2021; FLORENTINO, 2018).

Ao passo que a Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), organização militar componente do Sistema Cartográfico Nacional (SCN) e responsável pela cartografia náutica brasileira (BRASIL, 1967a), que observa atentamente as tendências mundiais e nacionais envolvendo esta temática do gerenciamento de dados espaciais no domínio marinho, segue trabalhando em sinergia com a iniciativa terrestre da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), coordenada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (BRASIL, 2008), e com o projeto de Planejamento Espacial Marinho (PEM), em desenvolvimento pela Secretaria da Comissão Interministerial para Recursos do Mar - SECIRM (CIRM, 2019; 2020). Da mesma forma, a DHN tem participado ativamente dos debates no Grupo de Trabalho em Infraestruturas de Dados Espaciais Marinhos da OHI (GT-IDEM, que em inglês refere-se a MSDI-WG “*Marine Spatial Data Infrastructure Working Group*”) (DHN, 2016; PANG, OEI, 2020), e vem trabalhando para implementação de sua própria IDEM-DHN (FLORENTINO et al., 2019a; DHN, 2022). Neste contexto, trabalhos recentes apontaram que a mencionada superfície resultante do projeto LEPLAC, doravante denominada LEPLAC Brasil ou simplesmente LEPLAC2019, possui potencial uso como referência batimétrica ao alcance do objetivo de subsidiar tanto a IDEM-DHN, quanto o PEM nacional.

Em destaque, os estudos desenvolvidos por Florentino (2018) mostraram que a superfície LEPLAC Sul, quando comparada à dados de controle e outros MDTs batimétricos disponíveis, foi capaz de atender às orientações nacionais e internacionais à implantação de uma IDEM à nível regional. Este MDT regional demonstrou sua eficiência no alcance de bons índices de qualidade, bem como na detecção e delimitação de novas feições marinhas sobre a região da Costa Sul brasileira até a Elevação do Rio Grande (ERG) (FLORENTINO et al., 2019b).

Sendo assim, pelo fato da superfície batimétrica LEPLAC Sul tratar-se do recorte regional de uma superfície que adota dimensões nacionais, como a LEPLAC Brasil, vislumbra-se a importância do estabelecimento desta metodologia de análise e avaliação de qualidade às demais regiões do Brasil, motivando então a continuação desta pesquisa. Tal

ação tende a promover os esforços nacionais envolvidos ao longo do projeto LEPLAC, valorando em termos qualitativos e quantitativos a superfície batimétrica final para toda a região da Amazônia Azul (CIRM, 2019; GANDRA et al., 2020).

## 1.2. JUSTIFICATIVA E FINALIDADE

Desempenhando um papel fundamental na dinâmica das sociedades, a observação detalhada das feições marinhas reflete o fruto de processos geológicos do passado, trazendo compreensão quanto a seu impacto nas ações do presente e futuro (VRDOLJAK, 2021). Ademais, a influência das informações batimétricas se expande para além dos territórios sendo amplamente utilizadas para estudo de fenômenos meteo-oceanográficos, geológicos, geofísicos e humanos de diferentes escalas de tempo e espaço, partindo de modelos computacionais de abrangência local, regional e global (GORINI, 2008; WÖLFL et al., 2019; SPULDEVA, 2020b; FERRINI et al., 2021).

O conhecimento em escala adequada do fundo marinho é base de suporte a estudos e análises estatísticas sobre feições e fenômenos geomorfológicos, como a erosão em *canyons* submarinos, taludes, montes e vales, subsidiando modelos de previsão de movimentos de terra mais acurados, atuando assim sobre possíveis desastres naturais e seus potenciais riscos à tsunamis ou à estruturas de parques eólicos offshore, cabos oceânicos, oleodutos e gasodutos instalados no fundo marinho (CHIOCCI; CATTANEO; URGELES, 2011; LECOURS et al., 2016; ZIMMERMANN, PRESCOTT, 2018; DIAS et al., 2019).

O estudo e modelagem de fluxos naturais, caso da hidrodinâmica oceanográfica por exemplo; ou mesmo da trajetória de objetos ou massas artificiais, também são influenciados pela qualidade de seus elementos de contorno, dentre estes a grade batimétrica ora aplicada ao modelo (GORINI, 2008). Em destaque, pode-se observar o caso de detritos ou mesmo do vazamento de óleo por exemplo (BARKER et al., 2020; FRANZ et al., 2021). Desta forma, a qualidade da superfície batimétrica, pode influenciar positiva ou negativamente nas previsões meteo-oceanográficas, principalmente quando dependentes de processos físicos de pequena escala associados a tênue variação do fundo (GABIOUX et al., 2013; MARTA-ALMEIDA; PEREIRA; CIRANO, 2011; FRANZ et al., 2021), representando um ganho à segurança da navegação.

Em meio a uma plataforma continental extensa como a brasileira, a adoção de MDTs batimétricos de maior qualidade, implica na possibilidade do uso de soluções

semiautomáticas para classificação fisiográfica marinha, facilitando a definição de categorias de províncias similares e diminuindo a subjetividade do analista envolvido no processo (GORINI, 2008). Além disso, permite a instrução de análises geomorfométricas para melhor definição de mega-habitats bentônicos (LAVAGNINO, et al., 2020). Estes poderão ser então considerados para o processo de Planejamento Espacial Marinho (PEM) adequado à região de interesse.

Ademais, desde o surgimento da Lei do Mar e das “*Scientific and Technical Guidelines*” da Comissão de Limites da Plataforma Continental (CLPC)<sup>1</sup> das Nações Unidas (CLCS/11, 1999), o processo de pleito a extensão territorial marinha para além das 200 milhas náuticas (MN), passa pela avaliação objetiva e quantitativa do conteúdo fisiográfico e geomorfológico da região. A análise do pedido apresentado pelo Estado solicitante, parte de relatórios técnicos detalhados sobre uma base de dados batimétricos, juntamente de outras informações como gravimetria e magnetometria que justifiquem tal requerimento. Tais informações implicam na avaliação quanto ao aumento da soberania nacional, conforme previsto pelo Artigo nº76 da Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (UNCLOS, 1994) e assim, são extremamente relevantes na determinação precisa da base (pé) do talude continental, com a localização da isóbata de 2.500 m, que é um dos critérios observados pela CLPC (MOHRIAK, TORRES, 2017; DIAS et al., 2019).

A despeito de todos os argumentos apresentados, grande parte dos projetos e pesquisas nacionais frequentemente recorrem a MDTs batimétricos de caráter global, cuja capacidade de representação das feições marinhas por vezes é inferior a qualidade desejada (FLORENTINO et al., 2019), implicando na necessidade de manipulação e refinamentos com junção, quando possível, de dados complementares de profundidades (FAPESP, 2012). Exemplos como as superfícies ETOPO1 - *1 Arc-Minute Global Relief Model*, que possui 1.852 m de resolução espacial (AMANTE, EAKINS, 2009), GEBCO2014 - *30 Arc-Second Bathymetric Grid*, com 926 m (WEATHERALL et al., 2015) e GEBCO2020 - *15 Arc-Second Bathymetric Grid*, com aproximadamente 500 m de grade (GEBCO, 2021), ainda são muito úteis, especialmente em áreas de difícil acesso e com baixa cobertura de sondagens. Porém, é sabido que devido a características intrínsecas de sua construção, que conta com medidas batimétricas satelitais que possuem grande variação, tais modelos não

---

<sup>1</sup> Página eletrônica principal da *Division for Oceans Affairs and Law of the Sea*: [http://www.un.org/depts/los/cles\\_new/commission\\_submissions.htm](http://www.un.org/depts/los/cles_new/commission_submissions.htm), contendo o status da proposta brasileira ao CLCS. Acesso em 5 de novembro de 2022.

atendem completamente à algumas finalidades específicas que requeiram maior detalhe do fundo marinho (SANDWELL et al., 2003; MACNAB, VARMA, 2008; SEPULVEDA, 2020b). Estes seriam o caso da modelagem em grande escala de fenômenos meteoceanográficos (GABIOUX et al., 2013; MARTA-ALMEIDA; PEREIRA; CIRANO, 2011; BARKER et al., 2020; FRANZ et al., 2021), da caracterização geomorfológica de algumas províncias marinhas e habitats (como: bancos e canais oceânicos, *guyots* e montes submarinos) (IBGE, 2011; LAVAGNINO, et al., 2020), ou mesmo da elaboração e acompanhamento das ações de gestão dos investimentos em infraestrutura logística e socioeconômica, bem como do Planejamento Espacial Marinho (PEM) (CIRM, 2019; CONTARINIS; PALLIKARIS; NAKOS, 2020; GANDRA et al., 2020).

No Brasil, esta situação tem sido apontada em artigos e eventos científicos especializados, como ocorrido em 2012, no workshop internacional *Marine Data Management*, na sede da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (FAPESP, 2012), bem como pela matéria intitulada “Quanto custa não investir em dados geoespaciais?” da revista eletrônica MundoGeo (LEONARDI, 2012). Mas recentemente, Gandra et al. (2018) apresentou no título de seu trabalho o questionamento "Onde estão os dados para o Planejamento Espacial Marinho (PEM)?" . Apesar de ter apontado algumas fontes de dados e informações batimétricas disponíveis, como as cartas náuticas e as profundidades distribuídas pelo Banco Nacional de Dados Oceanográfico - BNDO, respectivamente produzidas e mantidas pela Marinha do Brasil (MB), Gandra et al. (2018) alertava à época para a inexistência de uma superfície marinha oficial e continua. Também afirmava que a falta desta base vetorial ou de um MDT batimétrico, com seus devidos metadados preenchidos, é uma limitação ao devido desenvolvimento de um Planejamento Espacial Marinho (PEM).

Este cenário destacou a relevância de estudos e divulgação de resultados que evidenciam a apresentação de uma superfície batimétrica nacional e oficial, que pudesse ser aplicada como um MDT de referência com alta confiabilidade, quando comparada às demais superfícies globais. Deste modo, os trabalhos desenvolvidos por Florentino (2018) e Florentino et al. (2019b) sobre a região da Elevação do Rio Grande (ERG) e Alberoni et al. (2020) abordando toda a margem continental brasileira, contribuem ao alcance deste objetivo. Alinhados às orientações propostas por Mohriak e Torres (2017), ambos estudos partiram da adoção dos frutos do Projeto LEPLAC, com a crítica e consequente disponibilidade de seu MDT batimétrico a partir de novembro de 2019.

Portanto, o desenvolvimento da presente pesquisa tem por finalidade contribuir para validação, escolha e divulgação de uma superfície batimétrica oficial que engloba toda a área da Amazônia Azul, para uso como referência à implantação da Infraestrutura de Dados Espaciais Marinhos da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). Espera-se que esta ação também venha a subsidiar o projeto de Planejamento Espacial Marinho (PEM) nacional, e desta forma, salvaguardar os interesses político-estratégicos brasileiros, bem como impulsionar o desenvolvimento na região denominada Amazônia Azul.

### 1.3. QUESTÕES DA PESQUISA

Frente ao cenário supramencionado, a presente pesquisa visa responder aos seguintes questionamentos:

- i) Qual o papel da informação batimétrica no relacionamento das Infraestruturas de Dados Espaciais Marinhos (IDEM) e do Planejamento Espacial Marinho (PEM) nacional?
- ii) Dentre as principais superfícies batimétricas globais, regionais e nacionais disponíveis, qual a melhor forma de comparar e avaliar suas qualidades?
- iii) Qual a qualidade do modelo batimétrico construído pelo projeto LEPLAC para servir de referência a uma IDEM na região da Amazônia Azul?
- iv) A adoção e o fornecimento da superfície LEPLAC Brasil por meio de uma IDEM, atende as normas e orientações técnicas nacionais e internacionais para apoio ao PEM?

### 1.4. HIPÓTESES

Adotam-se as seguintes hipóteses norteadoras ao desenvolvimento deste estudo:

- Hi) O domínio da informação batimétrica é fulcral ao desenvolvimento e aplicação de projetos com base em IDEM ou PEM.
- Hii) O uso conjugado de instrumentos quantitativos e qualitativos fornece uma avaliação de qualidade mais eficiente ao tema dos MDTs batimétricos.

- Hiii) A superfície LEPLAC Brasil compreende um produto de alta qualidade dedicado à busca pela representação fidedigna do fundo marinho na região da Amazônia Azul.
- Hiv) O MDT LEPLAC Brasil pode ser assumido como base batimétrica oficial de referência à IDEM nacional, bem como servir de subsídio às iniciativas do PEM.

## 1.5. OBJETIVOS

### 1.5.1. Objetivo Geral e Finalidade

A presente pesquisa objetiva analisar a qualidade da superfície batimétrica nacional oriunda do projeto LEPLAC, por meio do aperfeiçoamento de metodologia desenvolvida e testada sobre a região Sul; a qual possibilita comparar e avaliar (qualitativa e quantitativamente) novas áreas e feições da superfície LEPLAC Brasil, frente a outros modelos batimétricos disponíveis e a dados de controle.

Tal ação tem como finalidade, observar a adequabilidade do MDT LEPLAC Brasil como referência à implementação da Infraestrutura de Dados Espaciais Marinhos da DHN, bem como sua contribuição à iniciativa do Planejamento Espacial Marinho (PEM) para a região da Amazônia Azul.

### 1.5.2. Objetivos Específicos

Para o alcance deste propósito foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- i) Discorrer sobre a importância da batimetria no desenvolvimento do projeto de implementação da Infraestrutura de Dados Espaciais Marinhos da DHN (IDEM-DHN) em suporte ao Planejamento Espacial Marinho (PEM) para Amazônia Azul.
- ii) Abordar a evolução do mapeamento do fundo marinho e apresentar as características das principais superfícies batimétricas disponíveis para a área de estudo, citando o avanço das ferramentas de análise da qualidade destes produtos.
- iii) Aperfeiçoar e aplicar o método de controle de qualidade desenvolvido por Florentino (2018), com base num conjunto de instrumentos de análise

qualitativa e quantitativa sobre a superfície LEPLAC Brasil, frente a outros MDTs batimétricos e dados de controle para área de interesse.

- iv) Identificar a adequabilidade às normas e orientações técnicas nacionais e internacionais quanto a divulgação e disseminação do MDT LEPLAC Brasil, através de uma IDEM e seu potencial uso no PEM.

## 1.6. ESTRUTURA DA PESQUISA

Com fito de apresentar uma análise sobre a evolução do emprego de dados batimétricos, mormente representados através de Modelos Digitais de Terreno (MDTs) marinhos de abrangência global e regional, em especial aqueles dispostos sobre o Atlântico Sul, bem como apontar sua forma de divulgação e compartilhamento nos últimos anos, por meio das Infraestruturas de Dados Espaciais Marinhos (IDEM), e suas contribuições ao Planejamento Espacial Marinho (PEM), a presente tese segue estruturada em 7 capítulos.

O Capítulo 1, visa introduzir o tema da pesquisa partindo de um panorama global sobre as Infraestruturas de Dados Espaciais Marinhos (IDEM) e sua relevância ao Planejamento Espacial Marinho (PEM), tomando como base a necessidade de amplo conhecimento do fundo do mar, alcançando por fim as particularidades envolvidas no trato da modelagem batimétrica nacional. Assim, abordará o contexto da pesquisa, sua justificativa e finalidade, o escopo de suas questões, também serão firmadas as hipóteses e os objetivos geral e específicos.

O Capítulo 2, apresentará a área de interesse ao estudo. Assim, versará sobre sua significativa dimensão, seus limites geográficos e as principais características geomorfológicas envolvidas em seu entorno, servindo às análises geomorfométricas futuras.

O Capítulo 3, intenciona dissertar sobre o desenvolvimento do projeto de implementação da Infraestrutura de Dados Espaciais Marinhos brasileira e o papel da batimetria para o Planejamento Espacial Marinho (PEM). Para tal, esta seção trará uma breve revisão dos conceitos pertencentes a IDEM, sua importância e relacionamento com a INDE, vantagens e desvantagens para o armazenamento e compartilhamento eficiente de dados espaciais, com atenção à batimetria que atua como referência fundamental ao PEM.

O Capítulo 4, compreenderá a motivação envolvida pelos estudos da topografia marinha e seus diversos MDT batimétricos disponíveis, discorrendo a respeito de alguns projetos e iniciativas adotadas para domínio do mapeamento global do fundo dos oceanos, os esforços regionais e nacionais neste cenário, sendo possível destacar os investimentos e

retornos do Brasil, em seu Plano de Levantamento da Plataforma Continental Brasileira (LEPLAC). Além disso, esta seção compreenderá o consequente avanço das técnicas e instrumentos capazes de sustentar a escolha de determinado modelo batimétrico de média e pequena escala, entre as diversas superfícies batimétricas disponíveis que possuam sobreposição geográfica, facilitando assim a aplicação adequada de tal produto em inúmeros projetos e soluções em busca do uso inteligente dos oceanos (“*smart oceans*”).

Capítulo 5, apresentará a adaptação e aplicação da metodologia de controle de qualidade, com base num arranjo inovador de um conjunto de ferramentas de análise qualitativa e quantitativa, sobre as superfícies batimétricas de interesse (MDTs) e os dados de controle adotados para área de estudo.

Capítulo 6, mostrará os resultados e discussões para cada ferramenta utilizada na análise, buscando ao fim sumarizar os principais elementos de suporte a avaliação comparativa da superfície LEPLAC Brasil.

Capítulo 7, tecerá as considerações e conclusões finais quanto a identificação da adequabilidade da superfície LEPLAC Brasil às normas e orientações técnicas nacionais e internacionais a respeito da divulgação e disseminação deste produto através de uma IDEM, bem como sua potencial aplicação ao PEM no contexto da Amazônia Azul.

Espera-se, por fim, que esta tese possa contribuir para a discussão sobre o intercâmbio de dados espaciais terrestres e marinhos em prol de uma gestão mais eficiente da geoinformação. Tal como prover subsídios para a qualificação inédita desta superfície batimétrica frente a outros modelos globais, para fins de seu uso como referência à futuras análises e pesquisas brasileiras.

## 2. ÁREA DE ESTUDO

A presente pesquisa desenvolve-se sobre uma extensa área geográfica do Oceano Atlântico Sul, inseridos na NAVAREA/METAREA V<sup>2</sup>. Especificamente, esta região segue limitada pela Linha de Base Nacional (LBN) (BRASIL, 2015) em conjunto das latitudes 10°N a 37°S e longitudes 24°W a 54°W, conforme Figura 1a, abaixo.

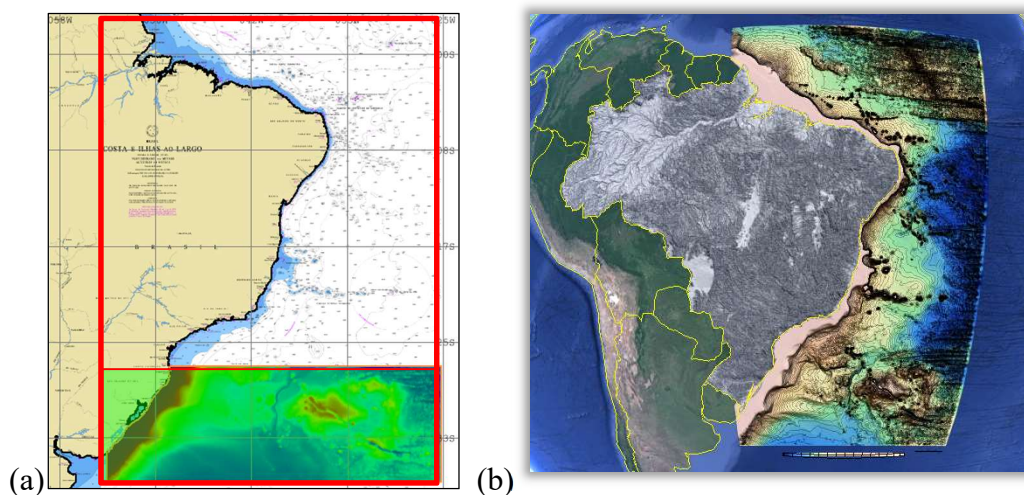


Figura 1 – 1(a) Representação da área de estudo em destaque sobre a Carta náutica nº1 – Costas e Ilhas ao Largo. Ao Sul observa-se a região da Elevação do Rio Grande, objeto dos estudos preliminares em Florentino (2018).  
1(b) Visualização 3D do Modelo Digital de Terreno (MDT) LEPLAC Brasil (LEPLAC, 2021).

O Brasil possui um litoral com mais de 8.500 km de extensão, partindo de seu limite norte em Cabo Orange (4°30'N) e alcançando seu limite sul no Arroio Chuí (34°45'N), e uma plataforma continental com área de aproximadamente 3,6 milhões de km<sup>2</sup>, ao longo dos quais exerce o direito de soberania para exploração de recursos naturais. Observa-se ainda a existência deste potencial alcançar a marca de 5,7 milhões de km<sup>2</sup>, caso sejam incorporadas as dimensões da região da Elevação do Rio Grande (ERG), e outras áreas reivindicadas pelo Brasil junto à Comissão de Limites da Plataforma Continental (CLPC) da Organização das Nações Unidas (ONU) (HARARI, 2021; EMA, 2020; DIAS et al., 2019).

A esse vasto território no mar (Figura 2, na sequência), rico em recursos naturais vivos e não vivos, denominamos como Amazônia Azul. Este é um conceito político-estratégico citado pela primeira vez, pelo então Comandante da Marinha, o Sr. Almirante-

<sup>2</sup> NAVAREA/METAREA V, são áreas marítimas onde as informações de segurança da navegação (Avisos Rádio-Náuticos, Boletins Climatológicos, Resgate e Salvamento, etc) constam sob a responsabilidade do Brasil.

de-Esquadra Roberto Guimarães de Carvalho, em 2004, ao comparar as dimensões desse território marítimo com as do território amazônico, ambos abundantes em recursos naturais de relevância estratégica para o Brasil. Desta forma, o conceito da Amazônia Azul, vem sendo divulgado pela Marinha do Brasil (MB), com o objetivo de alertar a sociedade e demais instituições nacionais sobre a importância desse espaço marítimo e fluvial sob jurisdição nacional, à luz dos direitos e deveres estabelecidos na Terceira Convenção das Nações Unidas sobre o Direito no Mar (CNUDM III) (EMA, 2020).

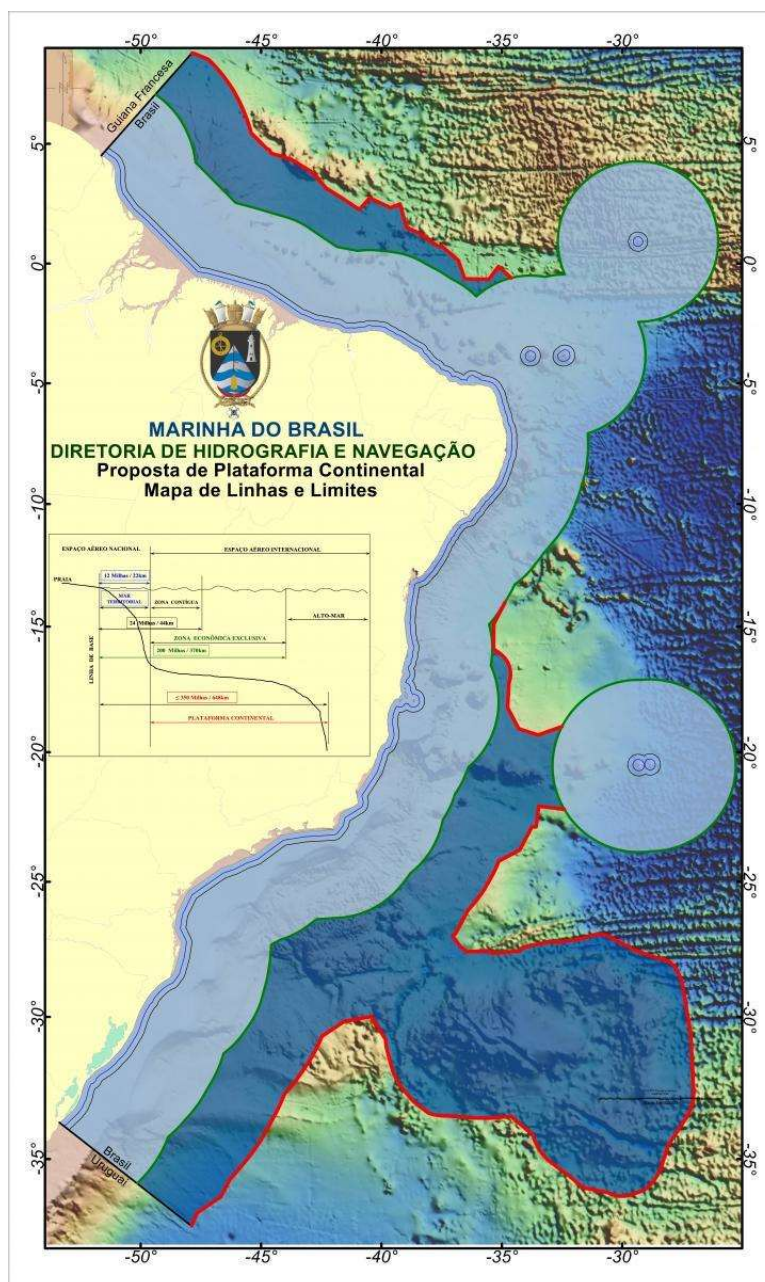


Figura 2 – Mapa de linhas e limites da proposta de plataforma continental brasileira “Amazônia Azul” (LEPLAC, 2021).

O Brasil possui uma das maiores extensões de margem continental do mundo, englobando diversos segmentos com bacias sedimentares de características geológicas distintas. A região ora em estudo compreende parte dos segmentos do Atlântico Central e Austral (IBGE, 2011; CPRM, 2003), conforme Figura 1b.

Alberoni et al. (2020), versa sobre o contraste morfológico desenvolvido nesta região devido especialmente à evolução tectônica e estrutural do embasamento quando da construção sedimentar *pós-rifte*, amplamente modificada pelo processo sedimentar ativo. O grau de extensão do embasamento durante o *rifteamento*<sup>3</sup> diminui do Sul para Norte, enquanto diversos sinais do vulcanismo *pré-rifte* e *sin-rifte* predominou na margem Sul (Fig. 1b).

Em complemento, o Serviço Geológico Brasileiro (CPRM, 2003), também aponta à estudos que observaram que os depocentros<sup>4</sup> das bacias sedimentares da margem continental apresentam uma espessura total de sedimentos (entre o fundo do mar e o embasamento pré-cambriano ou vulcânico) bastante variável e muitas vezes entrecortada por falhamentos geológicos. As maiores espessuras sedimentares da margem são observadas nos depocentros do Cone do Rio Amazonas e na Bacia de Barreirinhas (Fig. 3), e no segmento das bacias de Espírito Santo a Santos e no Cone do Rio Grande, na Bacia de Pelotas (Fig. 4).

---

<sup>3</sup> Processo de construção de uma estrutura pertencente a bacias tectônicas, originada por tectônica extensional sobre *hot spot*, margeada por falhas de gravidade, tipo *graben* alongado, desenvolvendo vale ou depressão extensa (*rifte valley*) em continentes ou, em sua possível evolução, em oceanos (*rifte* de cadeia meso-oceânica). Disponível em: <<http://sigep.cprm.gov.br/glossario/>>.

<sup>4</sup> Lugar de máxima deposição em uma bacia geológica e onde se tem a maior espessura do pacote de camadas da unidade stratigráfica considerada. Disponível em: <<http://sigep.cprm.gov.br/glossario/>>.

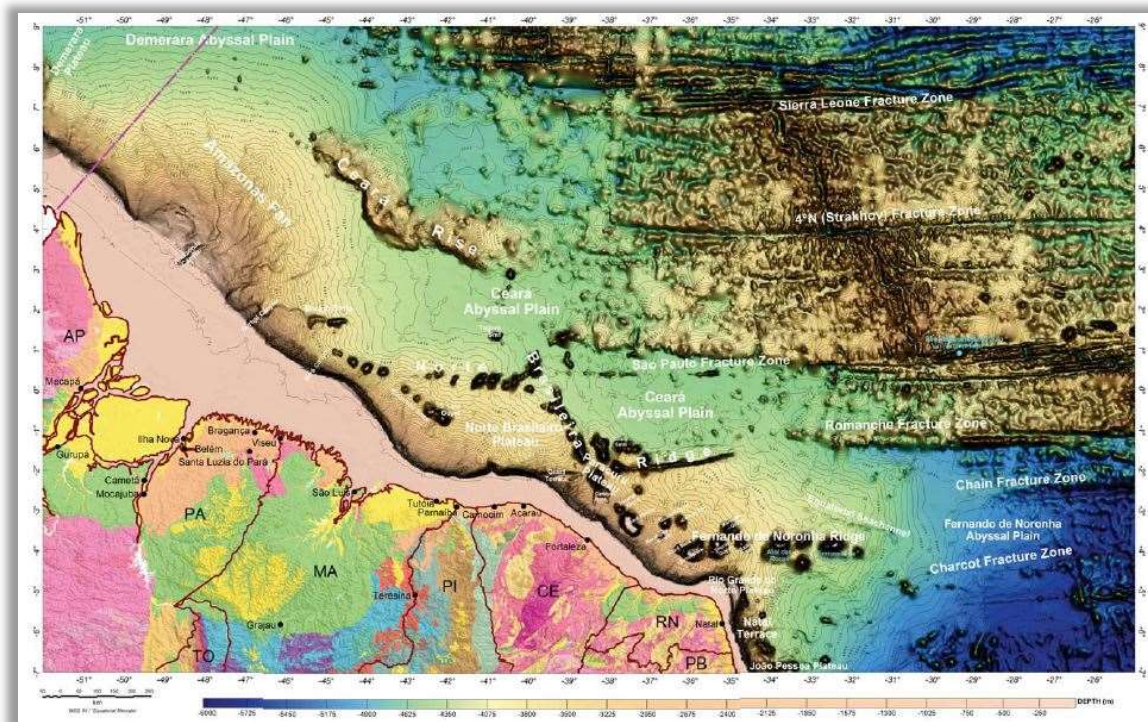


Figura 3 - Principais características morfológicas na margem Equatorial. Em terra, notam-se as cores oriundas do Mapa Geológico Brasileiro (CPRM, 2003). As seguintes características são classificadas como componentes ou prolongamentos naturais da margem continental brasileira: Delta do Amazonas, as Cadeias Norte Brasileira e de Fernando de Noronha, os Platôs de Paracatu, Rio Grande do Norte, Ceará e João Pessoa, os Terraços do Ceará e Natal, além de cânions, guyots e montes submarinos. A linha magenta tracejada representa a fronteira marítima com a República Francesa da Guiana (LEPLAC, 2016).

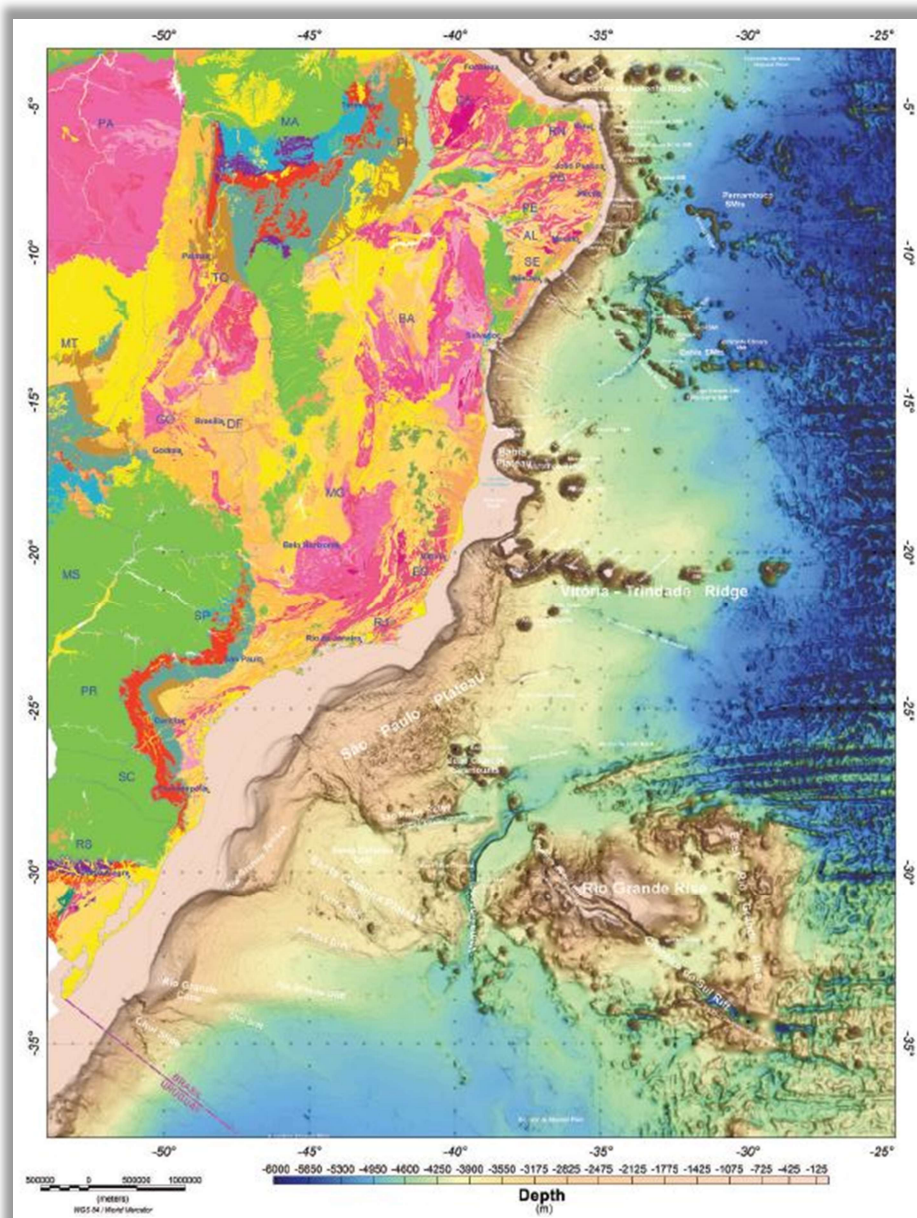


Figura 4 - Principais características morfológicas nas margens Oriental e Meridional. No continente, as cores advêm do Mapa Geológico Brasileiro (CPRM, 2003) e da divisão dos Estados brasileiros. As seguintes características morfológicas significativas, são classificadas como prolongamentos naturais da margem continental brasileira: Cânions de Aracaju, Bahia e Belmonte, Platôs da Bahia e Dorsal dos Abrolhos, Dorsal Vitória-Trindade, Platôs de São Paulo e Elevação do Rio Grande. Limite marítimo com o Uruguai em magenta (LEPLAC, 2018)

A fisiografia da margem continental pode ser compartimentada em diversos domínios, incluindo a plataforma, talude e terraço ou platô continental, a elevação continental e a planície abissal. Desta forma, a partir da linha de costa em direção ao mar profundo, observa-se a ocorrência de três grandes províncias submersas na margem continental brasileira.

Situada sobre uma margem tipo passiva, a plataforma continental é bastante heterogênea, com larguras variando de 10 km na sua menor porção, na costa da região nordeste, para até 300 km nas suas áreas mais largas, como na margem do estado do Pará e do Rio Grande do Sul, e profundidades máximas entre 70 e 200m, respectivamente (TAGLIARO, JOVANE, 2021; MOHRIAK, TORRES, 2017).

O talude continental se inicia a partir da quebra da plataforma continental e vai terminar na elevação continental. A região do talude continental se caracteriza por apresentar, em geral, uma elevada inclinação em relação às demais províncias, que apresentam declividades bem mais baixas.

Finalmente, observa-se a elevação continental, que se inicia ao fim do talude (designado como pé do talude) e termina nas planícies abissais que podem atingir profundidades maiores que 4.000 m. A inclinação do substrato marinho na elevação continental é bastante reduzida, e na planície abissal é próxima de zero, sendo afetada apenas por montes submarinos (MOHRIAK, TORRES, 2017).

Ademais, para melhor detalhar a morfologia da Margem Continental Brasileira (MCB), Alberoni et al. (2020) a dividiu em três grandes regiões: Margens Equatorial, Oriental e Meridional (Fig. 3 e 4), na sequência.

A margem continental Equatorial (Fig. 3), se estende desde a fronteira com a Guiana Francesa até o Planalto do Rio Grande do Norte, sendo resultado de um rift orientado ao longo dos segmentos da margem transformante (GORINI, 1981, apud ALBERONI et al., 2020). A largura da plataforma continental aumenta de Leste (E) para Noroeste (NW), de menos de 50 km para mais de 300 km, aproximando-se da plataforma continental amazônica, com aumento concomitante de profundidades de quebra de plataforma de 75 m (E) para quase 200 m (NW). Nesta região residem como feições principais o Cone e o Cânion do Amazonas, além das Cadeias Norte Brasileira e do Arquipélago de Fernando de Noronha, os Platôs (*Plateaus*) de Paracatu, Rio Grande do Norte, Ceará e João Pessoa, os Terraços do Ceará e Natal, além de cânions, *guyots* e montes submarinos (Fig. 3).

A margem continental Oriental (Fig. 4) se estende do Terraço Natal até a Cadeia Vitória-Trindade, tem uma plataforma continental estreita e uma encosta continental íngreme com quebra de profundidade de até 75 m. Essa estreita margem continental é interrompida localmente pela grande plataforma de Abrolhos e o banco *Royal Charlotte*, que são sustentados por pilares vulcânicos e acrescentam cerca de 5 vezes a média da largura da plataforma continental, passando então de 20 km para aproximadamente 100 km, nesta

região. Acrescenta-se como características morfológicas significativas desta área, os Cânions Aracajú, Bahia e Belmonte.

A margem continental Meridional (também na Fig. 4) compreende desde o Platô de São Paulo até a fronteira com o Uruguai, e possui grandes plataformas com larguras variáveis e profundidades de quebra de plataforma de até 200 m (ALBERONI et al., 2020). Alterações abruptas de gradientes em partes do terreno, devido ao elevado número de feições geomorfológicas distintas, destacam-se nesta região feições como: os Montes Submarinos *Jean Charcot*, a Elevação do Rio Grande (ERG) e o Rifte Cruzeiro do Sul, os Platôs de São Paulo e de Santa Catarina, o Cone do Rio Grande e o Deslizamento do Chuí (FLORENTINO, 2018).

### 3. O PAPEL DA INFORMAÇÃO BATIMÉTRICA NO RELACIONAMENTO DA IDEM E DO PEM NACIONAL

Conhecida mundialmente pelo termo *Marine Spatial Data Infrastructures* (MSDI) (IHO, 2017a), as Infraestruturas de Dados Espaciais Marinhos (IDEM), têm sido definidas como uma componente das Infraestruturas de Dados Espaciais (IDE's) dedicada ao propósito marinho e/ou marítimo. Se fundamenta no conjunto de quatro pilares (Fig. 5), sendo: pessoas (aspectos políticos e governança), padrões (especificações técnicas), dados espaciais (conteúdo geográfico marinho) e tecnologias (sistemas de informação, armazenamento e distribuição de dados e produtos).



Figura 5 – Principais componentes de uma IDEM. Adaptado de IHO (2017a).

Destacando a referência aos dados espaciais, estes usualmente abrangem informações geoespaciais marinhas e costeiras contemplando aspectos sobre: batimetria do fundo do mar (elevação), geologia, infraestrutura (por exemplo, destroços, instalações offshore, dutos, cabos), limites administrativos e legais, áreas de conservação e habitats marinhos e oceanografia (IHO, 2017a, 2018a; CONTARINIS; PALLIKARIS; NAKOS, 2020).

Neste conjunto, observa-se o papel da topografia do fundo marinho, ou batimetria, como variável fundamental as demais camadas de informação (STRAIN; RAJABIFARD; WILLIAMSON, 2006; FOWLER et al., 2010; FLORENTINO et al., 2019a, DE SÁ et al., 2019), Fig. 6.

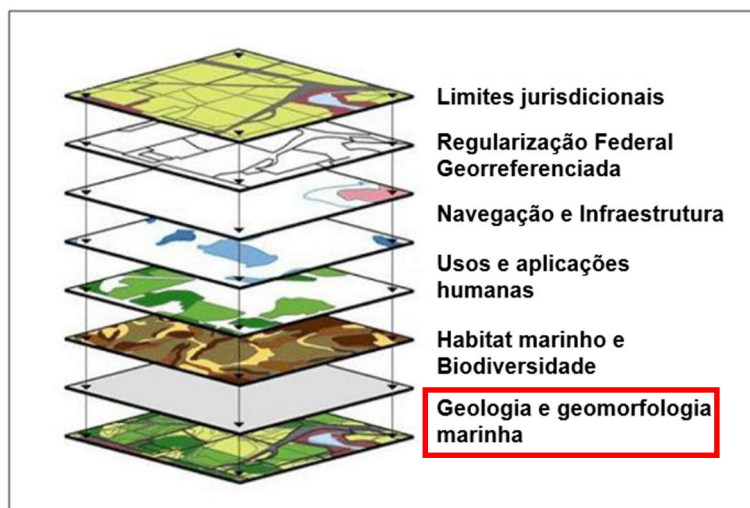


Figura 6 – Exemplo da organização dos temas de uma IDEM. Adaptado de Fowler et al. (2010).

Integrada à IDEM, a batimetria pode ser eficientemente reunida, armazenada e distribuída de forma criteriosa aos usuários ou entidades interessadas, para então apoiar projetos ou pesquisas em diversas áreas, ultrapassando assim a temática original da segurança da navegação (WÖLFL et al., 2019; QUADROS, 2012). Como exemplo, pode-se citar os diversos trabalhos voltados à modelagem numérica utilizada no aperfeiçoamento de modelos meteorológicos e oceanográficos (GABIOUX et al., 2013; LACASCE, 2017), ou aqueles dedicados a compreensão dos fenômenos geomorfológicos submarinos (IBGE, 2011; CPRM, 2003; DIAS et al., 2019; VRDOLJAK et al., 2021). Nota-se também a empregabilidade do dado batimétrico no reconhecimento e delimitação de províncias geomorfológicas e nas análises de risco geológicos de pequena e larga escala, sendo imprescindíveis às discussões sobre a expansão de limites territoriais em direção ao mar (CHIOCCI; CATTANEO; URGELES, 2011; MOHRIAK, TORRES, 2017; TORRES et al., 2008; DIAS et al., 2019).

Deste modo, atuando de forma harmônica com as Infraestruturas Nacionais de Dados Espaciais – muitas vezes com foco nas questões e dados espaciais continentais - as IDEM's dedicam-se a prover os elementos necessários ao domínio espacial e dinâmico da região

marinha e costeira (FLORENTINO et al., 2019a). Assim, as IDEM's demonstram naturalmente uma vocação para o embasamento do conceito e das ações envolvidas pelo Planejamento Espacial Marinho (PEM), buscando reunir e integrar os diferentes usos do espaço marinho (Fig. 7), com foco na solução dos potenciais conflitos de interesses (CONTARINIS; PALLIKARIS; NAKOS, 2020).

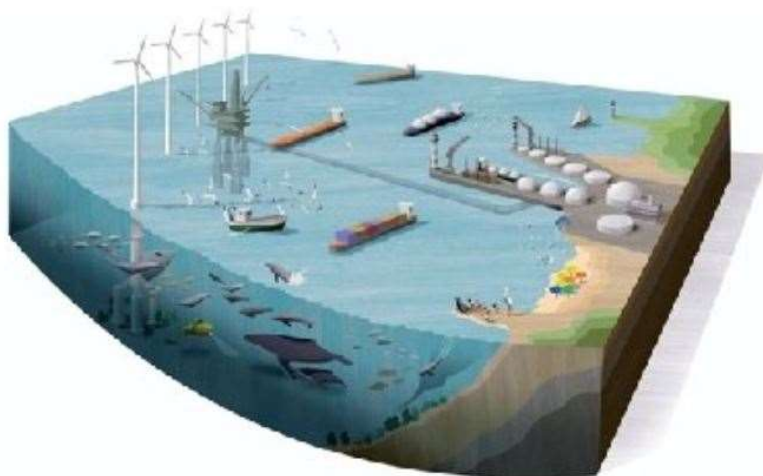


Figura 7 – Cenário conceitual de atuação do PEM. Fonte: Adaptado de Ehler (2018).

O *Marine Spatial Planning* (MSP) ou Planejamento Espacial Marinho (PEM), surge alinhado às diretrizes e tendências mundiais manifestadas como “economia azul” (*Blue Economy*) e “uso inteligente dos oceanos” (*Smart Oceans*), bem como aquelas sustentadas pela Década das Nações Unidas da Ciência Oceânica para o Desenvolvimento Sustentável, ou Década do Oceano. Estas visam estabelecer uma gestão eficiente dos recursos e potenciais do conhecimento marinho, em prol da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Assim, por meio do uso das Infraestruturas de Dados Espaciais (IDE's) e seus geoserviços (via internet), busca-se a reunião, armazenamento e uso de uma grande quantidade de dados e informações espaciais marinhas do território nacional para o devido ordenamento espacial (RYABININ, 2020; GANDRA et al., 2020; CONTARINIS; PALLIKARIS; NAKOS, 2020).

Estudos apontam que o alinhamento da implementação efetiva de IDEM's nacionais e regionais, aos conceitos do Planejamento Espacial Marinho (PEM) (CIRM, 2019; IHO, 2018a), tem proporcionado significativo auxílio a decisões de caráter político-estratégico, envolvendo o uso e ocupação do espaço marinho, implicando em notáveis benefícios

socioeconômicos à estas nações (GRIFFIN et al., 2017; CONTARINIS; PALLIKARIS; NAKOS, 2020).

### 3.1. UM PANORAMA DAS IDEMs E DO PEM PELO MUNDO

A crescente tendência das atividades relacionadas ao estabelecimento de IDEM's nacionais e regionais pode ser constatada pelo aumento nos últimos anos, do número de atores dos setores públicos e privados, bem como o número de delegações dos Estados Membros da Organização Hidrográfica Internacional (OHI), nas reuniões do IHO-MSDIWG (Grupo de Trabalho dedicado a IDEM, tradução livre) (IHO, 2018a). Como exemplo, houve aumento de participantes de forma constante de 14 em 2008, para 35 em 2019, e 58 em 2020 (PANG, OEI, 2020).

Florentino (2018), versa que o estabelecimento de IDEM ou a adaptação de uma IDE pré-existente para agregar os componentes marinhos têm sido uma solução prática adotada por diversas nações ao redor do globo.

Nos Estados Unidos, logo em 2010, pesquisadores da *National Oceanic and Administration* (NOAA) já apontavam a necessidade de investimentos e estratégias adequadas à aplicação de dados geoespaciais marinhos de maior escala para maximizar os resultados socioeconômicos e científicos dos projetos. Vislumbrava-se a aplicação destes dados espaciais, por meio do uso de IDEM, em apoio ao conceito de Planejamento Espacial Marinho (PEM), atuando sobre uma perspectiva ecossistêmica baseada na análise de dados em diversas escalas.

Pode-se ainda citar os casos de evolução das infraestruturas: INSPIRE (2018), que serviu de base aos programas específicos de dados marinhos europeu EMODnet (2018a) e SeaDataNet (2021), ou a *Malaysia Geospatial Data Infrastructure* (MyGDI, 2018) que evoluiu a partir da *National Infrastructure for Land Information System* (NaLIS). O *Land Information New Zealand* (LINZ, 2018), tal qual o projeto GeoConnections do *Natural Resources Canada* (NRCAN, 2018) se destacam pela adoção do modelo de IDEM coerente a iniciativa conhecida por “*Open Government*”. Em destaque, observa-se o plano de implementação da IDEM em Singapura, denominado *MSDI-GeoSpace-Sea*, que visa o atendimento integrado dos princípios da *UN-GGIM IGIF Nine Strategic Pathways* (UN-GGIM, 2018) e do Planejamento Espacial Marinho (PEM).

Ainda no âmbito internacional, um foco tem sido dado às IDEM e ao Planejamento Espacial Marinho (PEM) pela Organização das Nações Unidas (UN), que estabeleceu em

2017, com apoio dos Serviços Hidrográficos membros da OHI, a criação dentro do Comitê de Especialistas em Gerenciamento Global em Informação Geoespacial (GGIM), do Grupo de Trabalho de Informação Geoespacial Marinha (UN-GGIM MGI WG), e mais recentemente, tem endereçado tais questões para assessoramento governamental de alto nível com base em sua Agenda 2030 para os Objetivos ao Desenvolvimento Sustentável (ODS) (PANG, OEI, 2020).

### 3.2. A SITUAÇÃO NACIONAL DA IDEM-DHN E DO PEM

Desde 2008, o Brasil teve regulada a participação dos órgãos governamentais produtores de dados espaciais - entre os quais a Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) – para disponibilizar seus dados, produtos e metadados, de acordo com padrões estabelecidos pela Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), Decreto nº 6.666/2008 (BRASIL, 2008). Assim, esforços vêm sendo adotados por parte desta instituição, com o objetivo de facilitar o acesso e a integração de dados espaciais marinhos por meio da implementação de sua IDEM-DHN (PINHEIRO, FLORENTINO, 2017).

A IDEM-DHN segue orientada pela Norma de Acesso aos Dados e as Informações Abertas da Diretoria de Hidrografia e Navegação (NAD-DHN) (DHN, 2018), e prevê alcançar o compartilhamento de vários elementos do ambiente marinho, inclusive o dado de batimetria, apontado por Gandra et al. (2018) como fundamental a inúmeros projetos, tal como ao desenvolvimento de um PEM; e também proposto em Florentino et al. (2019a). Ademais, tal como previsto no Plano de Ação para Implantação da INDE (2010), o conjunto de dados de elevação e batimetria é apontado como insumo básico para o referenciamento geográfico de informações temáticas do território nacional, permitindo assim estabelecer o devido paralelo junto ao desenvolvimento da IDEM-DHN.

Destaca-se que ao longo dos anos, o Brasil vem desenvolvendo diversas pesquisas relacionadas à temática marinha, tal qual o histórico dos projetos REMAC (Reconhecimento da Margem Continental) na década de 1970, seguido pelo LEPLAC (Plano Levantamento da Plataforma Continental) com início no final dos anos 1980 (MOHRIAK, TORRES, 2017). Têm-se ainda, os programas REVIZEE (Programa de Avaliação do Potencial Sustentável dos Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva) e REMPLAC (Programa de Avaliação da Potencialidade Mineral da Plataforma Continental Jurídica Brasileira), respectivamente aprovados pelas Resoluções nº003/94 e nº004/97 da Comissão Interministerial para Recursos do Mar – CIRM, nos anos 1990 (SOUZA et al., 2009).

Sendo estes alguns exemplos de investimentos ora realizados para maior conhecimento do fundo marinho nacional, percebe-se tratar de uma gama significativa de dados geoespaciais com alto custo de coleta, armazenamento e gestão. Desta forma, parte de tais dados encontram-se depositados no Banco Nacional de Dados Oceanográficos - BNDO, sob atual gestão da própria DHN. Assim, uma vez envolto nos planos futuros para a Infraestrutura de Dados Espaciais Marinhos da Diretoria de Hidrografia e Navegação (IDEM-DHN), esta compreenderá um rico universo de informações marinhas e marítimas, organizadas por diferentes camadas atinentes ao cenário geográfico, tal como sua topografia marinha nacional e outras (DE SÁ et al., 2019, FLORENTINO et al., 2019).

De modo mais recente, acrescenta-se o lançamento do geoportal da IDEM-DHN (Fig. 8), em 4 de outubro de 2022, com a versão inicial (v.1.0) dos catálogos de metadados e geoserviços, bem como seu visualizador de mapas (DHN, 2022).



Figura 8 – Geoportal IDEM-DHN, disponível em: <<https://idem.dhn.mar.mil.br/>>.

Além disso, houve o avanço das ações do Grupo de Trabalho Uso Compartilhado do Ambiente Marinho (GT-UCAM), instituído pela Portaria nº 213/MB/2019, dentro do Plano Setorial para os Recursos do Mar (PSRM) e tratado pela Resolução nº1/2013 da CIRM, da iniciativa do Planejamento Espacial Marinho (PEM) (OHI, 2017a; CONTARINIS; PALLIKARIS; NAKOS, 2020; CIRM, 2019). Assim, coordenado pela CIRM, a execução do PEM ocorre por meio do Comitê Executivo PEM (CE-PEM), cuja composição foi definida na Portaria nº 235/MB/2020, e conta com a participação de representantes da Casa

Civil da Presidência da República (Casa Civil/PR) e diversos Ministérios, da Secretaria de Portos da Presidência da República (SEP/PR), do Estado-Maior da Armada (EMA/MB) e da Diretoria de Portos e Costas (DPC/MB).

De modo concreto, após uma série de reuniões do Comitê Executivo PEM, houve a publicação em dezembro de 2022, do Edital de Seleção Pública BNDES FEP (Banco Nacional de Desenvolvimento - Fundo de Estruturação de Projetos) ao “Projeto-Piloto de PEM à região marinha do sul do Brasil”, englobando os Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (BNDES, 2022). Nota-se neste documento a relevância especificada aos dados espaciais que subsidiarão a construção do cenário geográfico dedicado à análise integrada dos múltiplos usos do espaço marinho, bem como a tendência dos investimentos nacionais sobre o tema.

Desta forma, percebe-se que tal qual aprovado pelo Decreto nº 10.544, de 16 de novembro de 2020, o X Plano Setorial para os Recursos do Mar (PSRM) segue com o desenvolvimento da Meta nº 7.9.2 - item k, dedicada a implementação, no âmbito da INDE, da IDEM nacional para permitir o acesso, de forma geoespacializada, a dados já coletados na Amazônia Azul e de relevância ao seu ordenamento (CIRM, 2020).

Por fim, coaduna-se aos anseios da IDEM-DHN, o atendimento às orientações e boas práticas internacionais oriundas do IHO-MSDIWG e do UN-GGIM MGI WG, bem como as nacionais observadas nas iniciativas da INDE e do PEM, observando na atuação sinérgica a otimização de recursos materiais, humanos e financeiros necessários ao desenvolvimento destes projetos (FLORENTINO et al., 2019a).

#### 4. A AVALIAÇÃO DA TOPOGRAFIA DO FUNDO MARINHO E SEUS MODELOS BATIMÉTRICOS DIGITAIS

Com um domínio submerso superior a 71% da superfície do planeta e apenas 20% deste adequadamente mapeado, o conhecimento pleno da topografia do fundo marinho ainda representa um dos maiores desafios para a humanidade (LUCIEER; LECOURS; DOLAN, 2019; FERRINI et al., 2021; GEBCO, 2021; HARARI, 2021). Tal tarefa segue atrelada a diversas atividades humanas e requer severo esforço para tomada de medições precisas e capazes de representar de modo fidedigno as dimensões e detalhes geomorfológicos característicos das feições marinhas, fato que impõe maiores dificuldades e restrições à medida que se avança rumo oceano profundo (BONGIOVANNI; STEWART; JAMIESON, 2020; WÖLFL et al., 2019).

Pesquisa recente (GEBCO, 2021b), cobrindo universo de 90 países com cerca de 800 profissionais das comunidades científica, acadêmica, setores públicos e privados, bem como funcionários do governo e de defesa, apresenta que 40% dos entrevistados consideram o principal benefício do mapeamento do fundo oceânico como "o avanço ao entendimento científico das características do fundo do mar" e destes, 11% destacam a necessidade de "monitorar os desafios ambientais ao longo do tempo". Das pessoas ouvidas, 81,67% apontaram os dados batimétricos como as informações geoespaciais mais desejadas, seguidos pelos dados ambientais, dados oceanográficos e classificação das feições do fundo do mar. Observa-se que a maioria dos inquiridos no estudo (58,31%) manifestou interesse em ter acesso a quaisquer conjuntos de dados batimétricos através de um portal de dados marítimos online.

Sendo a batimetria uma variável contínua neste cenário (LI, HEAP, 2014; IHO, 2017b), observa-se que o uso das superfícies batimétricas disponíveis ou MDT - Modelos Digitais de Terreno (3D) gerados a partir do conjunto de dados hidrográficos (Fig. 9a) ou outras técnicas afins como a batimetria derivada de satélites altimétricos (Fig. 9b), têm se mostrado uma abordagem adequada ao longo dos anos, para avaliação de diversos projetos e atividades marítimas (FERREIRA et al., 2022; VRDOLJAK, 2021; LUCIEER; LECOURS; DOLAN, 2019).

O Modelo Digital de Terreno (MDT) marinho é um tipo especial de Modelo Digital de Elevação (MDE), que visa descrever a topografia marinha incluindo alguns recursos como linhas de quebra ou fraturas, além de feições em terra irregularmente espaçadas que

forneem uma melhor caracterização do terreno descoberto (WILSON, 2012; DSG, 2016; VRDOLJAK et al., 2021).

Contudo, para maior fidelidade à realidade que se deseja modelar, estudos desenvolvidos por Macnab e Varma (2008), IHO & IOC (2019) e Sepúlveda (2020a, 2020b), recomendam que os MDTs marinhos devem abranger o número máximo de dados batimétricos qualificados disponíveis e de preferência aqueles coletados por métodos acústicos, como os aplicados por ecobatímetros multifeixe ou monofeixe usados em levantamentos hidrográficos, ilustrado na Figura 9a (IHO, 2020; DHN, 2017).

No Brasil, à exemplo do que também ocorre em outros Serviços Hidrográficos, os dados coletados por meio de LH devem atender à requisitos mínimos de acurácia e precisão, para serem então categorizados à luz das especificações internacionais, como a S-44, 6ª edição (IHO, 2020) e C-13 (IHB, 2011), bem como em respeito a norma nacional, caso da NORMAM-25 (DHN, 2017). Com a finalidade de verificar o potencial aproveitamento de tais dados para produção de documentos náuticos, cabe à Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), por meio de seu órgão técnico subordinado o Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), proceder com o controle, verificação e qualificação de tais informações hidrográficas. Assim, para que estes LH possam efetivamente compor o fluxo de produção cartográfica, são aplicados rigorosos processos de análise, com ênfase no controle de qualidade e na constatação da relevância e do impacto de tais dados para a garantia da segurança da navegação (MAIA et al., 2017).

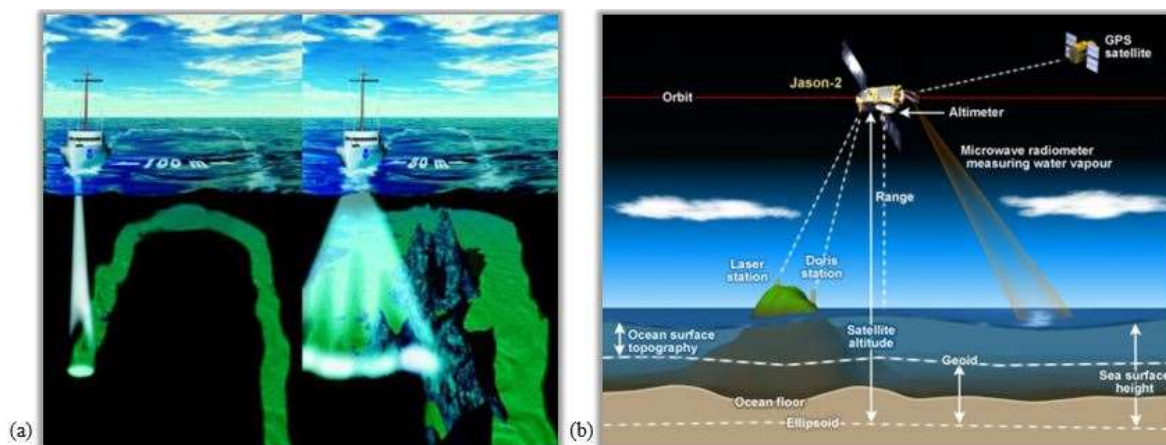


Figura 9 – (a) Coleta de dados batimétricos por método acústico (monofeixe e multifeixe).  
 (b) Aquisição de profundidades derivadas de medição por radar altimétrico satelital. Fonte: NOAA/STAR<sup>5</sup>, 2022.

Dedicado a caracterização geral do fundo marinho observa-se o enorme valor das profundidades derivadas de satélites altimétricos aos estudos de geociências (Fig. 9b), contudo estes requerem atenção em seu uso, pois possuem variações em suas medidas por inúmeras razões (oceanográficas como marés e correntes, e climatológicas, como o vento e pressão atmosférica). A principal delas consiste na estimativa da anomalia gravimétrica, que depende das características morfológicas e das diferentes densidades que habitam a subsuperfície da região. Ou seja, a constituição do fundo marinho e do subfundo (tipo de rocha e disposição das camadas) são fatores determinantes à medida altimétrica que pode, ao fim, não refletir a realidade das profundidades estimadas por este método. Com base em todas as aproximações e erros presentes, têm-se que a resolução espacial deste tipo de observação varia de 5 a 12 km, com uma incerteza vertical em determinados locais superior a 100 m (SANDWELL et al., 2003; MACNAB, VARMA, 2008; FERREIRA et al., 2022). A consciência sobre este problema com o dado batimétrico derivado da altimetria-radar por satélites, levou Torres et al. (2003), em seu trabalho de construção da Base de Dados Batimétricos do Atlântico Sul, à definição de uma grade regular cujo *cell size* regular primário foi de 4.000 m e, em sua concepção final, 10.000 m. Durante este processo fez-se necessário o uso dos dados ETOPO2' disponíveis à época, sendo estes aplicados estritamente para profundidades superiores a 2.500 m, onde não haviam informações oriundas de métodos acústicos de coleta, ou seja LHs.

<sup>5</sup> NOAA/NEDIS/STAR – *Satellite Application and Research*: <<<https://www.star.nesdis.noaa.gov/socd/lsa/AltBathy/index.php>>>, acesso em 12 dez. 2022.

Como exemplo da busca por dados de sondagens devidamente qualificados, que venham a somar ao processo de construção dos MDTs pode-se citar os projetos do *IHO Crowdsourced Bathymetry Working Group*, iniciado em 2014 (IHO, 2014) e o *The Nippon Foundation – GEBCO – Seabed 2030 Project*, estabelecido em 2016 (JAKOBSSON et al., 2017; MAYER et al., 2018). Tal prática tem apoiado a atualização do conjunto dos dados de origem e consequentes, novas realizações destes MDTs, como o caso das versões dos MDTs dos projetos EMODnet-Bathymetry e GEBCO.

O EMODnet em 2016, deu início a fase denominada "*EMODnet High Resolution Seabed Mapping*" (SCHAAP, 2016). Esta ação visava consolidar os conhecimentos a respeito daquele território e a expansão da cobertura batimétrica sobre a região europeia com a melhora da resolução espacial de seu MDT pré-existente. Avanços deste projeto mostram que, enquanto a superfície global "GEBCO2014" possui resolução espacial de arco de 1/2 de minuto (926 m), o MDT EMODnet já buscava alcançar a melhora de 1/8 (231,5 m) em 2016, para 1/16 arco de minuto (115,75 m) em 2020, com o incremento de novas sondagens (EMODnet, 2018, 2021).

De modo similar, observa-se os investimentos realizados pelo *The Nippon Foundation – GEBCO – Seabed 2030 Project*. Este é um projeto colaborativo que visa concentrar os esforços em Centros Regionais capazes de reunir todos os dados batimétricos disponíveis de sua área de abrangência, para produzir um mapa definitivo com elevações continentais e do fundo oceânico, em escala mundial e disponibilizá-lo a todos (GEBCO, 2021; JAKOBSSON et al., 2017; MAYER et al., 2018).

#### 4.1. SUPERFÍCIE GEBCO2014

Conforme descrito em Florentino (2018), a superfície global GEBCO2014 foi desenvolvida e amplamente utilizada pelos trabalhos dedicados à temática marinha (Fig.10). Lançado em dezembro de 2014, pelo Programa GEBCO – *General Bathymetric Chart of the Oceans*, da *International Hydrographic Organization (IHO)* e *Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) of United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization (UNESCO)*, possui uma resolução espacial de arco de 30", que equivale a uma distância 926 m sobre a linha do Equador. Sua grade baseia-se num conjunto de dados batimétricos tomados a partir de linhas de sondagens oriundas de navios, sendo estas interpoladas com auxílio de informações advindas de radares altimétricos (WEATHERALL et al., 2015).

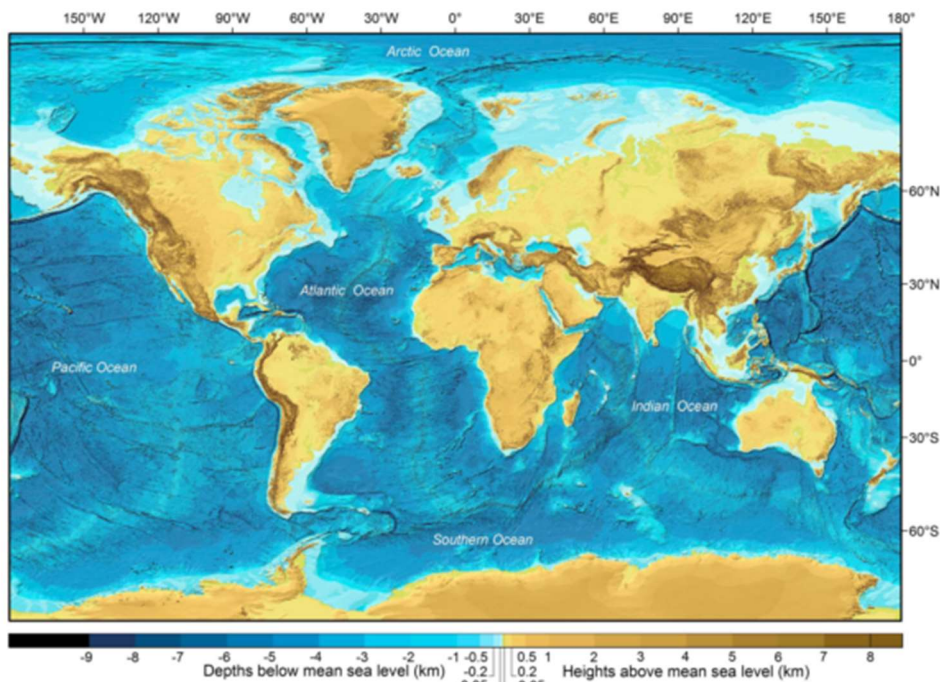


Figura 10 - Superfície GEBCO2014. Fonte: WEATHERALL et al., 2015.

Com origem no aperfeiçoamento do modelo GEBCO\_08, que já possuía grande parte sua batimetria estimada com o auxílio de satélites altimétricos, o GEBCO2014 possui sobre a porção oceânica, apenas, 18% de suas células com ao menos uma sondagem oriunda de métodos acústicos. Ou seja, cerca de 82% da região oceânica deste modelo é fruto de interpolações guiadas pelas medidas estimadas do SRTM30\_Plus versão 5.0 (BECKER et al., 2009).

Ademais, Weatherall et al. (2015) aponta que a superfície GEBCO2014 consiste da colaboração de várias instituições nacionais, regionais e serviços hidrográficos. Os metadados referentes a origem das células interpoladas ou baseadas nas sondagens, pode ser encontrado graças ao *Source Identifier Grid* (SID), que acompanha a distribuição do modelo nos formatos digitais: netCDF (.nc), ArcGisAsciiGrid (.asc) ou GeoTiff (.tiff); pelo endereço eletrônico: [www.gebco.net/data\\_and\\_products/gridded\\_bathymetry\\_data/](http://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/) (WEATHERALL et al., 2015).

## 4.2. SUPERFÍCIE GEBCO2020

O GEBCO2020 Grid é o segundo produto batimétrico global desenvolvido através da GEBCO, em seu *Nippon Foundation-GEBCO Seabed 2030 Project* (GEBCO, 2020; FERRINI et al., 2021).

Este modelo fornece dados de elevação, em metros, em uma grade com resolução espacial de arco de 15" (~500×500m, no Equador). Inclui vários conjuntos de dados adicionais em comparação com a grade GEBCO\_2019 e outros precursores dispostos em 43.200 linhas x 86.400 colunas, fornecendo 3.732.480.000 células.

Contrastando com seus predecessores, GEBCO2014 (Fig. 7a) e 2019 (Fig. 7b) sendo este último também resultado da iniciativa *Seabed2030*, a superfície GEBCO2020 (Fig. 7c) caracteriza-se pela união de um número maior de sondagens batimétricas oriundas de diversas entidades contribuintes, tal qual a própria Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) e outros Serviços Hidrográficos, por meio dos Centros Regionais do Projeto *SeaBed2030* (FERRINI et al., 2021).



Figura 11 – Evolução da cobertura de sondagem nos MDTs GEBCO. Superfície GEBCO2014(a), GEBCO\_2019(b) e GEBCO2020(c). Fonte: Adaptado de FERRINI et al., 2021.

Apesar da junção destas sondagens, o MDT GEBCO2020 tem como base a contribuição dos dados de batimetria derivada do modelo SRTM15 +, V.2 (TOZER et al., 2019). Este segue como evolução do SRTM30\_PLUS (BECKER et al., 2009) - aplicado no MDT GEBCO2014 - e SRTM15\_PLUS V1 (OLSON et al., 2016, apud TOZER et al., 2019).

Sabe-se que, o uso das batimetrias derivadas de satélites altimétricos é menos preciso e de resolução muito inferior àquelas obtidas pelos modernos métodos acústicos, caso dos ecobatímetros multifeixe por exemplo. Entretanto, dadas as grandes distâncias e dificuldades envolvidas na obtenção de uma cobertura maior dos oceanos pelos métodos consagrados, a

aplicação destas estimativas satelitais ainda se mostra melhor do que a interpolação direta entre as esparsas linhas de sondagem ora existentes (MAYER et al., 2018, FERREIRA et al., 2022).

De modo similar a superfície GEBCO2014, os metadados referentes ao GEBCO2020 como a origem das células interpoladas ou baseadas nas sondagens, pode ser obtida pelo *Source Identifier Grid* (SID), que acompanha a distribuição do modelo nos formatos digitais: netCDF (.nc), ArcGisAsciiGrid (.asc) ou GeoTiff (.tiff); pelo endereço eletrônico: [www.gebco.net/data\\_and\\_products/gridded\\_bathymetry\\_data/](http://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/) (GEBCO, 2020).

#### 4.3. SUPERFÍCIE ETOPO1'

A superfície ETOPO1 - *1 Arc-Minute Global Relief Model*, foi construída em 2008 pelo *National Geophysical Data Center* (NGDC/NOAA), como o aperfeiçoamento do modelo ETOPO2v2 *Global Relief Model*. Fruto da união de conjuntos de dados batimétricos (regionais e globais) e altitudes derivadas de satélites altimétricos, por meio da compatibilização dos diversos data verticais e horizontais, possui uma resolução espacial equivalente ao arco de 1', ou seja, 1.852 m aproximadamente (AMANTE, EAKINS, 2009). Originalmente disponibilizado nas versões "Superfície de Gelo" (Fig. 12) e "Escudo Rochoso" (Fig.13) simboliza respectivamente, a cobertura das calotas de gelo existentes na Antártica e Groenlândia e apenas a base rochosa destas regiões, respectivamente.

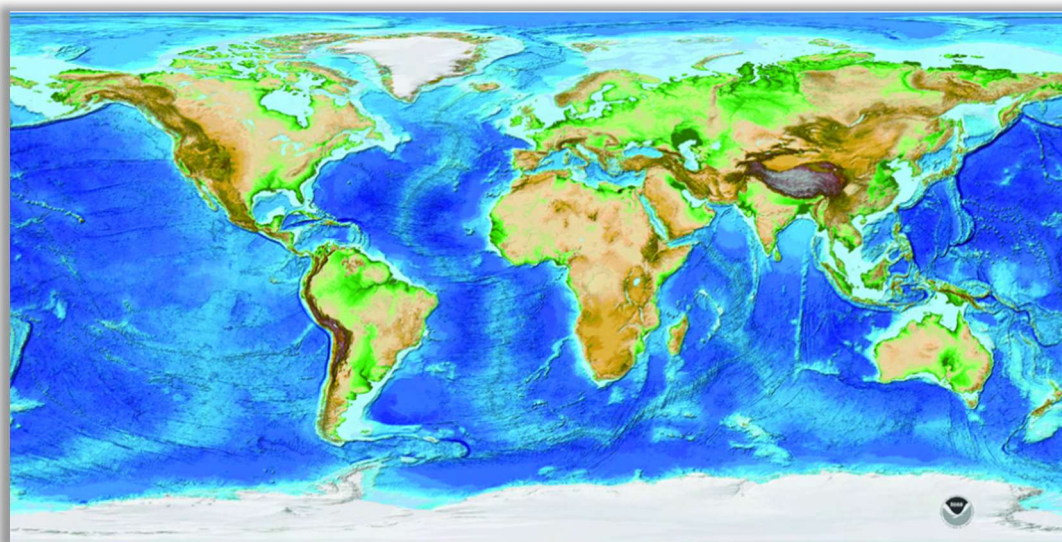


Figura 12 - ETOPO1 "Superfície de Gelo". Fonte: AMANTE e EAKINS, 2009.

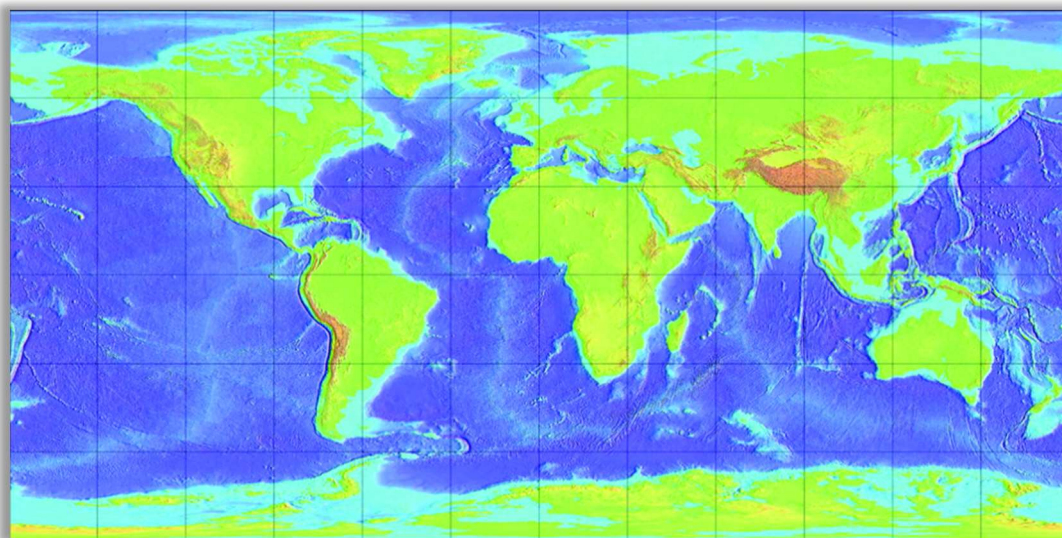


Figura 13 - ETOPO1 "Escudo Rochoso". Fonte: AMANTE e EAKINS, 2009.

Sua batimetria deriva em grande parte das medidas de altimetria por satélite. Estas foram usadas primeiramente para calcular a anomalia gravitacional e, em seguida, foram convertidas em estimativas das profundidades oceânicas, tendo as sondagens próximas como parâmetros de tolerância (SANDWELL, SMITH, 1997).

Como descrito em Florentino (2018), o ETOPO1 possui referencial vertical no nível médio dos mares e horizontal sobre o elipsoide WGS84. Seu sistema de coordenadas é o Geográfico (com graus decimais), englobando toda a superfície terrestre, desde 90°S a 90°N em latitude e 180°E a 180°W em longitude. O modelo tem um largo uso pela comunidade científica, sendo disponibilizado nos formatos digitais: netCDF (.nc), GMTNetCDF (.grid), GeoTiff (.tiff), Ascii (.xyz), ArcGisAsciiGrid (.asc) e outros, por meio do servidor de dados científicos ERDDAP (*Easier Access to Scientific Data*), na internet<sup>6</sup>.

#### 4.4. SUPERFÍCIE LEPLAC Brasil

Compreendendo a Margem Continental Brasileira (MCB), a superfície batimétrica "LEPLAC Brasil", é um Modelo Digital de Terreno (MDT) dedicado a descrição geomorfológica e atualização da nomenclatura de feições marinhas no âmbito nacional.

Possui também a finalidade de subsidiar tecnicamente a proposta brasileira de extensão dos limites territoriais marinhos para além das 200 milhas náuticas tomadas a partir

---

<sup>6</sup> <https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/griddap/etopo180.html>

da Linha de Base (LB), atuando conforme previsto no Artigo nº76 da Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (UNCLOS, 1994), quando submetida à apreciação pela Comissão de Limites da Plataforma Continental (CLPC)<sup>7</sup>.

Desenvolvida no âmbito do Plano de Levantamentos da Plataforma Continental (LEPLAC), por equipe técnica multidisciplinar da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) e publicamente lançada em setembro de 2019, a superfície LEPLAC Brasil caracteriza-se pela união de um significativo número de dados batimétricos oriundos de levantamentos hidrográficos (LHs) agregados desde a década de 1980, e sistematicamente qualificados junto às tecnologias atuais (Fig. 14) (ALBERONI, et al., 2020)

---

<sup>7</sup>Página eletrônica principal da *Division for Oceans Affairs and Law of the Sea*: [http://www.un.org/depts/los/clcs\\_new/commission\\_submissions.htm](http://www.un.org/depts/los/clcs_new/commission_submissions.htm), contendo o status da proposta brasileira ao CLCS. Acesso em 16 de outubro de 2021.

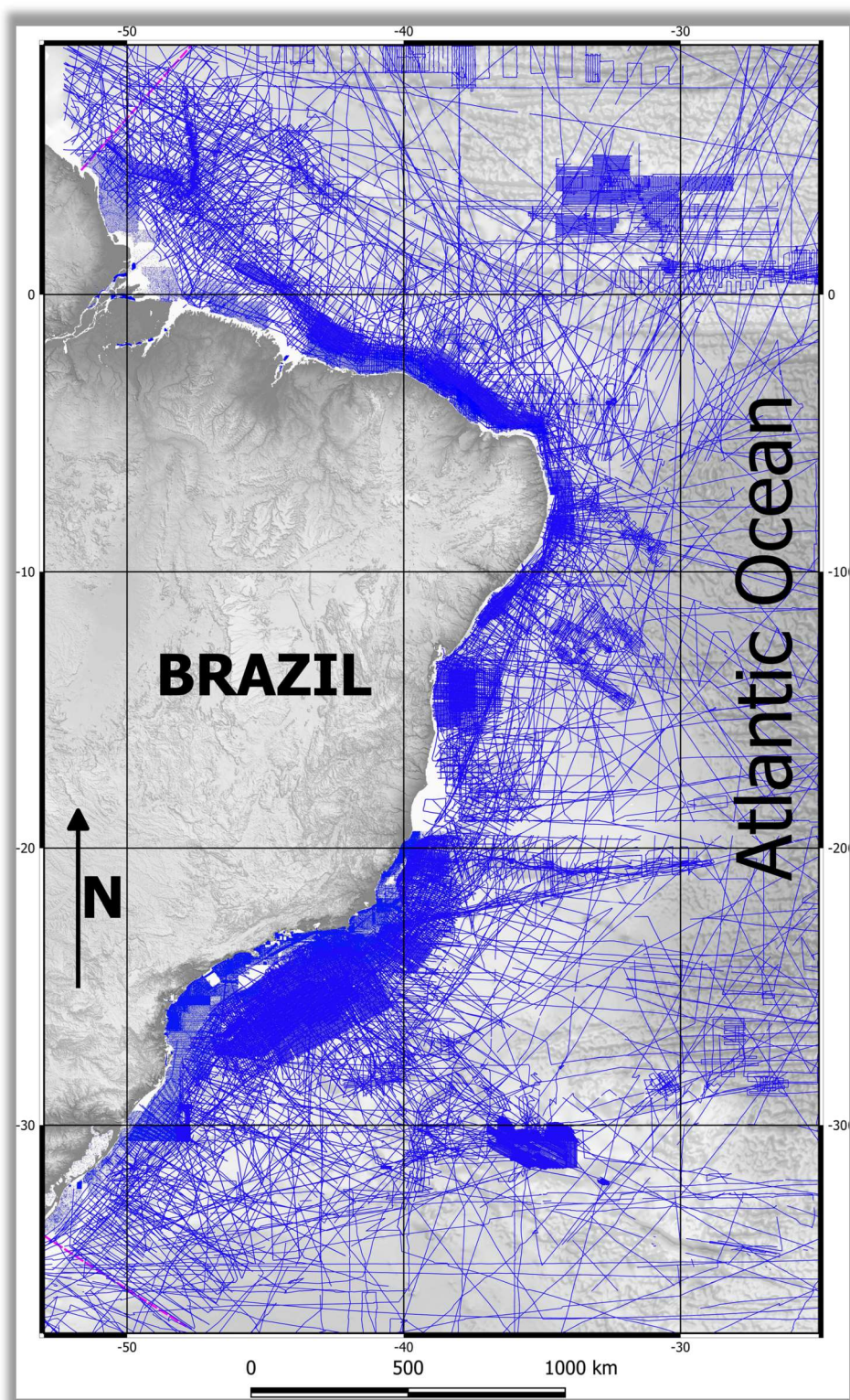


Figura 14 - Base de dados batimétricos qualificados e aplicados na construção do Modelo Digital de Terreno (MDT) para Margem Continental Brasileira, ora denominado “LEPLAC Brasil” (exceto informações do SRTM30\_Plus). Fonte: (ALBERONI et al., 2020).

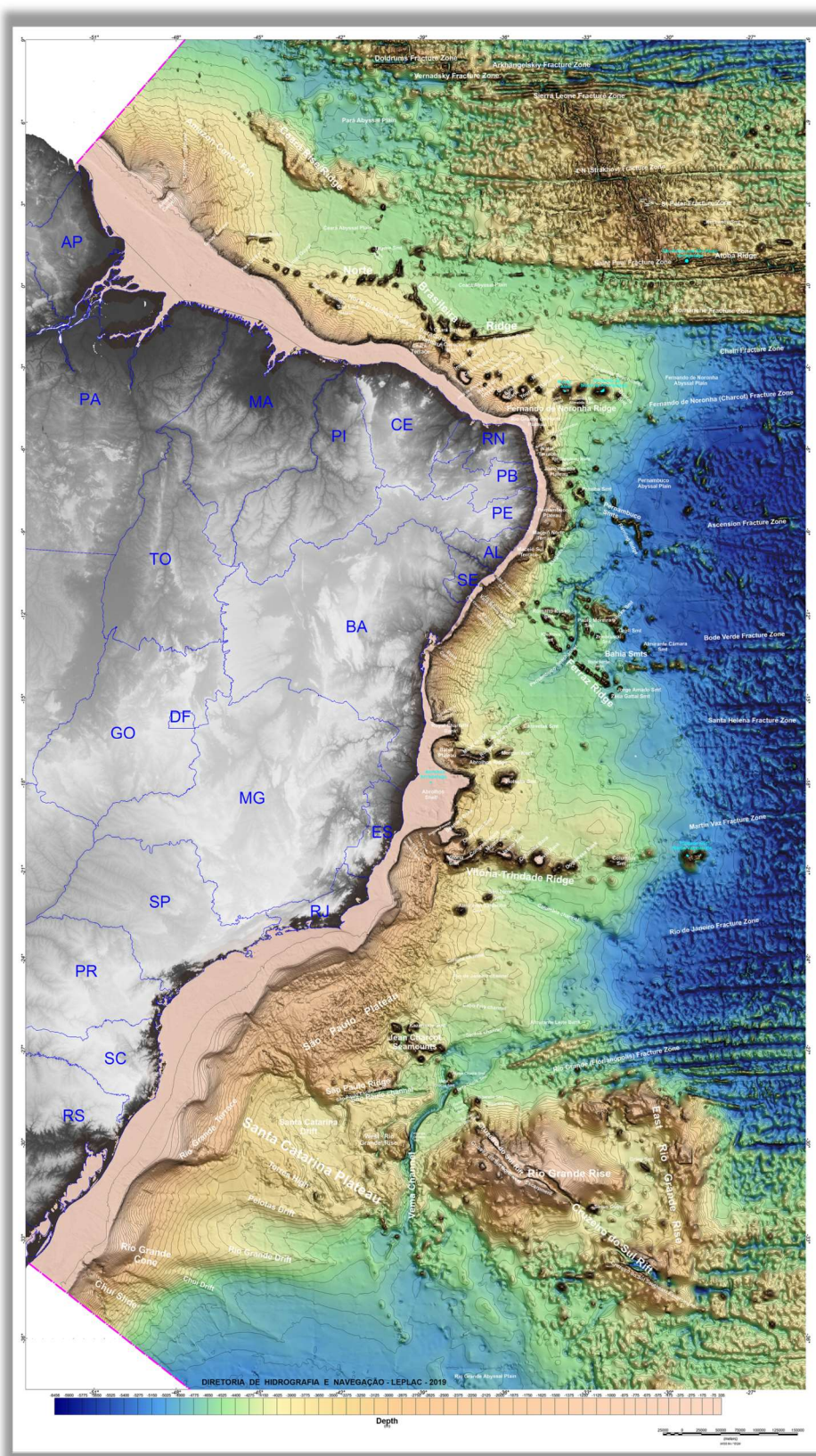


Figura 15 - Vista de topo do MDT LEPLAC Brasil com as principais feições geomorfológicas representadas. Dados do SRTM30\_Plus foram incorporados, complementando a área oceânica mais distal da margem continental brasileira, onde havia escassez de dados. Fonte: (ALBERONI et al., 2020).

Resultado da sinergia de várias instituições como DHN, PETROBRAS, ANP (Agência Nacional do Petróleo) e CPRM (Serviço Geológico do Brasil), o Programa de Levantamento da Plataforma Continental (LEPLAC) reuniu mais de 770.000 km de dados, compreendendo informações de sondagens batimétricas monofeixe e multifeixe, sísmica rasa (*sub bottom profiler*), mono e multicanal, além de elementos gravimétricos e magnetométricos (ALBERONI, et al., 2020).

Acrescenta-se ainda, dados batimétricos públicos globais que, uma vez validados, contribuíram com informações monofeixe e multifeixe (somente os feixes centrais), adquiridos do programa GEBCO (*General Bathymetric Chart of the Oceans*) da *International Hydrographic Organization* (IHO) e *Intergovernmental Oceanographic Commission* (IOC) (da UNESCO), e do projeto GEODAS (*GEophysical Data System*) e NGDC (*National Geophysical Data Centre*), ambos da NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) (LEPLAC, 2015, 2016 e 2018; FLORENTINO, 2018). Após todo o processo de construção da superfície batimétrica com base prioritária nas informações oriundas dos métodos acústicos, ainda restaram setores na região mais distal da margem continental brasileira onde, devido às grandes distâncias entre as linhas de sondagens *in situ*, a interpolação direta não se mostrou adequada. Assim, informações de sensoriamento remoto do STRM30\_Plus V.7.0 (*NASA Shuttle Radar Topography Mission*) foram criteriosamente usadas para balizamento do processo de modelagem (ALBERONI, et al., 2020).

A união deste universo de dados, oriundo de diferentes fontes e metodologias de coleta, baseou-se num processo de validação com etapas de verificação cruzada (*cross-over error analysis*). Assim, as linhas devidamente ensonificadas (por ecobatímetros mono ou multifeixe) foram definidas como de controle (*tie lines*) para as demais (*lines*), utilizando ferramentas do software *Oasis Montaj*, “*Levelling*” e “*Rangrid GX/Geosoft*”. O modelo matemático de Mínima Curvatura<sup>8</sup> e fator de tensão zero foi empregado com a projeção World Mercator e o Datum WGS84, resultando na construção de um MDT com tamanho de célula original de 2.500 m. Desta forma, a superfície LEPLAC Brasil foi disponibilizada

---

<sup>8</sup> Baseia-se na criação iterativa de uma superfície linearmente elástica que tende a tocar os dados de origem buscando os menores valores de curvatura ao conjunto. Com parâmetros iniciais, como o tamanho almejado para a célula da grade e número máximo de iterações (BRIGGS, 1974, apud LEPLAC, 2015), usualmente, a dimensão inicia-se 8 vezes maior que o esperado, e tende a reduzir pelo método do inverso da distância ponderada entre pontos reais num dado raio, onde, após atingir o elemento na vizinhança, o processo retorna ao status iterativo produzindo a divisão e redução das dimensões das células da grade. Nesta interpolação foram estabelecidos o máximo de 100 iterações e/ou que 99% dos pontos interpolados apresentassem a variação máxima de 1% em seu valor de profundidade (LEPLAC, 2015).

pelo endereço eletrônico: <https://www.marinha.mil.br/dhn/?q=node/249> (LEPLAC, 2021), nos formatos, Surfer v6 (.grd) e GeoTiff (.tiff) (ALBERONI et al., 2020; LEPLAC, 2015, 2016 e 2018; LAVAGNINO, 2020).

#### 4.5. A BUSCA PELA SUPERFÍCIE BATIMÉTRICA IDEAL PARA REGIÃO DE INTERESSE

A abundância do número de MDTs batimétricos de caráter local, regional ou global disponíveis, trouxe consigo a natural necessidade da escolha entre tais produtos para o atendimento à determinada finalidade (SEPULVEDA, 2020b; FLORENTINO et al., 2019b).

Vrdoljak et al. (2021), alerta que a escolha de um MDT batimétrico deve ser fruto da análise das principais características de cada superfície marinha disponível, suas vantagens e desvantagens frente a melhor aderência ao objetivo proposto. Assim, apresenta que parâmetros como: resolução, cobertura, data de publicação, data vertical e horizontal, dado de origem, método de registro, produtor e acesso a base de dados adjacentes, são algumas das informações fundamentais para análise sobre a resolução espacial e qualidade dos produtos finais.

Tal observação é corroborada pelas informações apresentadas na publicação S-44, em sua 6ª edição (IHO, 2020), onde destaca que a avaliação de MDTs batimétricos, além de proporcionar verificação da consistência dos dados de profundidade para área de interesse e a presença de “erros aleatórios” ou “sistemáticos” no conjunto de dados de origem, pode também servir como uma ferramenta de comparação entre dados de alta resolução e aqueles estimados pela modelagem fornecendo diferenças estatísticas (“erros”), e assim auxiliar na priorização para futuras coletas de dados para atualização de produtos.

Nota-se que estudos dedicados à análise da qualidade de superfícies batimétricas (MDT ou Grid), se mostram cada vez mais relevantes, inclusive tendo em vista o desenvolvimento e implantação de um novo padrão de produto hidrográfico, conhecido como S-102 - *Bathymetric Surface Specification*. Esta especificação deriva do novo Modelo Universal de Dados Hidrográficos (S-100), padrões da ISO 19115 e 19115-2, e requererá maior domínio de informações (metadados) da superfície gerada, tais como: método de construção do MDT e instituição responsável pela modelagem, informações do sistema de coordenadas e referencial geodésico, bem como descrições temporais (data da realização da complicação/modelagem), tipos de interpoladores e correções de profundidade aplicadas,

tipo de incerteza do produto, e outras (IHO, 2020; CONTARINIS; PALLIKARIS; NAKOS, 2020).

Destarte, a importância desta complexa tarefa de seleção da superfície, exige análise qualitativa e quantitativa entre as superfícies sobrepostas, frente a um conjunto de informações de controle para referência à realidade da topografia marinha que se pretende representar (FLORENTINO, 2019).

#### **4.5.1. Ferramentas de Análise entre Superfícies Batimétricas Regulares**

Mark & Smith (2006) e Abramova (2012), em seus estudos específicos sobre MDTs marinhos, já fundamentaram e destacaram a necessidade da caracterização detalhada da área em estudo e de todas as superfícies batimétricas envolvidas no experimento, além da adequada apresentação do dado de controle a ser utilizado ao longo dos processos. Apesar das dificuldades citadas por Šiljeg; Lozić; Radoš (2015), envolvidas na obtenção e estabelecimento de um número exato e suficiente para sua caracterização, adota-se como dados de controle à região de interesse, o conjunto de profundidades oriundas da aplicação das técnicas de sondagem acústica já consagradas pela literatura especializada (IHB, 2011), também tratadas como fruto de levantamentos hidrográficos (LHs) mono ou multifeixe (IHO, 2020; DHN, 2017).

O confronto dos parâmetros estatísticos dos MDT batimétricos, bem como a detecção de dados espúrios, ou “artefatos” em alguns destes modelos, devem ser considerados na avaliação da superfície a ser adotada, para assim garantir a qualidade dos demais produtos que derivam de seu uso (CHIOCCI; CATTANEO; URGELES, 2011; FAPESP, 2012; BONGIOVANNI; STEWART; JAMIESON, 2020; SEPULVEDA, 2020).

Neste contexto, destacam-se as ferramentas estatísticas citadas por Florentino (2018), baseadas nas medidas de localização (como a média, mediana e moda) ou dispersão (caso do desvio padrão, variância, valores extremos da amostra e outras métricas) das diferenças entre o dado de controle e aquele modelado. Como exemplo, tem-se o cálculo expresso pela fórmula abaixo, atinente a Raiz do Erro Médio Quadrático (*Root Mean Square Error - RMSE*) que representa, em média, quão distante os valores observados diferem dos valores assumidos como verdadeiros (dados de controle), e o Erro Médio (*Mean Error - ME*), que demonstra se os valores ora definidos foram subestimados (ME negativo) ou superestimados (ME positivo).

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z^* - Z) \quad (\text{Eq.1})$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z^* - Z)^2} \quad (\text{Eq.2})$$

Onde:  $Z^*$  = valores assumidos como profundidades verdadeiras (dados de controle)

$Z$  = valores modelados (estimados pela superfície) das profundidades

$n$  = refere-se ao tamanho da amostra

O uso de histogramas de frequência dos valores considerados “erros” e sua distribuição geográfica sobre a superfície de estudo é outra ferramenta recorrente as análises de MDTs (DE SILVEIRA et al., 2014; IHO & IOC, 2019; YANG et al., 2004). Da mesma forma, a comparação entre os dados de controle e a superfície batimétrica modelada pode ser efetuada com o uso da regressão linear e do coeficiente de correlação de Pearson (R) (Eq. 3), sendo usualmente apresentado pelo coeficiente de determinação, o  $R^2$  (OLEA, 2009).

$$R = \frac{\text{Cov}(X,Y)}{\sqrt{\text{Var}(X)\text{Var}(Y)}} = \frac{\sum((X-\bar{X})(Y-\bar{Y}))}{(\sum(X-\bar{X})^2)(\sum(Y-\bar{Y})^2)} \quad (\text{Eq.3})$$

Onde:  $X$  = variável explanatória (independente)

$Y$  = variável de resposta (dependentes)

Soma-se a tais instrumentos, o estudo de perfis tomados sobre a superfície modelada e o dado de controle. Este recurso aponta de modo qualitativo (análise visual) e quantitativo (com uso de limites ou tolerâncias), o comportamento dos dados batimétricos relativo ao terreno, como a identificação de feições conspícuas ou mesmo a verificação da existência de dados espúrios (ou *spikes*) (FLORENTINO et al., 2019).

Aliado ao uso dos perfis, o contraste entre as superfícies em estudo com a geração de uma “superfície diferença”, permite a detecção espacial das principais discrepâncias entre os produtos, auxiliando a análise detalhada de feições distintas ora mapeadas somente em um dos MDT, ou a percepção de artefatos residuais fruto dos processos de interpolação dos produtos (FLORENTINO et al., 2019). Como exemplo, observa-se que durante a construção do modelo *International Bathymetric Chart of the Southern Ocean* (IBCSO), publicado recentemente em sua segunda versão (IBCSO v2), foi utilizada a análise de histogramas de

contraste entre dados de controle e medidas dos modelos em atualização, bem como o cômputo de superfícies de diferença como ferramentas extremamente úteis a análise da qualidade de modelos batimétricos digitais (DORSCHER et al., 2022).

Desta feita, diversos trabalhos têm sido desenvolvidos sobre esta questão, sendo mormente observadas duas abordagens para comparação e avaliação de superfícies batimétricas regulares: qualitativa (AMANTE, EAKINS, 2009; BECKER et al., 2009; WEATHERALL et al., 2015) e quantitativa (WLODARCZYK-SIELICKA e STATECZNY, 2016; YANG et al., 2004). Estudos mais recentes apontam para procedimentos metodológicos conjugados, com fito de integrar ambos os aspectos e assim prover uma análise mais abrangente e robusta estatisticamente (IHO & IOC, 2019; FLORENTINO et al., 2019b; EMODnet, 2021)

Observa-se exemplos de trabalhos dedicados à análise de MDTs batimétricos diferentes em regiões do globo, como: sobre a Margem Continental do Brasil (FLORENTINO, 2018 e FLORENTINO et al., 2019b), no Mar do Sul da China (RUAN et al., 2020), na Zona Econômica Exclusiva (ZEE) de Israel (KANARI et al., 2020); em áreas próximas à Croácia (ŠILJEG; LOZIĆ; RADOŠ, 2015) e Rússia (ABRAMOVA, 2021), bem como região do Mar Adriático (VRDOLJAK, 2021 e VRDOLJAK et al., 2021)

Todas estas pesquisas têm como finalidade oferecer por meio do uso de superfícies batimétricas devidamente qualificadas, o suporte técnico científico necessário à decisão mais adequada a determinado escopo ou finalidade ora proposta para região.

Dentre tais estudos, percebe-se que em relação ao Mar do Sul da China e áreas adjacentes, sete dos MDTs batimétricos globais amplamente utilizados, foram selecionados e confrontados entre si, a fim de verificar a qualidade destes produtos para representação da topografia marinha da região, em grande escala (RUAN et al., 2020).

Ainda, em trabalho recente sobre a modelagem batimétrica da costa leste do Mar Adriático, Vrdoljak (2021) aborda a análise comparativa de seis superfícies batimétricas disponíveis, dentre as quais cinco são globais e uma é regional. Destaca a importância da avaliação de algumas características do modelo de batimetria digital, que afetam a precisão do produto como: dados de origem, método de interpolação, presença de artefatos, e outros. Salienta-se que ao referenciar estudos específicos sobre o tema, Vrdoljak (2021) cita as metodologias de Marks e Smith em 2006, Abramova em 2012 e Florentino et al. em 2019b, acrescentando que este último comparou modelos batimétricos globais em áreas próximas

ao Brasil e demonstrou por seu procedimento, como as grades podem ser avaliadas quando atualizadas com dados regionais mais precisos.

De modo paralelo, observa-se que segundo Abramova (2021), uma revisão sobre os principais trabalhos da literatura internacional especializada em análises da precisão e qualidade da modelagem topográfica do fundo marinho, também destaca a contribuição da metodologia apresentada por Florentino et al. (2019b).

Abramova (2021), aponta a inovação e as vantagens na proposta do uso integrado de técnicas consagradas, oriundas basicamente da estatística descritiva, histogramas de distribuição, matrizes de diferença entre MDTs, com a junção da análise por correlação e regressão do MDT batimétrico de interesse frente a seu dado de controle. Ademais, reitera as vantagens do uso de um conjunto de testes o mais abrangente possível, somando ferramentas qualitativas e quantitativas para busca de um resultado estatisticamente robusto e aderente à realidade do fundo marinho.

## 5. METODOLOGIA

Para atender aos objetivos específicos deste trabalho, propõem-se o aperfeiçoamento da metodologia de análise desenvolvida e publicada por Florentino, em 2019 (FLORENTINO, et al., 2019b), com a adição de uma nova ferramenta, o Diagrama de Taylor (TAYLOR, 2001).

Originalmente, o método elaborado por Florentino (2018), foi exaustivamente testado sobre a porção regional do MDT “LEPLAC Sul”, envolvendo a Elevação do Rio Grande e outras feições geomorfológicas entre as latitudes 27°S e 37°S, tendo seus resultados publicados pela *International Hydrographic Review – Vol. 22* (FLORENTINO et al., 2019b). Esta ação abriu espaço para novos questionamentos e proporcionou o avanço de sua aplicação ao trabalho em questão, que amplia o escopo geográfico da área de interesse tratando de investigar um MDT batimétrico de abrangência nacional, assumindo as latitudes de 10°N a 37°S e longitudes de 24°W a 54°W, doravante denominado como superfície “LEPLAC Brasil” ou “LEPLAC2019”.

Em revisão teórica recente, percebeu-se que o Diagrama de Taylor, desenvolvido por Karl E. Taylor, em 1994 e publicado em 2001, tem sido aplicado na geociência à avaliação comparativa de diferentes modelos matemáticos frente a um conjunto de observações tidas como referência. Este instrumento quantifica o grau de correspondência entre o comportamento modelado e observado, bem como apresenta graficamente integrados, três parâmetros estatísticos: o coeficiente de correlação de Pearson (R), a Raiz do Erro Médio Quadrático (RMSE) e o desvio padrão.

Basicamente, a disposição visual desta ferramenta aponta o coeficiente de correlação de Pearson (R) através da graduação angular azimutal do quadrante. O RMSE adota a posição sobre o eixo das abscissas do "conjunto de referência" e posiciona os "modelos" a distância proporcional deste eixo. Por fim, o desvio padrão é expresso a uma distância radial a partir da origem do quadrante gráfico, que inclusive pode vir a ser representado de modo semicircular quando da existência de correlações negativas (TAYLOR, 2001).

Desta forma, o Diagrama de Taylor (2001) se mostra aderente à estratégia metodológica base proposta em Florentino (2018, 2019b), a qual já fornecia uma série de processos e ferramentas dedicadas à análise (qualitativa e quantitativa) de diferentes superfícies batimétricas e um conjunto de dados de controle. Tal incremento demonstra a

versatilidade da metodologia original, sendo capaz de agregar novas ferramentas e permitir uma avaliação mais eficiente e assertiva.

O procedimento desenvolvido nesta pesquisa consiste então da aplicação de um arranjo inovador e conjugado de instrumentos para:

- i. Cômputo das estatísticas gerais das superfícies batimétricas envolvidas;
- ii. Construção dos respectivos histogramas;
- iii. Uso da regressão linear e a verificação dos coeficientes de correlação e determinação por pares de interesse;
- iv. Aplicação do Diagrama de Taylor para análise integrada das estatísticas;
- v. Geração de gráficos de perfis entre as superfícies e o dado de controle, e
- vi. Cálculo da “Superfície de Diferença” entre os MDTs avaliados, promovendo assim a quantificação e a localização espacial dos principais resíduos entre os produtos.

O diagrama de fluxo a seguir, ilustra os principais processos apontados por Florentino et al. (2019b) com a adição da ferramenta de Taylor (2001), aplicados nesta pesquisa, que adotou como solução o “Fluxo recomendável” (Fig. 16).

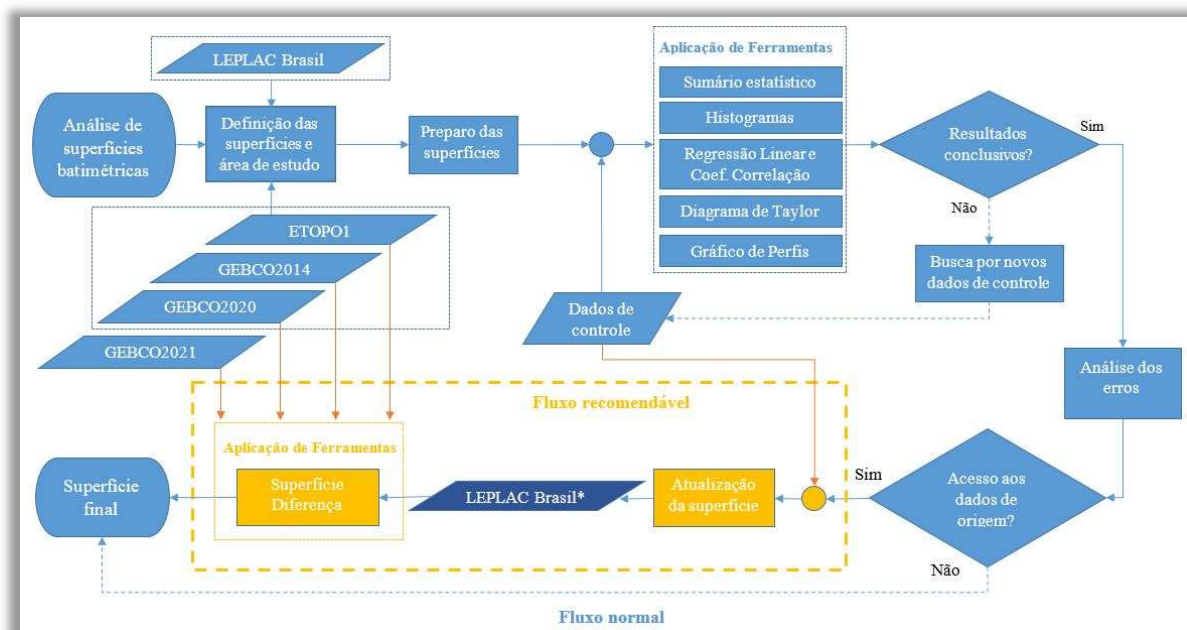


Figura 16 – Fluxograma aplicado à análise das superfícies batimétricas de interesse. Adaptado de Florentino et al. (2019b).

Desta forma, com fito de avaliar a pertinência na adoção da superfície LEPLAC Brasil como referência à implantação da IDEM-DHN, esta pesquisa considerou para “Análise de superfícies batimétricas” sobrepostas à região de interesse, a “Definição das superfícies e da área de estudo” como sendo os modelos GEBCO2014, GEBCO2020, ETOPO1 e LEPLAC Brasil, dispostos no esquema acima (Fig. 16). Observa-se na Tabela 1, as principais características dos modelos digitais de terreno marinho mencionados.

Tabela 1: Principais atributos das superfícies batimétricas em estudo:

Parâmetros	GEBCO2014	GEBCO2020	ETOPO1	LEPLAC Brasil
<b>Resolução espacial</b>	Arco de 1/2' ou de 30''; 926m	Arco de 1/4' ou de 15''; 463m ~ 500m	Arco de 1'; 1.852m	Arco de 1,34989'; 2.500m
<b>Abrangência</b>	Global	Global	Global	Nacional
<b>Área de cobertura</b>	90°N a 90°S; 180°E a 180°W	90°N a 90°S; 180°E a 180°W	90°N a 90°S; 180°E a 180°W	10°N a 37°S; 25°W a 54°W
<b>Sistema de projeção e referência</b>	Geográfico; WGS84	Geográfico; WGS84	Geográfico; WGS84	Mercator; WGS84
<b>Data de lançamento</b>	Dezembro de 2014	Maio de 2020	Agosto de 2008	Setembro de 2019
<b>Período de aquisição dos dados</b>	Desde a década de 80 a 2014	Desde a década de 90 a 2020	A partir de 1993 a 2008	De 1988 a 2019
<b>Organização responsável</b>	GEBCO	GEBCO	NGDC/NOAA	DHN
<b>Método de interpolação da superfície</b>	Algoritmo “surface”, variação do método <i>Spline</i> e <i>scripts</i> “remove-restore” do <i>Generic Mapping Tools System (GMT)</i> <sup>9</sup>	Algoritmo “surface”, variação do método <i>Spline</i> e <i>scripts</i> “remove-restore” do <i>Generic Mapping Tools System (GMT)</i> , além de rotinas do <i>GlobalMapper software (v.11.0)</i>	Algoritmo “mbgrid”, variação do método <i>Spline</i> do MB-System <sup>10</sup> e “ <i>rdsample</i> ” do GMT	Algoritmo “rangrid”, variação do <i>Spline</i> do GX/Oasis Montaj v8.1 do Geosoft <sup>11</sup>
<b>Formato do produto</b>	.nc, .asc ou .tiff, .sid	.nc, .asc ou .tiff, .sid	.nc, .grd, .xyz, .asc, .tiff	.asc, .csar ou .tiff
<b>Fonte dos dados</b>	<i>International Bathymetric Chart of Southern Ocean (IBCSO)</i> , <i>International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO)</i> , <i>Baltic Sea Bathymetric</i>	Centros regionais do Seabed 2030: <i>Southern Ocean</i> - em <i>Alfred Wegener Institute (AWI)</i> , Alemanha; <i>South and West Pacific Ocean</i> – em <i>National Institute of Water and</i>	<i>Japan Oceanographic Data Center (JODC)</i> , <i>National Geophysical Data Center (NGDC)</i> , <i>Caspian Environment Programme (CEP)</i> , <i>Mediterranean Science Commission (CIESM)</i> ,	Comissões hidrográficas do projeto LEPLAC (Fase 1 e II), Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), Centro de Hidrografia

<sup>9</sup> Generic Mapping Tools (<http://www.soest.hawaii.edu/gmt/>).

<sup>10</sup> MB-System (<https://www.mbari.org/products/research-software/mb-system/>).

<sup>11</sup> Oasis Montaj (<http://www.geosoft.com/support/downloads/updates/oasis-montaj/81>).

	<p><i>Database (BSBD), European Marine Observation and Data Network (EMODnet), Scripps Institution of Oceanography (SIO), Japan Oceanographic Data Center (JODC), Comissão Hidrográfica do Leste da Ásia, Cruzeiros do “HMS Scott” (2005) e “R/V Southern Surveyor” (2012), National Geospatial Intelligence Agency (NGA), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Serviço Hidrográfico da Marinha Chilena, Universidade de Sydney, Serviço Hidrográfico e Marinha Australiana, GEBCO e GEODAS</i></p>	<p><i>Atmospheric Research (NIWA), Nova Zelândia; Atlantic and Indian Oceans – em Lamont Doherty Earth Observatory (LDEO), Universidade de Columbia, USA; Arctic and North Pacific Oceans – na Universidade de Stockholm (SU), Suíça; e Center for Coastal and Ocean Mapping at the University of New Hampshire (UNH), USA; além do Global Data Center - em British Oceanographic Data Centre (BODC), National Oceanography Centre (NOC), UK</i></p>	<p><i>Scripps Institution of Oceanography (SIO), Leibniz Institute for Baltic Sea Research (LIBSR), International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO)</i></p>	<p>da Marinha (CHM), Petrobrás, Agência Nacional do Petróleo (ANP), Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Serviço Hidrográfico do Uruguai, GEBCO, NGDC e GEODAS</p>
<p><b>Baseado em</b></p>	<p>Levantamentos hidrográficos (monofeixe e multifeixe) e sondagens derivadas de cartas eletrônicas (ENC), profundidades oriundas de cruzeiros armazenados no banco de dados GEODAS, batimetrias multifeixe do SIO e <i>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)</i>, profundidades estimadas pelo projeto <i>Global</i></p>	<p>Levantamentos hidrográficos (monofeixe e multifeixe) e sondagens derivadas de cartas eletrônicas (ENC), profundidades oriundas de cruzeiros armazenados no banco de dados GEODAS e outros bancos de dados e outros produtos oriundos de Serviços Hidrográficos contribuintes com Projeto SeaBed2030 através da compilação pelos Centros Regionais, além de</p>	<p>Levantamentos hidrográficos (monofeixe e multifeixe), sondagens digitalizadas a partir de isobatimétricas das cartas náuticas, dados altimétricos derivados de satélites, profundidades estimadas a partir do modelo de grade Smith e Sandwell (versão 11.1 de 1994, 1997), dados do IBCAO para as latitudes 64°N-90°N</p>	<p>Levantamentos hidrográficos (monofeixe e multifeixe), sondagens derivadas de plantas batimétricas e das cartas eletrônicas (ENC), sondagens obtidas do Serviço Hidrográfico Uruguai, profundidades oriundas de cruzeiros armazenados no banco de dados GEODAS e GEBCO,</p>

	<p><i>Multi-Resolution Topography Synthesis</i> da Universidade de Columbia, sondagens do IBCAO para as latitudes 64°N-90°N e batimetrias derivadas do SRTM30_Plus (versão 5.0, 2009).</p>	<p>batimetrias derivadas do SRTM15+, v.2 (Março, 2019)</p>		<p>informações de sísmicas rasa, SRTM30_Plus (versão 7.0, 2013)</p>
--	--	--	--	---

Organizado pelo autor. Fonte: AMANTE, EAKINS, 2009; LEPLAC, 2015, 2016 e 2018; ALBERONI et al., 2020; WEATHERALL et al., 2015; GEBCO, 2020.

O acesso às superfícies batimétricas de domínio público, GEBCO2014 e GEBCO2020, ETOPO1 e LEPLAC Brasil, ocorre por meio de plataformas e páginas web, como representam as figuras 17 a 20 na sequência.



Figura 17 - Plataforma de distribuição da superfície ETOPO1 (<https://maps.ngdc.noaa.gov/viewers/wcs-client/> e <https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/griddap/etopo180.html>).

Fonte: NOAA, 2021.

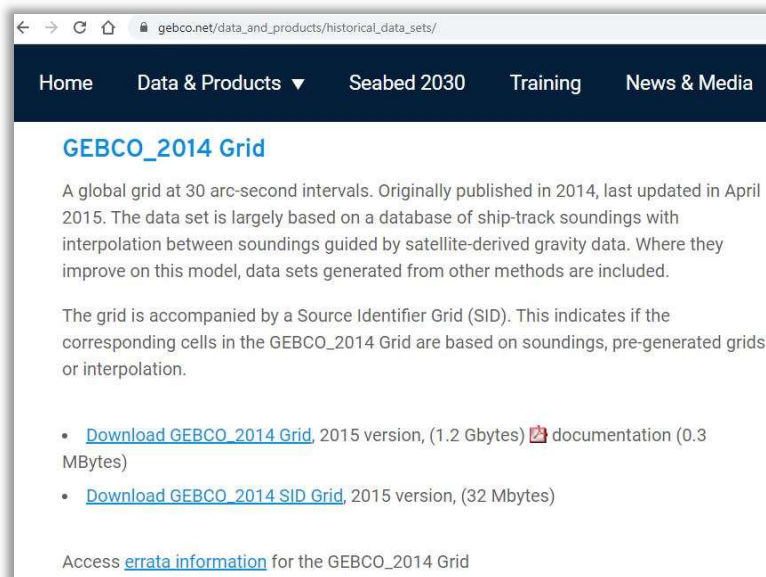


Figura 18 - Página eletrônica de distribuição da superfície GEBCO2014 ([https://www.gebcoset.net/data\\_and\\_products/historical\\_data\\_sets/](https://www.gebcoset.net/data_and_products/historical_data_sets/)). Fonte: GEBCO, 2021.

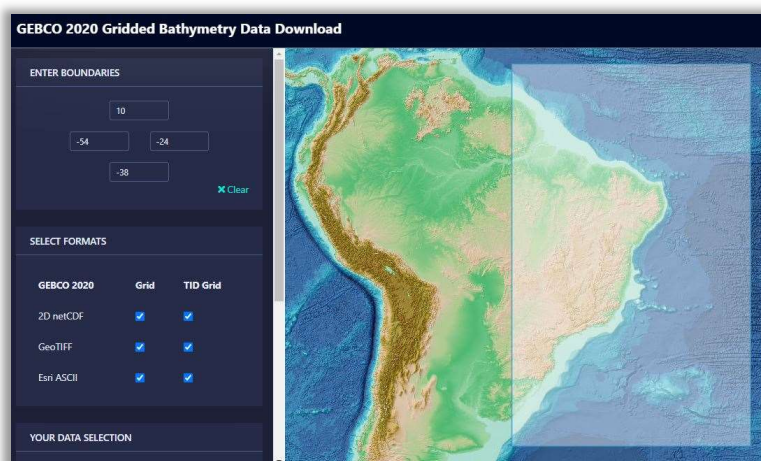


Figura 19 - Plataforma de distribuição da superfície GEBCO2020 (<https://download.gebcoset.net/>). Fonte: GEBCO, 2020.



Figura 20 – Página eletrônica de distribuição da superfície LEPLAC Brasil (<https://www.marinha.mil.br/dhn/?q=node/249>). Fonte: LEPLAC, 2021.

Neste sentido, a definição dos limites geográficos da área de estudo deste trabalho (entre latitudes 10°N e 37°S e longitudes 24°W e 54°W) segue coerente à disponibilidade das superfícies ora em análise.

A área de estudo foi previamente descrita no Capítulo II desta tese, e se destaca por compreender uma extensa região marinha do Atlântico Sul. Formada por um relevo de comportamento suave à complexo, expresso por uma grande variação batimétrica, atinge profundidades de 0 a 6.000 m. Possui notórias feições geomorfológicas distintas como o Cone do Amazonas e o Cone do Rio Grande, diversos *Plateaus*, *Terraços*, *Riftes*, *Guyots*, *Canyons* e *Vales*, além da Elevação do Rio Grande. Destacam-se ainda como os montes mais rasos nesta área: o Fernando de Almeida, a 38 m da superfície, na região da cadeia montanhosa de Fernando de Noronha, e o Banco *Besnard*, com 30 m, na cadeia Vitória-Trindade, na costa do Espírito Santo, bem como os cânions do Amazonas, Pará, Aracajú, Bahia e Belmonte.

O “Preparo das superfícies” ocorre por meio da compatibilização dos MDTs sobrepostos em um mesmo ambiente de processamento, possibilitando a realização de ajustes e recortes necessários à área de estudo, como exemplo a definição da linha de base nacional sobre a costa brasileira. A reconstrução das superfícies batimétricas se deu pelo método de interpolação do “vizinho mais próximo”, que se mostra adequado à representação e manutenção dos valores originais envolvidos na construção das respectivas superfícies (FLORENTINO, 2018; CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2005).

Estas operações foram realizadas no ambiente computacional do CARIS BASE Editor 5.5.<sup>®12</sup>, plataforma amplamente utilizada pelos Serviços Hidrográficos mundiais, pois fornece as principais ferramentas para comparações e análises entre as superfícies batimétricas e dados de controle.

A grande extensão da área resultou no desafio para seleção do conjunto de Dados de Controle mencionados. Diversas fontes foram investigadas em busca de uma distribuição espacial abrangente destes LHs sobre a região de interesse, com intuito de envolver as regiões Equatorial, Oriental e Meridional, desde as águas rasas à ultra-profundas. Ressalta-se que a verificação dos LHs contemplou o período de informações disponíveis entre setembro de 2015 a abril de 2021, sendo observado que estes dados - disponibilizados apenas recentemente - não tomaram parte da respectiva construção dos MDTs em questão.

Desta forma, os dados de controle foram selecionados prioritariamente, dentre os levantamentos hidrográficos depositados junto ao Centro de Hidrografia da Marinha (CHM) e que haviam passado pelo rigoroso processo de análise e qualificação à luz das especificações S-44 6° ed. (IHO, 2020) e NORMAM-25 (DHN, 2017), tornando-se pertencentes ao Banco de Dados Batimétricos (BDBat) da DHN (Fig. 21). Em seguida, foram coletadas informações oriundas do *IHO Data Centre for Digital Bathymetry* (DCDB) (Fig. 22), sendo estas então tratadas por meio de um *cross-checking*, proporcionando a retirada de informações espúrias.

A Figura 21, apresenta a disposição dos dados de controle oriundos do BDBat sobre a área de estudo, ora representada pela Carta n°1 disposta no ambiente do programa CARIS BASE Editor, sendo estes:

- “RA-414-2019”, período 01/08/2018 a 16/08/2018, *Kongsberg*<sup>®</sup> EM122, posicionador *Kongsberg*<sup>®</sup> *SeaPath 300*, *NHo Cruzeiro do Sul* (H-38). Fig. 21.

- “RA-23-2019”, período 13/09/2018 a 03/12/2018, *Kongsberg*<sup>®</sup> EM122 e EM710, posicionador DGNSS *Fugro*<sup>®</sup> 3710 e 3610, *NPqHo Vital de Oliveira* (H-39). Fig. 21.

- “RA-457-2021-A”, período 13/03/2021 a 04/04/2021, *Kongsberg*<sup>®</sup> EM122, posicionador DGNSS *Fugro*<sup>®</sup> 3710, *NPqHo Vital de Oliveira* (H-39). Fig. 21.

---

<sup>12</sup> CARIS BASE Editor<sup>®</sup> (<http://caris.com/products/bathydatabase/>).

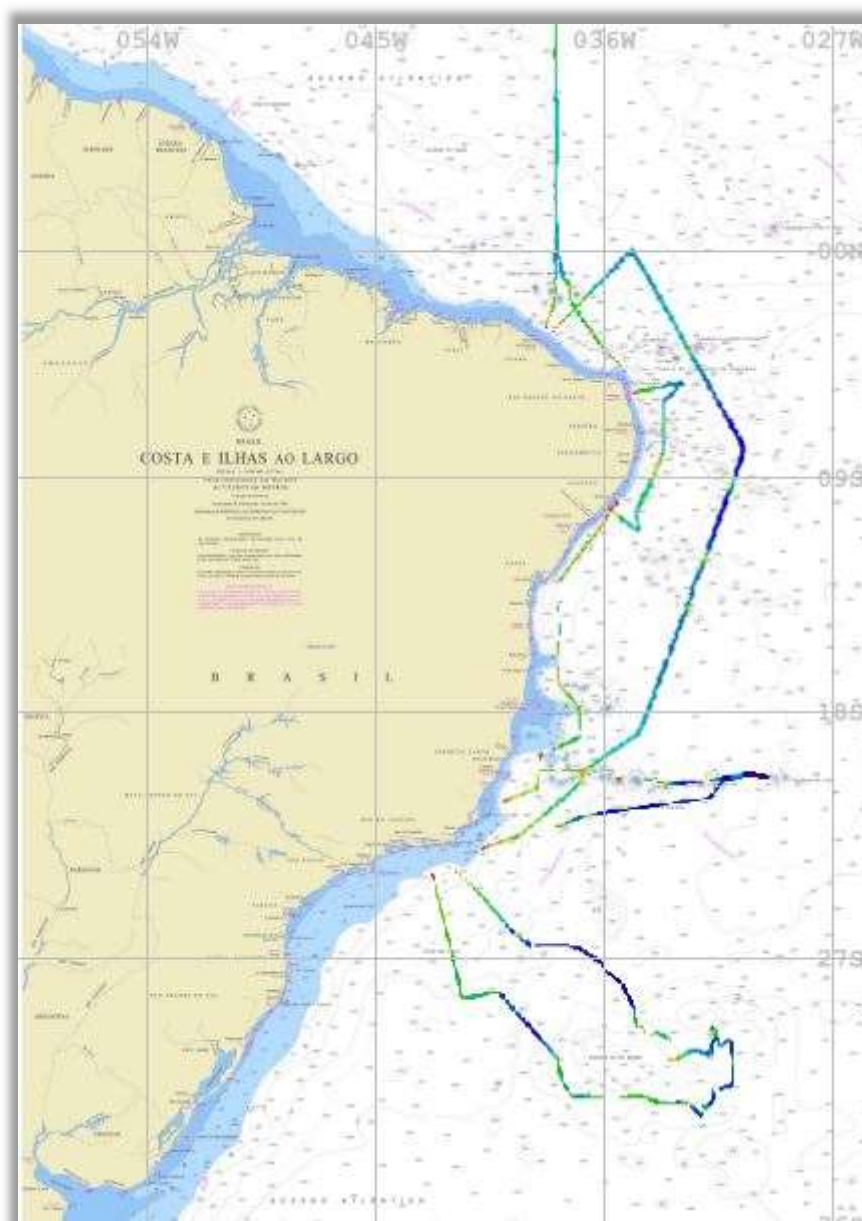


Figura 21 - Disposição dos dados de controle do BDBat sobre a área de estudo representada pela Carta nº1.

Em detalhes, os levantamentos externos tratam das sondagens coletadas pelos seguintes meios (Fig. 22):

- “RB-20-02\_Transit” (ncei\_order\_2021-06-24T14\_16\_07.558Z), CSAR “Mil\_linhas\_EM122”, período 21/02/2020 a 11/03/2020, Kongsberg® EM122, NOAA Ship Ronald H. Brown (R104). Fig. 22 – cor azul.

- “EQT 190014” (ncei\_order\_2021-06-24T14\_17\_25.574Z), CSAR “207\_linhas\_EM302”, período 05/11/2019 a 20/11/2019, Kongsberg® EM302, Ship MV Fugro Equator. Fig 22 – Cor verde escuro

- “NBP1508”, CSAR “NBP1508-ponto”, período 05/09/2015 a 23/10/2015, (adicionado no IHO-DCDB somente em 02/12/2020), *Kongsberg*® EM302, *Ship Nathaniel B. Palmer*, km. Fig. 22 – cor vermelha.

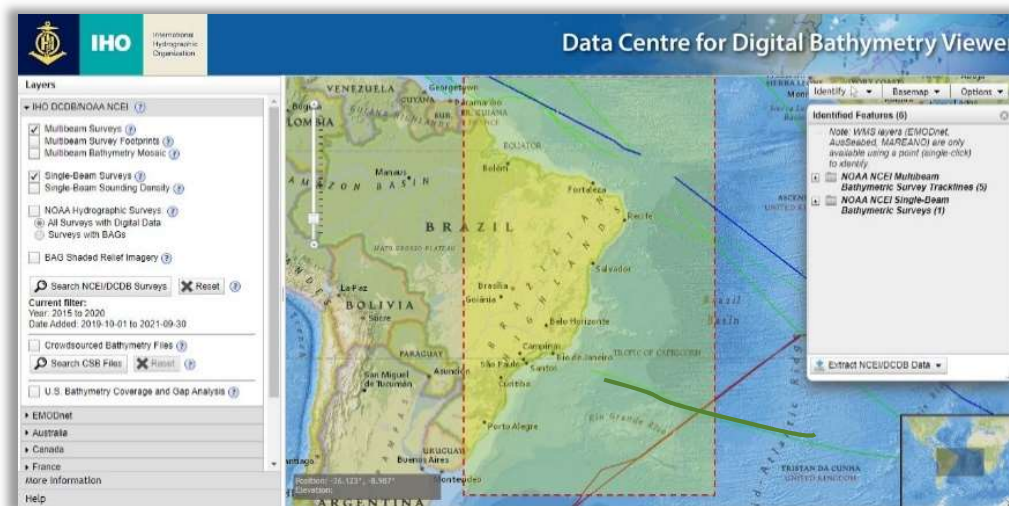


Figura 22 - IHO-DCDB Viewer contendo janela de seleção de dados batimétricos que após qualificação foram somados ao conjunto de sondagens de controle da DHN ([https://www.ncei.noaa.gov/maps/iho\\_dcdb/](https://www.ncei.noaa.gov/maps/iho_dcdb/)). Fonte: IHO, 2021.

Cabe citar que após selecionados, os “Dados de Controle” foram analisados e para efeito de padronização do conjunto de aferição, tiveram sua resolução espacial harmonizada para uma grade regular de 100 m. Com uso das ferramentas do CARIS BASE Editor, como a “*Resample Surface To Raster*”, os arquivos de controle que possuíam resoluções variáveis foram padronizados à grade regular de 100 m. Esta ação tornou então possível a operação “*Combine Surfaces*”, integrando todas as superfícies de controle em um único conjunto parametrizado (Fig. 23 e Fig. 24).

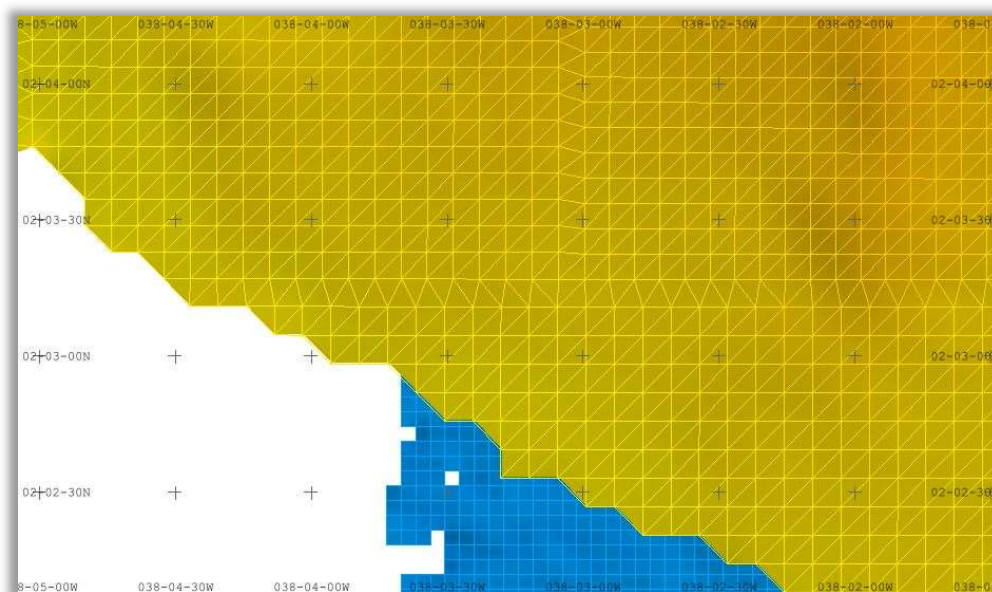


Figura 23 – Recorte da Superfície Resolução Variável (EM122, em laranja) e sua malha triangular em destaque (cor amarela), sobre trecho da Superfície de Resolução Regular (RA\_23\_2019, na cor azul) com sua grade de 100m (azul claro).

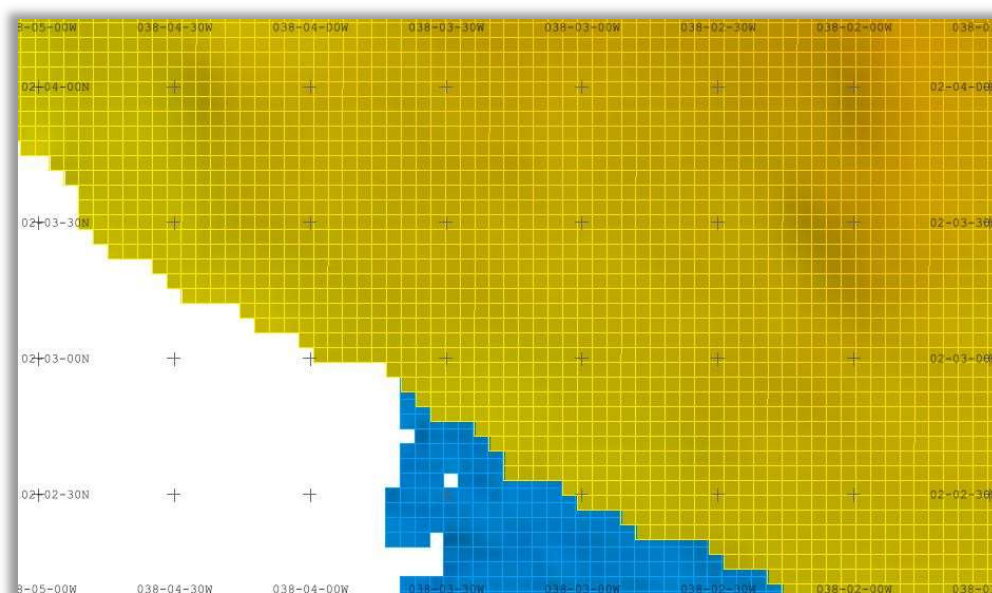


Figura 24 – Recorte de ambas superfícies (EM122, em laranja e RA\_23\_2019, na cor azul) com equalização de suas resoluções espaciais para 100 m (grades em amarelo e azul claro, respectivamente).

Foi dado prosseguimento a “Aplicação das ferramentas” de análise comparativa entre as superfícies e o conjunto dos dados de controle, com o uso das técnicas apontadas em Florentino et al. (2019) incrementadas pela aplicação do Diagrama de Taylor.

Ressalta-se que devido ao significativo volume de dados de cada MDT, além do conjunto dos dados de controle (da ordem de 20 milhões de observações), e visando a

automação de algumas rotinas de cálculo, optou-se pela adoção de um programa dedicado às análises estatísticas, o software R<sup>©13</sup>, em sua versão 4.2.0. Conhecido também como uma linguagem de programação, o R é um programa de código aberto que atua em conjunto do seu ambiente de desenvolvimento integrado *RStudio*. Tal instrumento computacional permite a execução de tarefas, por meio de linhas de código (*scripts*), dedicadas a soluções matemáticas e estatísticas sobre o conjunto de dados em estudo (R CORE TEAM, 2022).

Com os “Resultados conclusivos” dos mecanismos mencionados, ou seja, valores capazes de descrever por meio do comportamento amostral as tendências da população em estudo, parte-se à “Análise dos erros” encontrados.

Cabe ressaltar que, de acordo com as publicações S-44 (IHO, 2020) e o *Cookbook GEBCO&IOC* (IHO & IOC, 2019), “qualidade” é um termo que se relaciona diretamente à finalidade ou propósito a ser alcançado. Neste sentido, o controle de qualidade é o conjunto de procedimentos adotados para busca da garantia de que os produtos em tela estejam conforme aos padrões e especificações requeridos. O termo “erro”, segue definido como a diferença entre uma medida observada ou calculada, e seu valor verdadeiro. Entretanto, no caso da determinação da batimetria, o valor verdadeiro nunca poderá de fato ser descoberto, desta forma resta tratar das fontes de erros conhecidas ao longo da construção da estimativa da medida tomada e seu grau de incerteza.

Assim, ao contrário do mapeamento terrestre, que frequentemente utiliza-se das definições “acurácia e precisão” (MONICO et al., 2009), no âmbito da hidrografia, recomenda-se o uso do conceito de “incerteza” (FERREIRA et al., 2016).

Desta forma, observa-se a existência da Incerteza Total Propagada (ITP), que se divide em Incerteza Horizontal Total (IHT) e na Incerteza Vertical Total (IVT). A IVT expressa a probabilidade de encontro do valor verdadeiro residindo próximo à medida estimada. No caso da IVT, que é unidimensional (1D), assume-se que para uma distribuição Normal dos “erros”, o nível de confiança de 95% é definido por 1,96 multiplicado por sigma (desvio padrão amostral) (IHO & IOC, 2019). Embora a publicação S-44 6<sup>o</sup>ed. da OHI não endereçar especificamente a aplicação do IVT em análises de MDT à pequenas e médias escalas, intenciona-se a aplicação das métricas apresentadas por esta publicação, para efeito do estabelecimento de alguns parâmetros de comparação entre os MDTs deste estudo (IHO, 2020).

---

<sup>13</sup> R<sup>®</sup> (<https://cran.r-project.org/>).

Portanto, consideram-se “erros” as discrepâncias encontradas pelas ferramentas de análise, entre os valores de profundidades interpoladas pelos MDT frente a batimetria do dado de controle (FLORENTINO, 2018). Desta forma, objetiva-se o encontro da superfície batimétrica que apresente os menores valores de discrepância junto ao dado de controle (análise quantitativa) e que, visualmente, seja capaz de descrever as principais feições geomorfológicas do local (análise qualitativa). Este resultado, derivado do “Fluxo normal” já atenderia a premissa ora proposta à esta pesquisa.

Porém, Ferreira et al. (2022), assim como Meandro e Bastos (2020), apontam que para balancear os diversos estudos hidrográficos desenvolvidos na última década em águas rasas, é esperado uma tendência de investimentos e, conseqüente, evolução das técnicas de mapeamento marinho para as regiões de águas profundas e ultra profundas.

Desta forma, Florentino et al. (2019) também versa que por contemplar aspectos da busca contínua pela melhoria dos métodos de aquisição e processamento de dados batimétricos nacionais e, sendo o MDT uma representação matemática do fundo marinho em determinado momento espaço-tempo, apresenta-se como “Fluxo recomendável”, a etapa de “Atualização da superfície”. Esta ação torna-se possível quando há disponibilidade de “Acesso aos dados batimétricos de origem” da construção do MDT avaliado, proporcionando a inserção dos dados de controle e demais batimetrias novas qualificadas. Como apresentado por Weatherall et al. (2015) a atualização de grades é uma prática usual que visa o enriquecimento de informações e o aperfeiçoamento da “Superfície final”.

Assim, sendo observado durante o desenvolvimento do presente estudo, a existência do GEBCO2021 (publicada em JUL2021), foi proporcionada a inclusão de sua comparação com a superfície LEPLAC Brasil\* (ou “LEPLAC2021”) - refinada com novos dados batimétricos coletados ao longo de outubro de 2019 a fevereiro de 2021, e lançada em março deste mesmo ano. Importante notar que, de acordo com informações disponíveis no site da GEBCO<sup>14</sup>, o grid LEPLAC Brasil foi assimilado na construção desta versão GEBCO2021. Tal fato sustenta a expectativa de alta correlação na comparação entre tais superfícies.

Espera-se então realizar comparações entre a LEPLAC2019, GEBCO2014, GEBCO2020 e ETOPO1, e designar o teste da “Superfície de Diferença” entre LEPLAC2019 e LEPLAC2021, GEBCO2014, GEBCO2020 e ETOPO1, bem como para GEBCO2021.

---

<sup>14</sup> [https://www.gebco.net/about\\_us/acknowledgements/our\\_data\\_contributors/](https://www.gebco.net/about_us/acknowledgements/our_data_contributors/)

Por fim, intenciona-se avaliar a empregabilidade da “Superfície final” como base de referência para uma Infraestrutura de Dados Espaciais Marinhos (IDEM), bem como apresentar algumas considerações sobre seu potencial de aplicação ao Planejamento Espacial Marinho (PEM) no contexto da Amazônia Azul.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Primeiramente, os modelos batimétricos ETOPO1, GEBCO2014, GEBCO2020 e LEPLAC Brasil, foram submetidos a uma série de ferramentas estatísticas e análises comparativas entre si e ao conjunto de dados de controle, conforme descrito nos itens 6.1 a 6.6. Num segundo momento, de posse da superfície reamostrada com a junção do conjunto dos dados de controle, a nova superfície LEPLAC2021 foi então contrastada com as grades GEBCO2014, GEBCO2020 e ETOPO1, bem como para GEBCO2021. Por fim, segue uma análise conjugada sobre os resultados obtidos com aplicação de cada ferramenta ao conjunto de interesse.

Ressalta-se o estabelecimento da convenção, usualmente aplicada à análise de dados hidrográficos, adotando a lâmina d'água com o valor de zero metros. Assim, as medidas de profundidades seguem positivas ao avançarem sentido ao nadir. Tal procedimento foi adotado para aplicação dos métodos descritos na sequência, à exceção dos gráficos de perfis, dispostos no item 6.5.

### 6.1. SUMÁRIO ESTATÍSTICO

Na sequência, seguem apresentadas na Tabela 2 as estatísticas globais (ou gerais) das superfícies batimétricas em estudo. Em seguida, a Tabela 3 retrata os resultados calculados entre os MDT batimétricos e o conjunto dos dados de controle, o qual foi padronizado a uma resolução espacial de 100 m. Esta parametrização da resolução espacial em 100 m, proporcionou ao conjunto Dados de Controle, a profundidade média de 4.003,6 m, com desvio padrão de 845,4 m, uma profundidade mínima de 10,5 m e máxima de 7.677,2 m, alcançando por fim, um total de 20.108.591 células em sua grade.

Tabela 2: Estatísticas globais das superfícies batimétricas

Parâmetros	ETOPO1	GEBCO2014	GEBCO2020	LEPLAC Brasil
Número total de células do MDT (N)	3.225.320	12.890.376	51.561.757	1.894.581
Profundidade mínima do MDT (m)	-1.145	-1.257	-2.365	-299
Profundidade máxima do MDT (m)	6.845	6.844	6.451	6.455
Amplitude das profundidades do MDT(m)	7.990	8.101	8.816	6.754
Profundidade média do MDT: $\mu$ (m)	3.870,4	3.870,8	3.874,6	3.871,2
Desvio padrão do MDT: $\sigma$ (m)	1.424	1.425,9	1.418,5	1.141,4
Número de células “profundidades negativas” (neg)	3.256	12.988	39.597	2.112
Porcentagem “profundidades negativas” (n)	0,10%	0,10%	0,07%	0,11%

Destaca-se a expressiva diferença entre a quantidade de células das superfícies batimétricas devido a suas resoluções espaciais originais, bem como o encontro de valores negativos às profundidades mínimas em todos os MDT. Quanto a isto, percebe-se que a quantidade de células com “profundidades negativas” (índice neg, da Tabela 2), não supera a proporção de 0,11% da quantidade total de células de cada modelo (índice n, da mesma Tabela 2).

Tabela 3: Estatísticas entre as superfícies batimétricas e o dado de controle.

Parâmetros	Dados Controle x ETOPO1	Dados Controle x GEBCO2014	Dados Controle x GEBCO2020	Dados Controle x LEPLAC Brasil
Número de células da amostra (n)	20.095.345	20.095.026	20.095.440	20.093.314
Menor erro da amostra (m)	-1.657,5	-1.673,8	-1.636,7	-1.623,3
Maior erro da amostra (m)	3.604,7	3.701,7	3.705,7	3.732,0
Amplitude dos erros (m)	5.262,2	5.375,5	5.342,4	5.355,3
ME (m)	11,9	15,5	14,0	13,6
Desvio padrão: $\sigma$ (m)	174,7	134,9	107,0	112,1
RMSE (m)	175,1	135,8	107,9	112,9

A interseção dos “Dados de Controle” com os respectivos MDTs apresenta um número de células amostral (n) coerente em grandeza, com algumas variações devido aos limites de corte. Observa-se pela Tabela 3, que os valores dos erros extremos permitem o cálculo da amplitude dos erros, apontando o MDT GEBCO2014 com a maior variação (5.375,5 m). Apesar de próximos, o erro médio (ME) mostra que a superfície ETOPO1, em média, é o modelo mais raso. Já o RMSE apresenta que o modelo GEBCO2020 é o que mais se aproxima dos valores considerados verdadeiros, enquanto a superfície ETOPO1 é a mais distante dos dados de controle.

## 6.2. HISTOGRAMAS

O uso de histogramas para apresentação das profundidades ao longo da área de estudo (Fig.25), permite a comparação das curvas de distribuição entre as diferentes superfícies, bem como a detecção dos valores extremos existentes em cada produto.

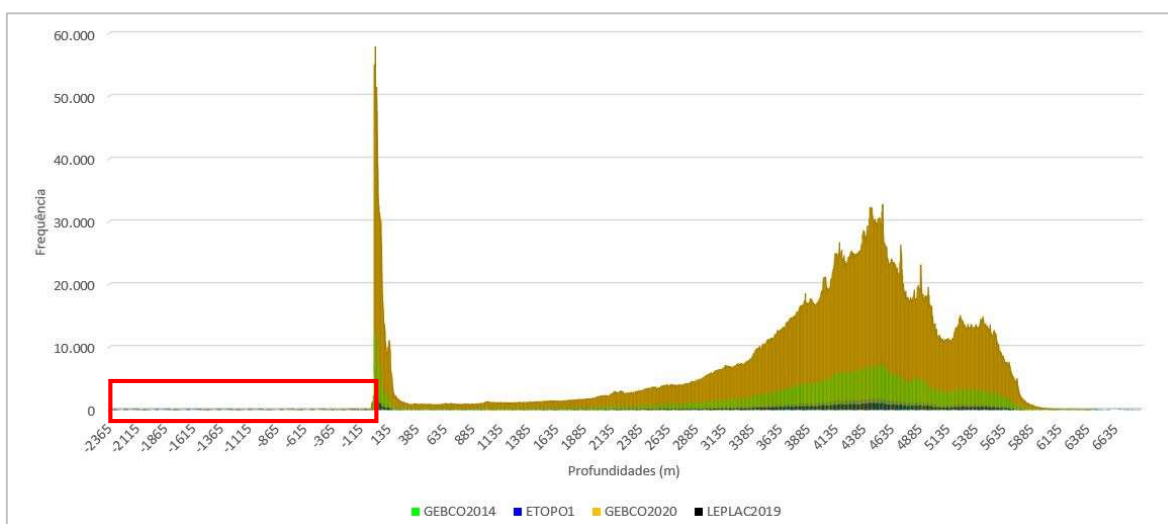


Figura 25 - Distribuição da frequência dos valores de profundidades dos MDTs ETOPO1, GEBCO2014, GEBCO2020 e LEPLAC Brasil. O retângulo vermelho destaca os elementos inferiores à profundidade de zero metros.

Os gráficos da Fig.25 apresentam variações da ordem de 27 vezes em frequência, sendo 57.858 ocorrências do valor 9 m ao caso da superfície GEBCO2020, à frequência máxima de 2.125 eventos, no modelo batimétrico LEPLAC Brasil, com 8 m. Tal diferença decorre da própria variação do número de células dos respectivos MDTs em análise (ver Tabela 2, índice “N”).

Observa-se em destaque pela Fig.26 ora apresentada em escala logarítmica para enfatizar as frequências “negativas” existentes, que o modelo batimétrico GEBCO2020 (na cor laranja) apresenta o extremo valor negativo às profundidades (-2.365 m, acordo Tabela 2), enquanto a distribuição LEPLAC Brasil (em preto) apontou ocorrências inferiores dentre estes modelos (-299 m, referente a Tabela 2).

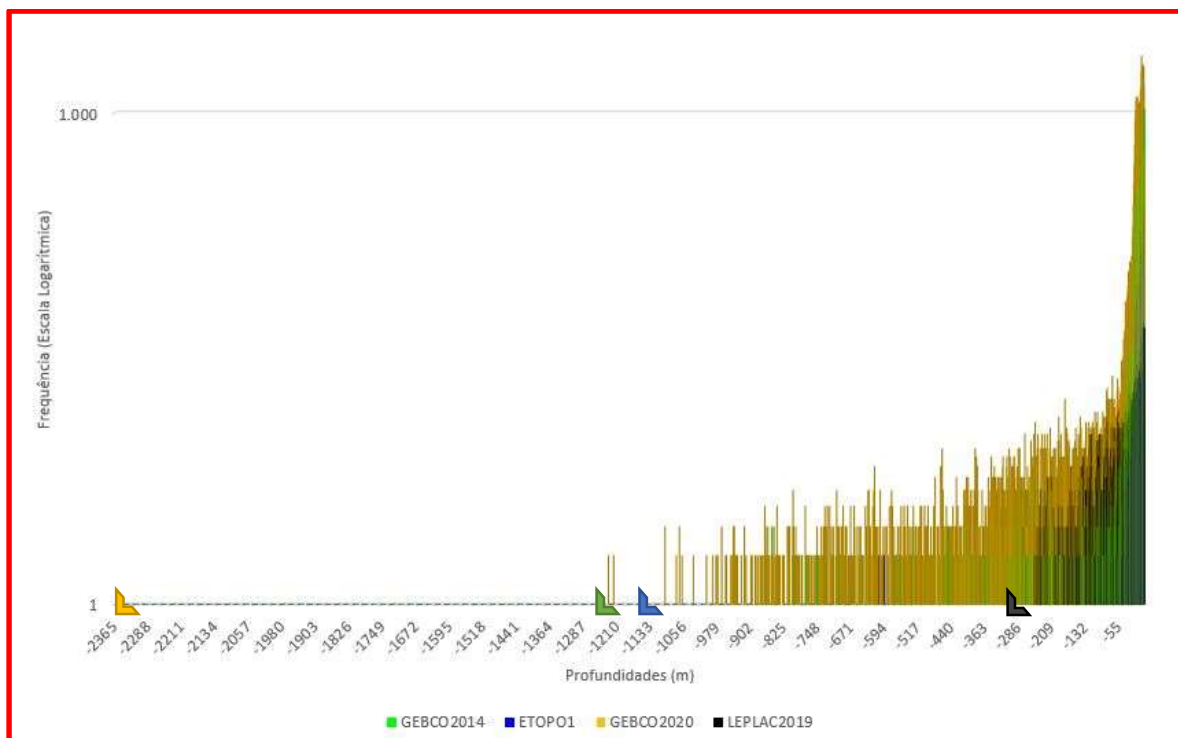


Figura 26 - Destaque à distribuição da frequência (escala logarítmica) com a representação dos limites dos valores de profundidades "inferiores a zero metros" dos respectivos MDTs.

Em seguida, observa-se o painel de histogramas fruto do contraste entre as profundidades oriundas dos MDT e aquelas obtidas pelo conjunto dos Dado de Controle, ou seja, têm-se a distribuição dos denominados erros calculados (Fig. 27).

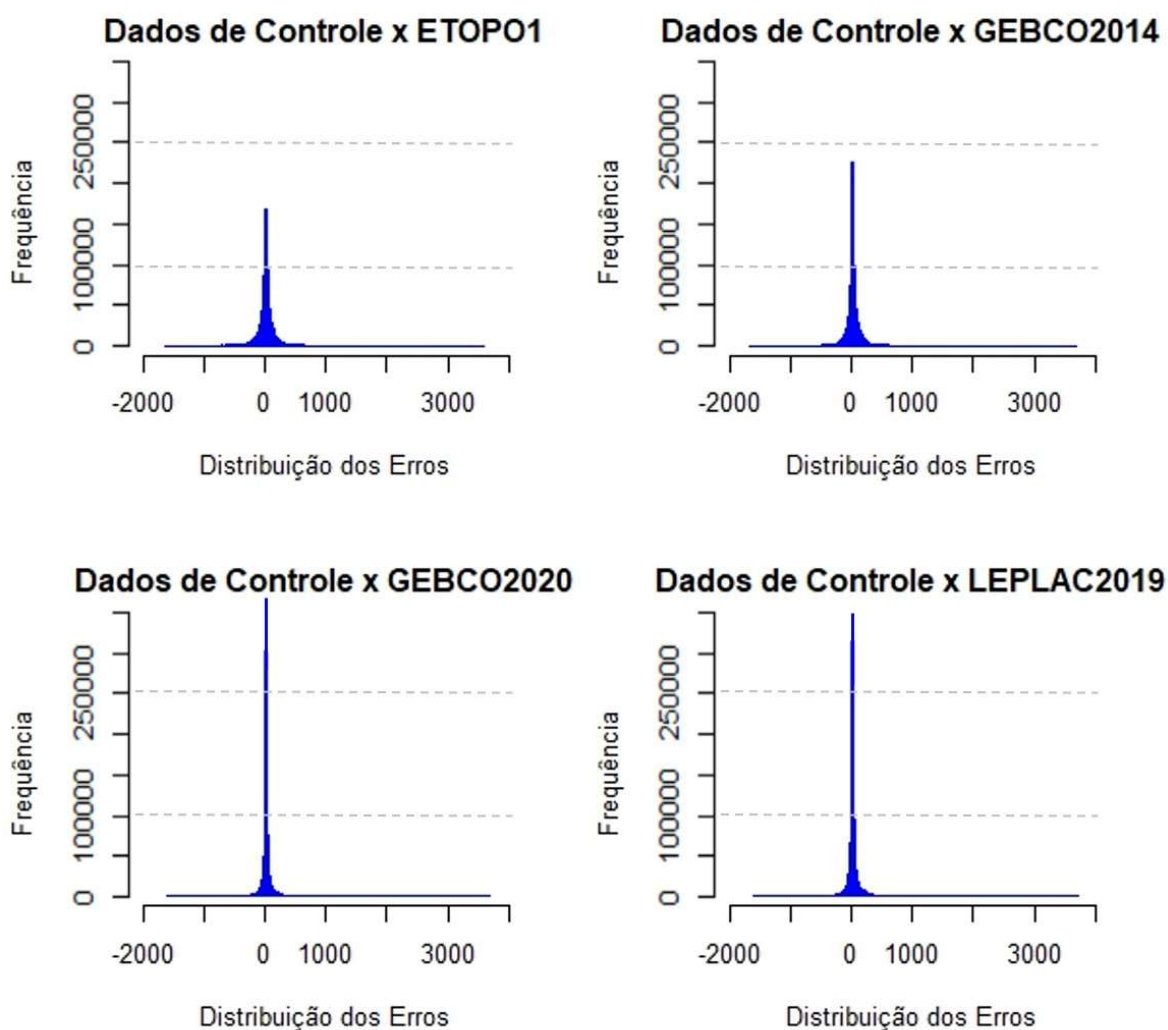


Figura 27 - Histograma dos Erros entre as superfícies ETOPO1, GEBCO2014, GEBCO2020, LEPLAC Brasil e os Dados de Controle.

Pelos histogramas apresentados anteriormente, quanto maior forem as ocorrências de valores ao erro igual a 0 m, mais adequado se mostra o MDT. Observa-se que os gráficos possuem o mesmo padrão às escalas horizontal e vertical, proporcionando comparações entre os máximos das frequências atingidas pelas respectivas superfícies. A Fig. 27 aponta o alcance da máxima frequência pela superfície batimétrica GEBCO2020 com 377.413 ocorrências do valor 2,49 m, seguida pelo modelo LEPLAC Brasil com 350.420 eventos de 3,87 m, o GEBCO2014 com 224.925 repetições de 5,43 m e, por fim o MDT ETOPO1 que obteve 167.438 medidas de 0,59 m.

Todas as curvas mostram uma concentração dos eventos em torno do valor 0 m (erros próximos a zero metros) de acordo com os valores de ME obtidos anteriormente (Tabela 3), e se dispersam sob a forma de uma Distribuição Normal.

Uma breve análise sobre assimetria e curtose destas curvas (em inglês usualmente denominadas por *skewness* e *kurtosis*, respectivamente), demonstra um comportamento leptocúrtico<sup>15</sup>, ou seja, uma distribuição dos resultados mais concentrada verticalmente. Neste sentido, entende-se que quanto maior a concentração vertical, mais o MDT se assemelha ao dado de controle.

### 6.3. REGRESSÃO LINEAR E COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO

Os gráficos que estão em sequência apresentam a correlação entre as profundidades obtidas pelas superfícies batimétricas (ETOPO1, GEBCO2014, GEBCO2020 e LEPLAC Brasil) e o conjunto dos Dados de Controle. Nota-se que a tendência de distribuição dos valores respeita a equação de reta ajustada pela regressão linear, proporcionando o cálculo do coeficiente de correlação (ou *Pearson*) e seu respectivo coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

A alta correlação existente entre a variável explanatória (profundidades dos Dados de Controle) e a variável de resposta (profundidades dos MDTs: ETOPO1, GEBCO2014, GEBCO2020 e LEPLAC Brasil) é apontada graficamente pelas Figuras 28 a 31.

---

<sup>15</sup> As curvas de distribuição amostral podem ser classificadas como mesocúrtica (comportamento padrão), plasticúrtica (forma achatada) ou leptocúrtica (aspecto alongado) (OLEA, 2009).

## Correlação entre Dados de Controle e ETOPO1

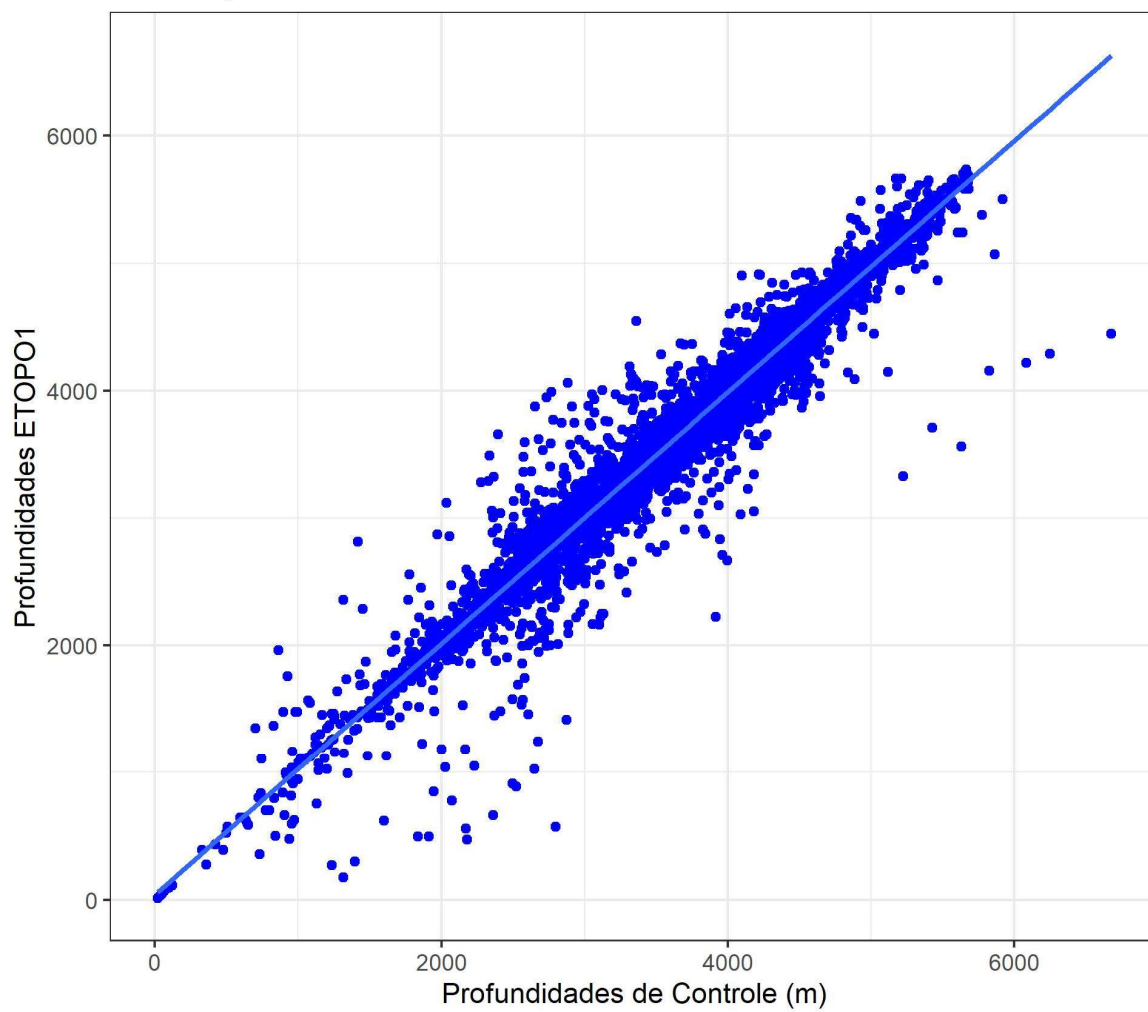


Figura 28 - Correlação e regressão linear entre as profundidades obtidas pelo MDT ETOPO1 e os Dados de Controle.

## Correlação entre Dados de Controle e GEBCO2014

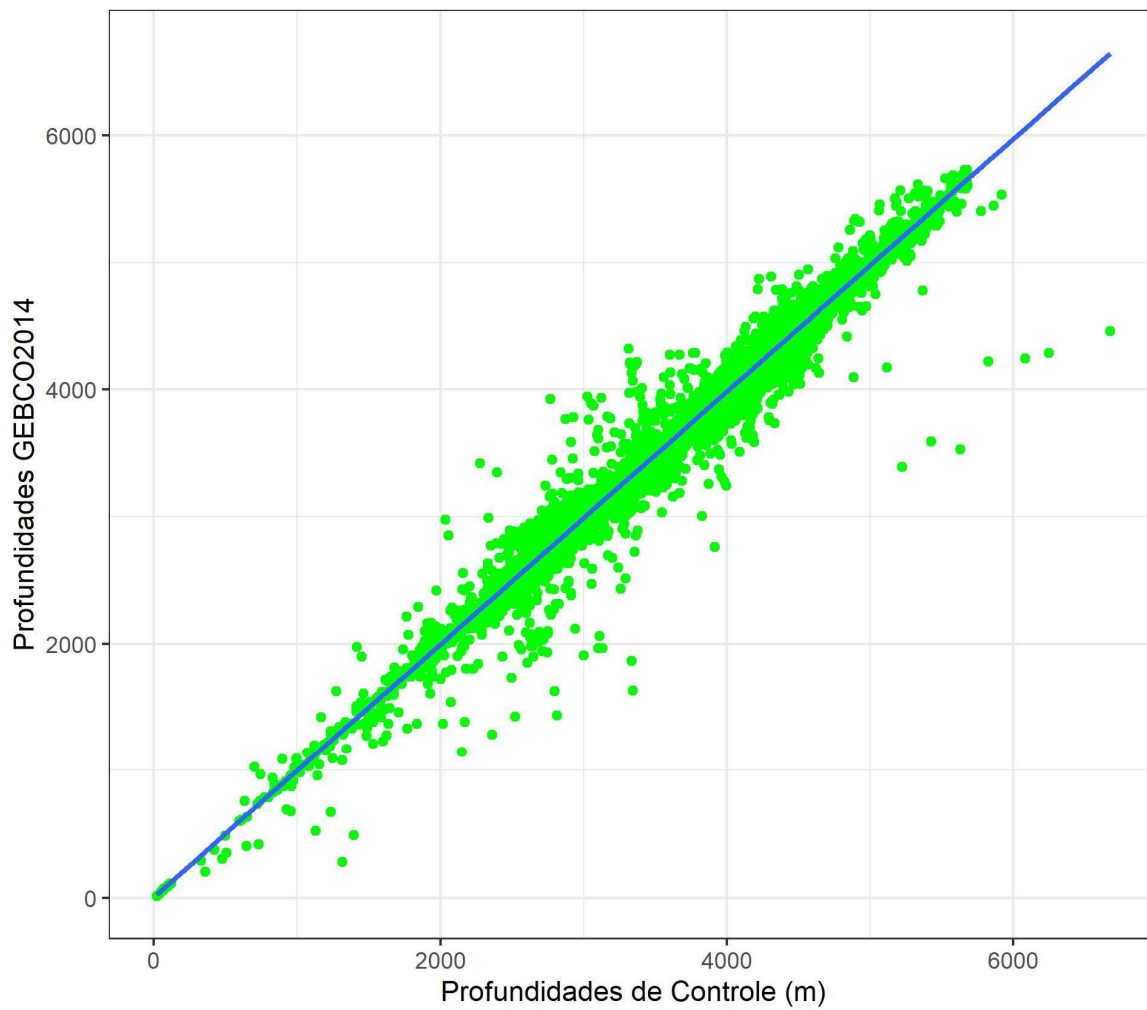


Figura 29 - Correlação e regressão linear entre as profundidades obtidas pelo MDT GEBCO2014 e os Dados de Controle.

## Correlação entre Dados de Controle e GEBCO2020

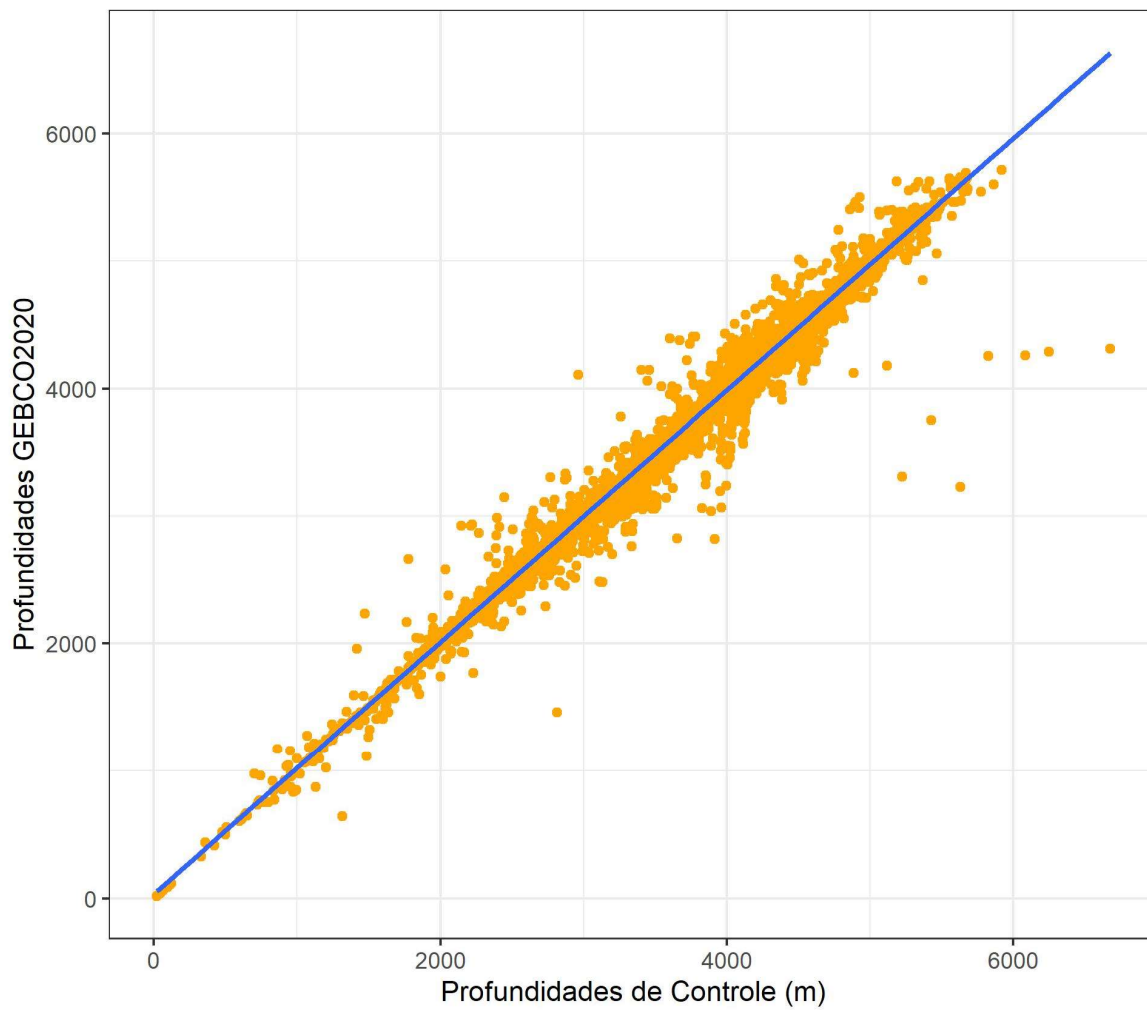
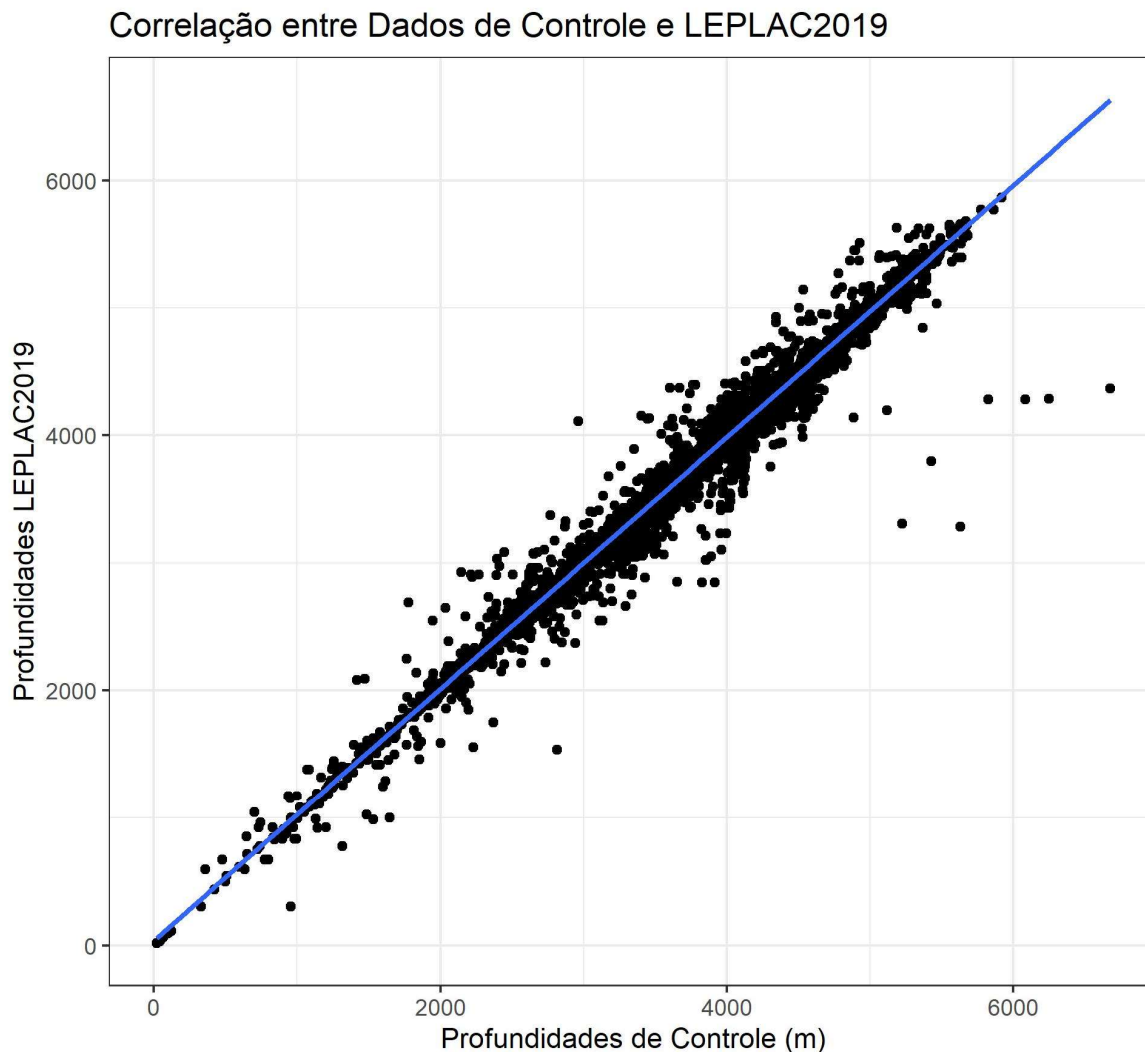


Figura 30 - Correlação e regressão linear entre as profundidades obtidas pelo MDT GEBCO2020 e os Dados de Controle.



*Figura 31 - Correlação e regressão linear entre as profundidades obtidas pelo MDT LEPLAC Brasil e os Dados de Controle.*

Analiticamente, observa-se que os coeficientes de correlação ( $R$ ) e determinação ( $R^2$ ) são, respectivamente: ETOPO1 x Dados de Controle: 0,9701 e 95,82%; GEBCO2014 x Dados de Controle: 0,9812 e 97,49%, GEBCO2020 x Dados de Controle: 0,9978 e 98,40% e por fim, LEPLAC Brasil x Dados de Controle: 0,9968 e 98,24%.

Os índices  $R$  e  $R^2$  se mostram eficazes à distinção de um resultado em termos comparativos, contudo a proximidade destes valores demonstra a necessidade de uso de ferramentas de análise complementares. Como  $R$ , varia de -1 a 1, percebe-se que todos os casos expressam a direção crescente com forte correlação entre as variáveis, tendo os modelos GEBCO2020 e LEPLAC Brasil alcançado os maiores índices.

#### 6.4. DIAGRAMA DE TAYLOR

O estudo e aplicação inovadora desta ferramenta permite a partir da observação em um único gráfico, uma análise comparativa dos diversos parâmetros estatísticos, como, o desvio-padrão ( $\sigma$ ), a raiz do erro médio quadrático (RMSE) e a correlação (R) entre as variáveis de interesse (Fig. 32).

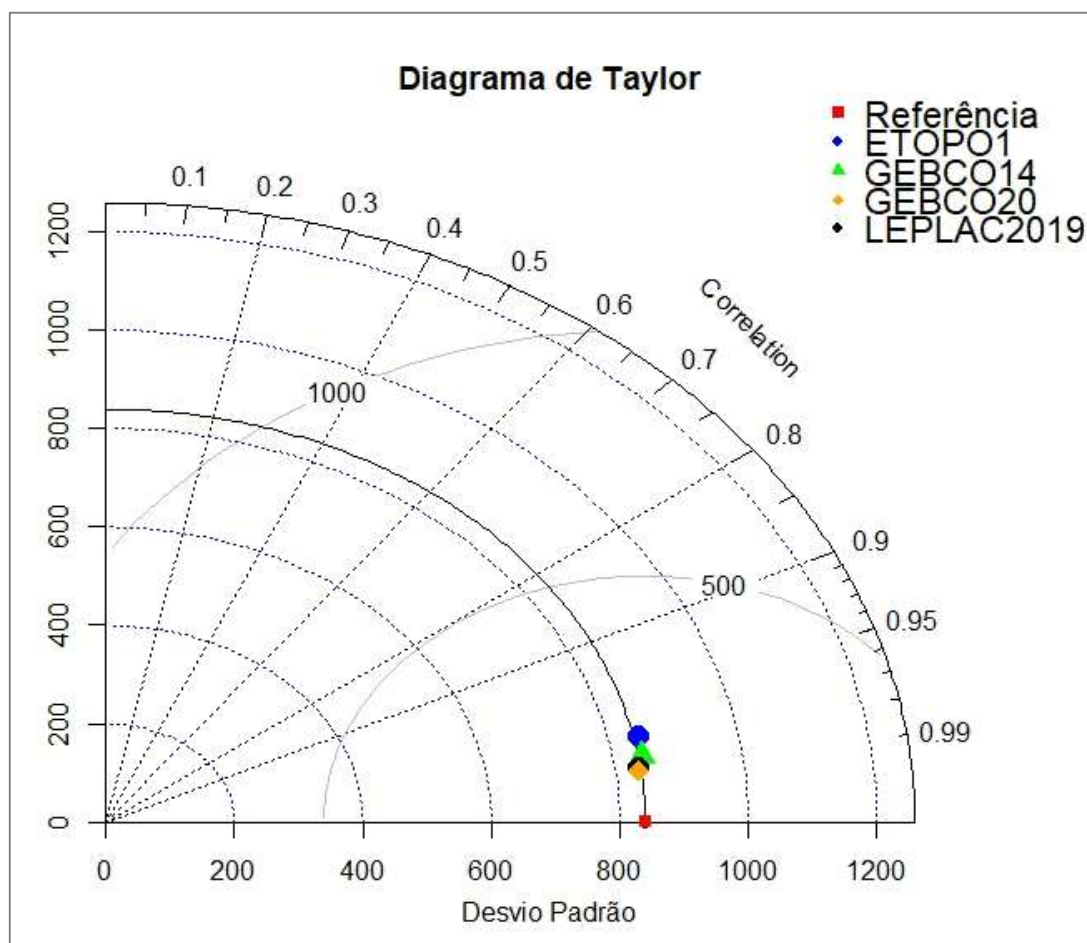


Figura 32 – Diagrama de Taylor contendo Desvio-Padrão, RMSE e Correlação entre os modelos ETOPO1, GEBCO2014, GEBCO2020, LEPLAC Brasil e os Dados de Controle.

Para melhor compreender o Diagrama de Taylor acima, é necessário frisar que o mesmo é construído a partir dos valores de profundidades obtidos junto aos “Dados de Controle” (ponto em vermelho) e aqueles oriundos dos respectivos MDTs batimétricos (símbolos em azul, verde, laranja e preto).

Neste sentido, observa-se a proximidade entre o desvio-padrão dos Dados de Controle (845,4 m) e demais modelos sendo, ETOPO1 (azul) 853,22 m, GEBCO14 (verde) 850,83 m, GEBCO20 (laranja) 840,55 m e LEPLAC Brasil (preto) 840,76 m.

Da mesma forma, detecta-se elevada correlação ( $R$ ) entre os modelos e o dado de controle, com destaque a maior índice obtido pela superfície GEBCO2020 (laranja) com 0,9978 (equivalente a 99,78%), e o menor ao ETOPO1 (azul) de 0,9701 (ou 97,01%). Por fim, o maior RMSE - representando o maior afastamento do valor de referência, ou seja, pior resultado - foi alcançado pelo modelo ETOPO1 (azul) 175,1 m; enquanto o menor refere-se ao GEBCO2020 (laranja) com 107,9 m.

## 6.5. GRÁFICO DE PERFIS

Com fito de observar aspectos morfológicos de distintas regiões da área de estudo, foram traçados três diferentes perfis sobre as linhas do conjunto de dados de controle, partindo da plataforma continental brasileira em direção às águas profundas do oceano Atlântico (Fig. 33a). O Perfil 1 – Margem Meridional, alcança as proximidades da Elevação do Rio Grande, Perfil 2 – Margem Oriental, cobre parte da Cadeia Vitória-Trindade; e Perfil 3 – Margem Equatorial, engloba um setor da Cadeia Norte Brasileira (Fig. 33b).

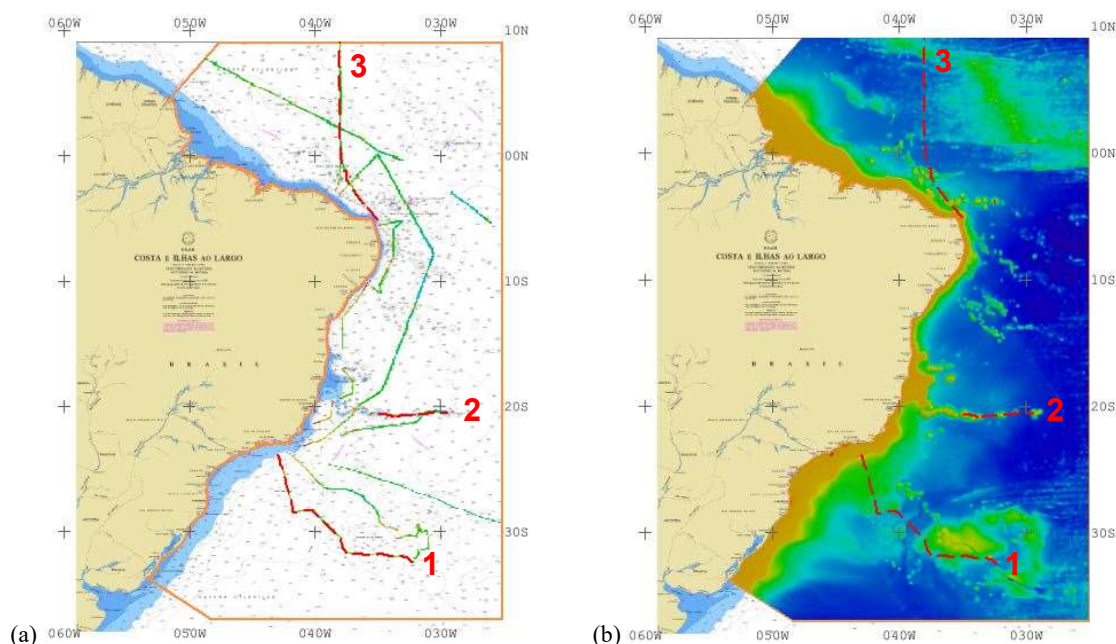


Figura 33 – (a) Disposição dos três perfis (em vermelho), selecionados a partir do conjunto de dados de controle plotados sobre a Carta nº1. (b) Perfis 1, 2 e 3 traçados sobre as feições morfológicas da área de estudo representada pela superfície LEPLAC Brasil.

Disposto sobre a Margem Meridional da Plataforma Continental, o Perfil 1 parte de aproximadamente 300 m avançando à mais de 4.600 m, sentido sudeste até alcançar a extremidade leste da Elevação do Rio Grande. Neste trajeto, ao observar a Figura 34, o Perfil

1 percorre o Platô de São Paulo (Ponto 1), cruzando o Canal Vema (Ponto 2) e os Montes Jean Charcot (Ponto 3), até o *Guyot* Sirius (Ponto 4).

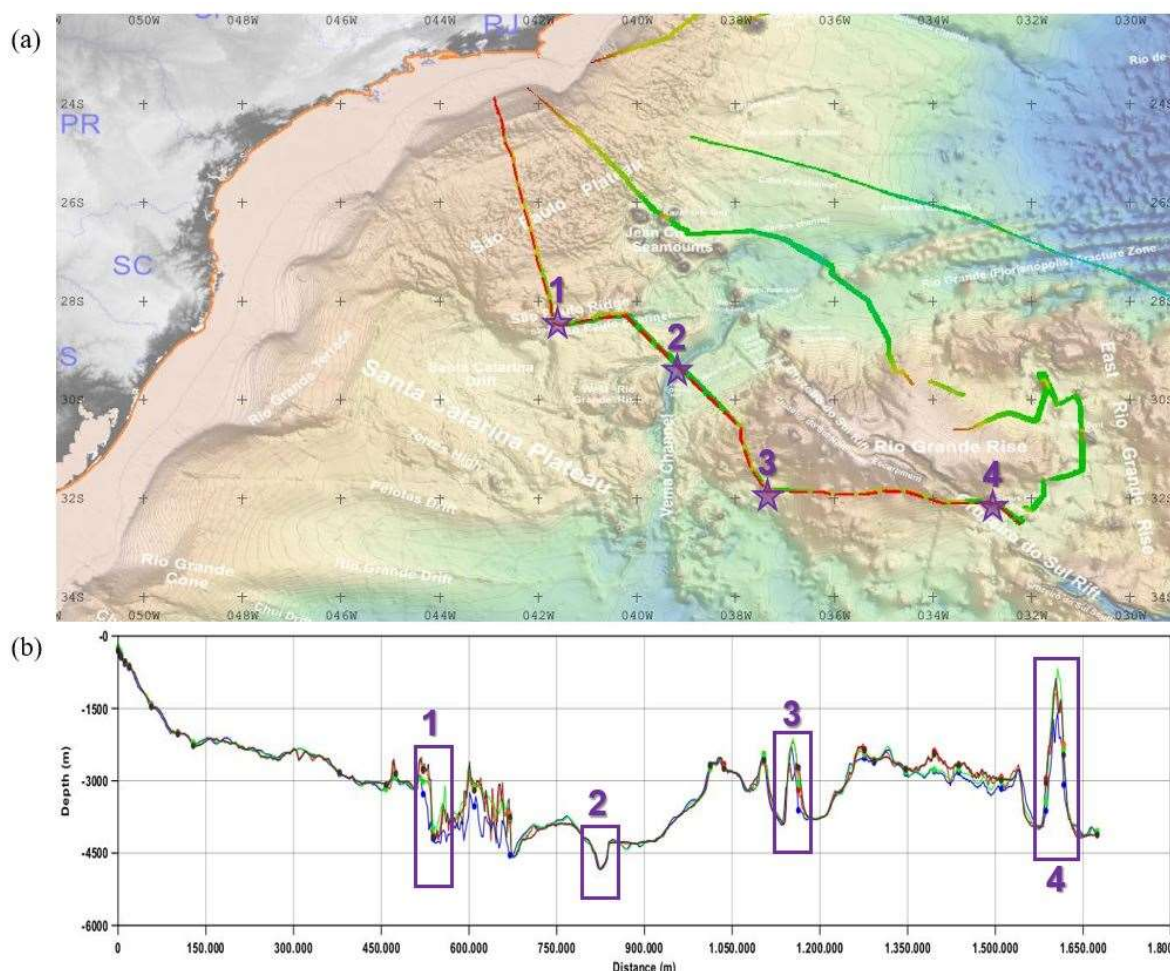


Figura 34 – (a) Disposição do Perfil (traçado em vermelho) e de feições geomorfológicas de destaque na região (estrelas em roxo) tomados sobre uma linha de dados de controle plotados sobre o Mapa Fisiográfico do LEPLAC, 2021. (b) Perfil 1 traçado sobre as feições morfológicas da área de estudo, sendo em vermelho dados de controle, enquanto as profundidades dos MDT seguem com GEBCO2014 em verde, GEBCO2020 em laranja, ETOPO1 em azul e LEPLAC Brasil na cor preta. Os retângulos representam setores: 1 – Plateus de São Paulo, 2 - Canal Vema, 3 – Monte Jean Charcot, e 4 - *Guyot* Sirius.

Traçado sobre a Margem Oriental da Plataforma Continental, o Perfil 2, parte de profundidades de 58 m à 4.700 m, rumo leste sobre a Cadeia Vitória-Trindade. Ao longo de seu percurso, observa-se pela Figura 35, que o mesmo passa por setores do Banco Davis (Ponto 1), cobrindo ainda o Banco Dogarossa (Ponto 2), bem como o Monte submarino Columbia (Ponto 3) e a Ilha de Trindade (Ponto 4), declarados Monumento Natural e Área de Proteção Ambiental, pelo Decreto nº 9.312, de 19 de março de 2018 (Ponto 4).

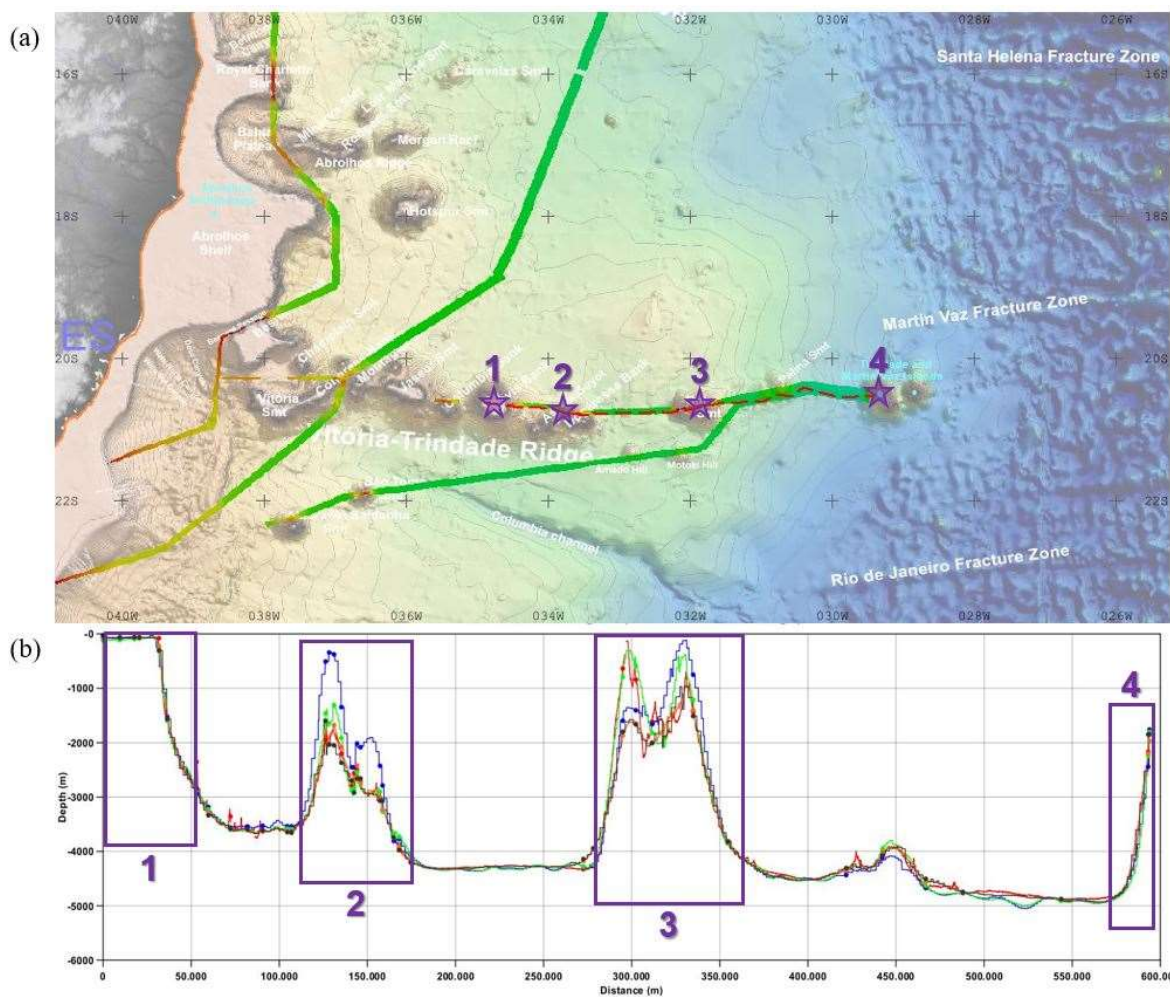


Figura 35 – (a) Disposição do Perfil 2 (tracejado em vermelho) e feições geomorfológicas de destaque na região (estrelas em roxo) tomados sobre uma linha de dados de controle plotados sobre o Mapa Fisiográfico do LEPLAC, 2021. (b) Perfil 2 traçado sobre as feições morfológicas da área de estudo, sendo em vermelho dados de controle, enquanto as profundidades dos MDT seguem com GEBCO2014 em verde, GEBCO2020 em laranja, ETOPO1 em azul e LEPLAC Brasil na cor preta. Os retângulos apresentam setores: 1 – Banco Davis, 2 – Banco Dogaressa, 3 – Monte submarino Columbia, e 4 – Ilhas de Trindade e Martin Vaz.

Englobando a Margem Equatorial da Plataforma Continental, o Perfil 3 possui origem no Platô Rio Grande do Norte, com 40 m seguindo à 6.000 m, cruzando inclusive a Cadeia Norte Brasileira. Nota-se pela Figura 36, que após partir do Platô Rio Grande do Norte (Ponto 1), segue ao Banco Sírius (Ponto 2), Guyot Guarani (Ponto 3), encontrando a Zona de Fratura *La Romanche* e Cadeia Parnaíba (Ponto 4), os Montes Submarinos Ceará (Ponto 5) e, por fim a Zona de Fratura *Vernadsky* (Ponto 6).

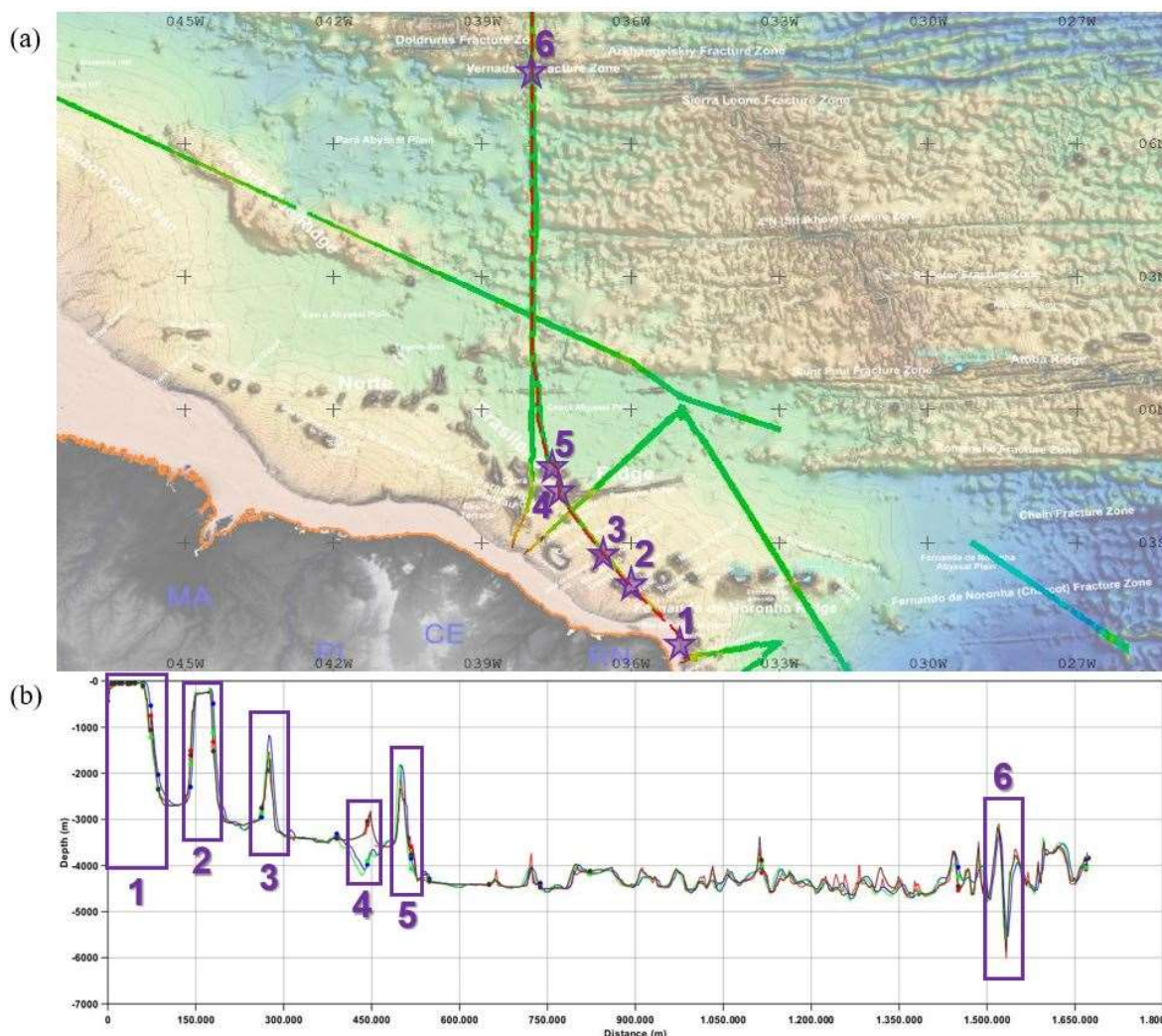


Figura 36 – (a) Configuração do Perfil 3 (tracejado em vermelho) e feições geomorfológicas de destaque na região (estrelas em roxo) tomados sobre uma linha de dados de controle plotados sobre o Mapa Fisiográfico do LEPLAC, 2021. (b) Perfil 3 disposto sobre as feições morfológicas da área de estudo, sendo em vermelho dados de controle, enquanto as profundidades dos MDT seguem com GEBCO2014 em verde, GEBCO2020 em laranja, ETOPO1 em azul e LEPLAC Brasil na cor preta. Os retângulos apresentam setores: 1 – Plateau Rio Grande do Norte, 2 – Banco Sírius, 3 – Guyot Guarani, 4 – Zona de Fratura La Romanche e Cadeia Parnaíba, 5 – Montes Submarinos Ceará, e 6 - Zona de Fratura Vernadsky.

Com base nas Figuras 34 a 36, observa-se a aderência das profundidades estimadas pelos distintos MDTs junto às sondagens tomadas sobre o conjunto de Dados de Controle (ora representado em vermelho). A construção dos perfis, segue simbolizada por pontos e linhas coloridas (GEBCO2014 = verde, GEBCO2020 = laranja, ETOPO1 = azul e LEPLAC Brasil = preto). Os pequenos trechos, onde há somente linhas, são fruto apenas da ligação linear dos respectivos pontos. Preservando a integridade dos resultados, não houve interpolação/suavização entre os pontos de cruzamento dos dados de controle e a batimetria obtida pelos MDTs. De modo geral, percebe-se uma alta correlação entre os diversos

conjuntos de dados batimétricos, contudo o dado de controle apresenta alguns trechos de discrepância frente a todas as superfícies.

A fim de apresentar um parâmetro de tolerância às comparações optou-se pelo estabelecimento dos limites superior e inferior tomados a partir do dado de controle. Este afastamento foi calculado com base na Equação 4, descrita abaixo como a aplicação da uma Incerteza Vertical Total (IVT) de ordem 2, e um nível de confiança de 95%, de acordo com as especificações da S-44 6ªed (IHO, 2020), sendo realizado por meio do software CARIS BASE Editor (Fig. 37).

$$\text{Limites} = Z_i \pm \sqrt{1 + (0.023 * Z_i)^2} \quad (\text{Eq.4})$$

Onde:  $Z_i$  são as profundidade do dado de controle.

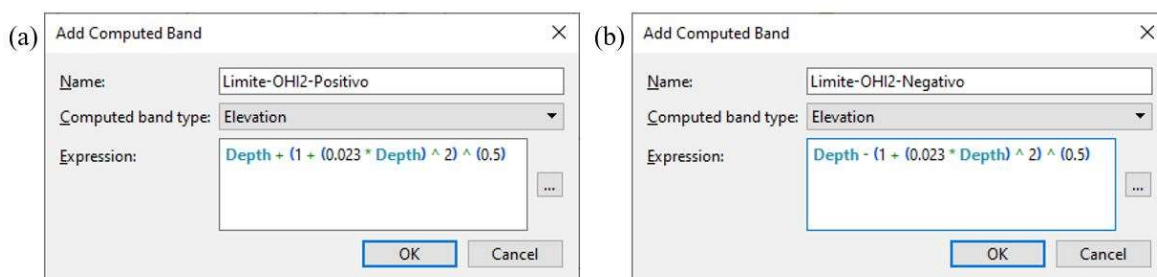


Figura 37 - Cômputo dos limites superior (a) e inferior (b) ao dado de controle para ordem n<sup>o</sup>2 da S-44 6ed. OHI.

As Fig. 38 a 40, mostram que grande parte dos valores estimados pelas superfícies batimétricas apresentam alta correlação com o dado de controle (em vermelho), especialmente as profundidades oriundas dos modelos GEBCO2020 e LEPLAC Brasil, que majoritariamente permanecem dentro dos limites calculados para ordem 2 nestes trechos (linhas em amarelo). Contudo, a análise dos resíduos por meio dos Setores, permite observar detalhes na capacidade de detecção dos respectivos MDTs, frente a alterações abruptas e pronunciadas nas profundidades de determinadas feições geomorfológicas.

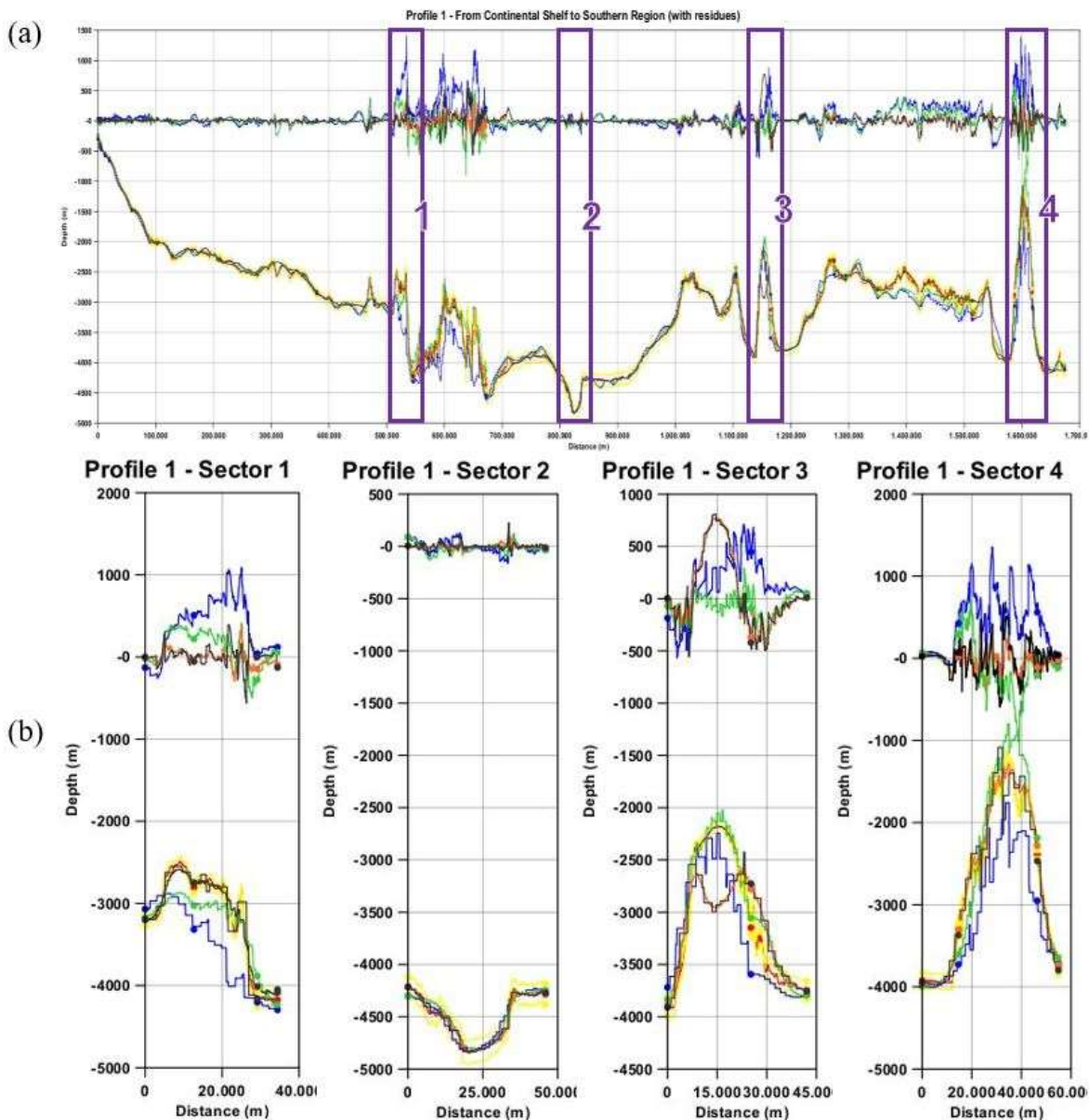


Figura 38 – (a) Perfil 1 – Margem Meridional, com representação das profundidades e resíduos entre os Dados de Controle e as profundidades estimadas pelos MDTs. Em destaque, algumas feições geomorfológicas seguem numeradas por Setores. (b) Perfil 1 e seus Setores em destaque, contendo detalhes quanto ao Dado de Controle em vermelho, MDTs GEBCO2014 em verde, GEBCO2020 em laranja, ETOPO1 em azul e LEPLAC Brasil na cor preta, e os limites para Ordem 2, OHI em amarelo. Os retângulos apresentam setores: 1 – Plateaus de São Paulo, 2 – Canal Vema, 3 – Monte Sean Charcot, e 4 – Guyot Sirius.

O Perfil 1 por exemplo, aponta no Setor 1 – Escarpa do Platô de São Paulo e no Setor 4 – Guyot Sírius (Fig. 38b), que o MDT ETOPO1 alcançou resíduos superiores a 1.000 m, evidenciando dificuldade na modelagem destes contrastes. Em menor escala, no Setor 3 – Montes Jean Charcot os MDTs GEBCO2020 e LEPLAC Brasil também demonstraram resíduos da ordem de 500 m (Fig. 38b).

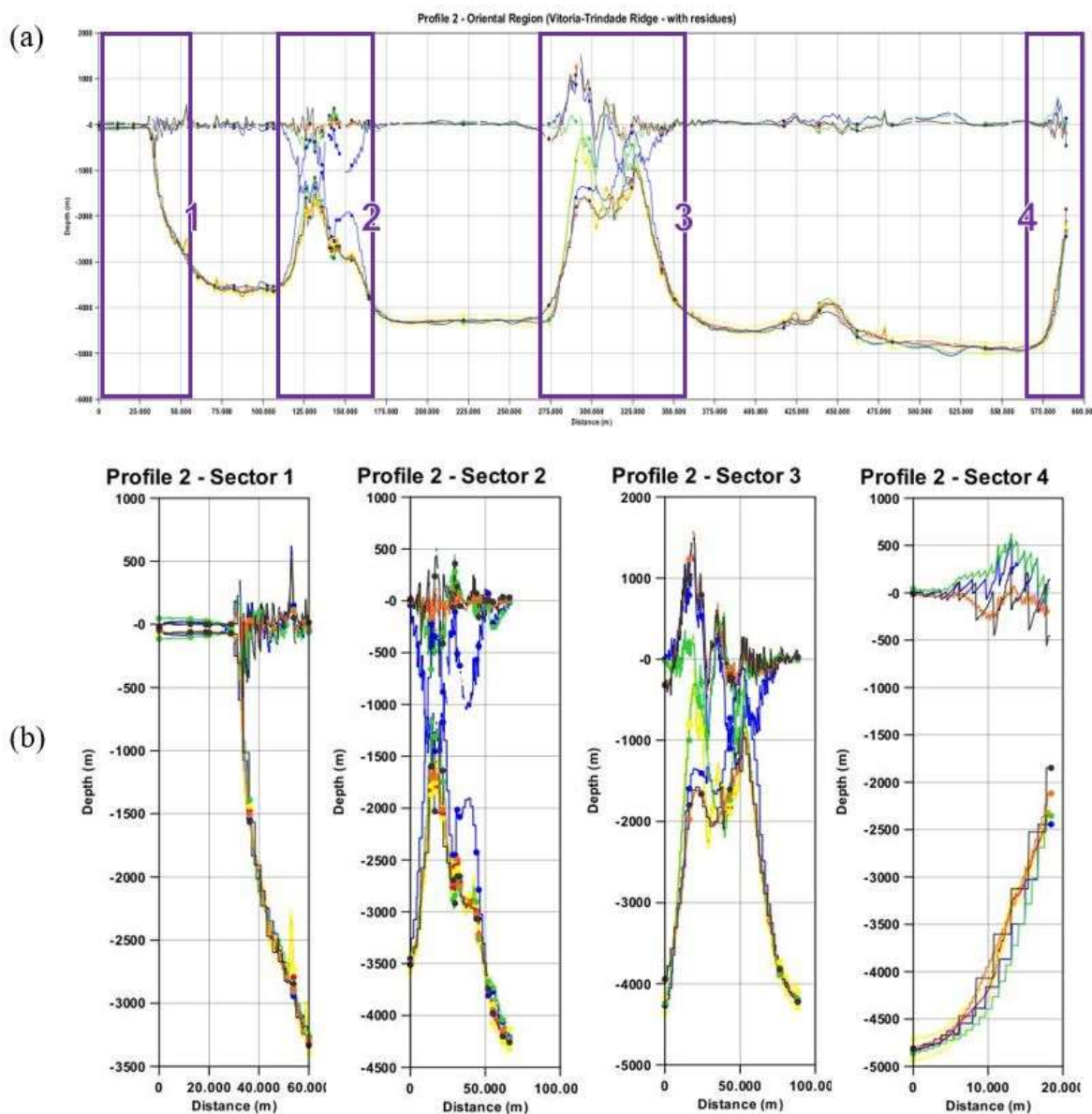


Figura 39 – (a) Perfil 2 – Margem Oriental, com representação das profundidades e resíduos entre os Dados de Controle e as profundidades estimadas pelos MDTs. Em destaque, algumas feições geomorfológicas seguem numeradas por Setores. (b) Perfil 2 e seus Setores em destaque, contendo detalhes quanto ao Dado de Controle em vermelho, MDTs GEBCO2014 em verde, GEBCO2020 em laranja, ETOPO1 em azul e LEPLAC Brasil na cor preta, e os limites para Ordem 2, OHI em amarelo. Os retângulos apresentam setores: 1 – Banco Davis, 2 – Banco Dogaressa, 3 – Monte submarino Columbia, e 4 – Ilhas de Trindade e Martin Vaz.

Observa-se no Perfil 2 (Fig. 39b), Setor 2 – Banco Dogaressa e Setor 3 – Monte submarino Columbia, o comportamento de elevados resíduos, superiores a 1.000 m, ao MDT ETOPO1. Em especial, o Setor 3 (Fig. 39b) ainda apontou deficiências significativas aos demais MDTs.

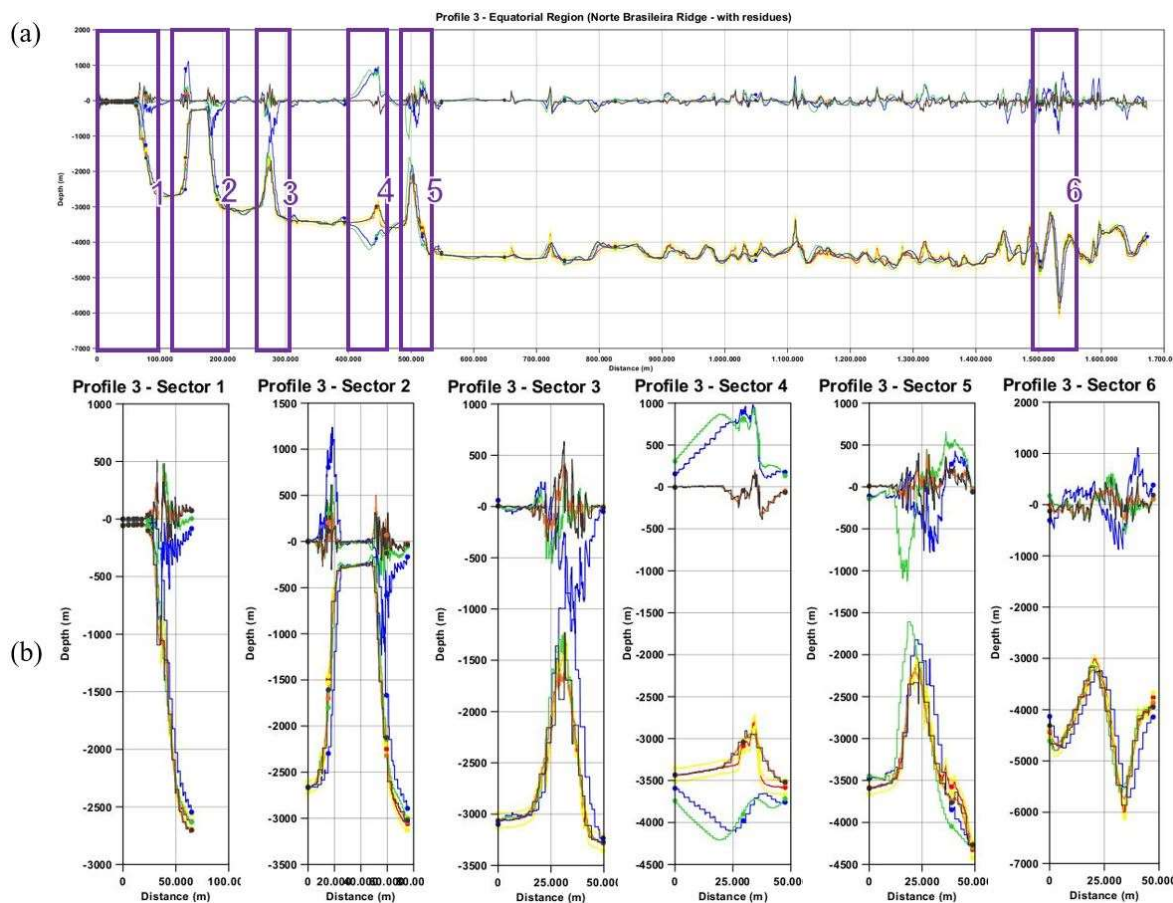


Figura 40 – (a) Perfil 3 – Margem Equatorial, com representação das profundidades e resíduos entre os Dados de Controle e as profundidades estimadas pelos MDTs. Em destaque, algumas feições geomorfológicas seguem numeradas por Setores. (b) Perfil 3 e seus Setores em destaque, contendo detalhes quanto ao Dado de Controle em vermelho, MDTs GEBCO2014 em verde, GEBCO2020 em laranja, ETOPO1 em azul e LEPLAC Brasil na cor preta, e os limites para Ordem 2, OHI em amarelo. Os retângulos apresentam setores: 1 – Plateaus Rio Grande do Norte, 2 – Banco Síríus, 3 – Guyot Guarani, 4 – Zona de Fratura La Romanche e Cadeia Parnaíba, 5 – Montes Submarinos Ceará, e 6 – Zona de Fratura Vernadsky.

Por fim, o Perfil 3 (Fig. 40), contempla no Setor 2 – Banco Síríus e Setor 3 – Guyot Guarani, com o MDT ETOPO1 alcançando os maiores resíduos, superiores à 1.000 m. Porém, logo no Setor 5 – Montes Submarinos Ceará, é o MDT GEBCO2014 que atinge resíduos da ordem de 1.000 m. O Setor 4 – Zona de Fratura *La Romanche* e Cadeia Parnaíba, destaca-se pelo interessante contraste entre os diferentes resultados dos MDTs, sendo que tanto o MDT ETOPO1 como GEBCO2014 alcançam resíduos próximos a 1.000 m, em curvas similarmente contrárias aos MDTs GEBCO2020 e LEPLAC Brasil, sendo estes últimos mais aderentes ao Dado de Controle. Infere-se que tal comportamento seja fruto do compartilhamento de dados de origem similares por parte dos pares de MDTs ETOPO1 e GEBCO2014, frente a GEBCO2020 e LEPLAC Brasil, quando da realização de suas interpolações.

De modo geral aos três perfis, percebe-se comparativamente uma tendência de suavização dos resultados por parte das superfícies GEBCO2020 e LEPLAC Brasil, bem como uma maior adaptação às variações abruptas devido a feições geomorfológicas, frente aos modelos GEBCO2014 e ETOPO1. Este fato se mostra coerente ao comportamento do perfil do conjunto de dados de controle em maior parte do tempo, pois constatou-se que o perfil da superfície GEBCO2020 e LEPLAC Brasil possuem respectivamente, 85,98% e 84,82% de seus valores de profundidade contidos dentro da tolerância ora estabelecida pela Ordem 2 da OHI (Eq.4). Enquanto os perfis GEBCO2014 e ETOPO1 atingiram 76,56% e 71,21%, respectivamente, ou seja, aproximadamente 8% a 14% abaixo dos demais modelos.

#### 6.6. SUPERFÍCIE DE DIFERENÇA

A exemplo do que ocorre em MDTs globais e regionais, como caso do Grid GEBCO (WEATHERALL et al., 2015; FERRINI et al., 2021) e EMODnet (EMODnet, 2016, 2018, 2021), a iniciativa nacional do Plano LEPLAC prevê dentre suas atividades a assimilação contínua de diversos levantamentos geológicos, geofísicos e batimétricos ao banco de dados espaciais do projeto. Desta forma, a atualização de informações sobre a geomorfologia marinha brasileira, se materializa com incremento gradual e supervisionado de tais dados à superfície batimétrica LEPLAC Brasil, dando origem a diferentes versões do grid, ou distintas materializações do MDT LEPLAC Brasil (FLORENTINO, 2018; ALBERONI et al., 2020; LEPLAC, 2021).

Desta forma, com base no domínio sobre os parâmetros de construção do MDT LEPLAC Brasil, no acesso a seus dados de origem e a novos dados batimétricos oriundos de LHs em toda região de Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB), como por exemplo o próprio conjunto dos “Dados de Controle” aqui mencionados (RA-414-2019, RA-23-2019, RA-457-2021-A e outros), torna-se possível o uso destas informações para a atualização da referida grade batimétrica. Observa-se que este processo é iterativo, potencializando a oportuna melhora da qualidade da superfície LEPLAC Brasil a cada “nova versão” ou “realização”.

Portanto, a adoção do “Fluxo recomendável” apresentado pela Fig. 16, define a elaboração de uma nova versão para a superfície LEPLAC Brasil (ou LEPLAC2019). Destaca-se que durante este processo, ao agregar novas sondagens qualificadas em sua base de dados e consequente interpolação, o MDT LEPLAC passa a preencher algumas porções geográficas antes vazias, e após testes em busca da melhor análise visual de algumas feições

geomorfológicas, aliados à verificação detalhada de valores extremos às profundidades, adotou-se a melhora da resolução espacial do modelo de 2.500 km para 1.000 km, passando a ser denominado de superfície batimétrica LEPLAC Brasil\* (ou LEPLAC2021).

Tal ação resultou em uma nova grade com um “número total de células” (N), passando de 1.894.581 (LEPLAC Brasil) para 11.004.021 (LEPLAC Brasil\*). As profundidades extremas do MDT LEPLAC Brasil que eram, negativas de -299 m e as positivas de 6.455 m, assumiram valores na grade de 0,2 m e 6.454 m, não havendo manifestações de profundidades negativas na nova superfície. A Fig. 41 apresenta a distribuição espacial dos valores “negativos” detectados em todos os MDTs (vide índice neg, da Tabela 2 e Fig.26), à exceção da superfície LEPLAC Brasil\*.

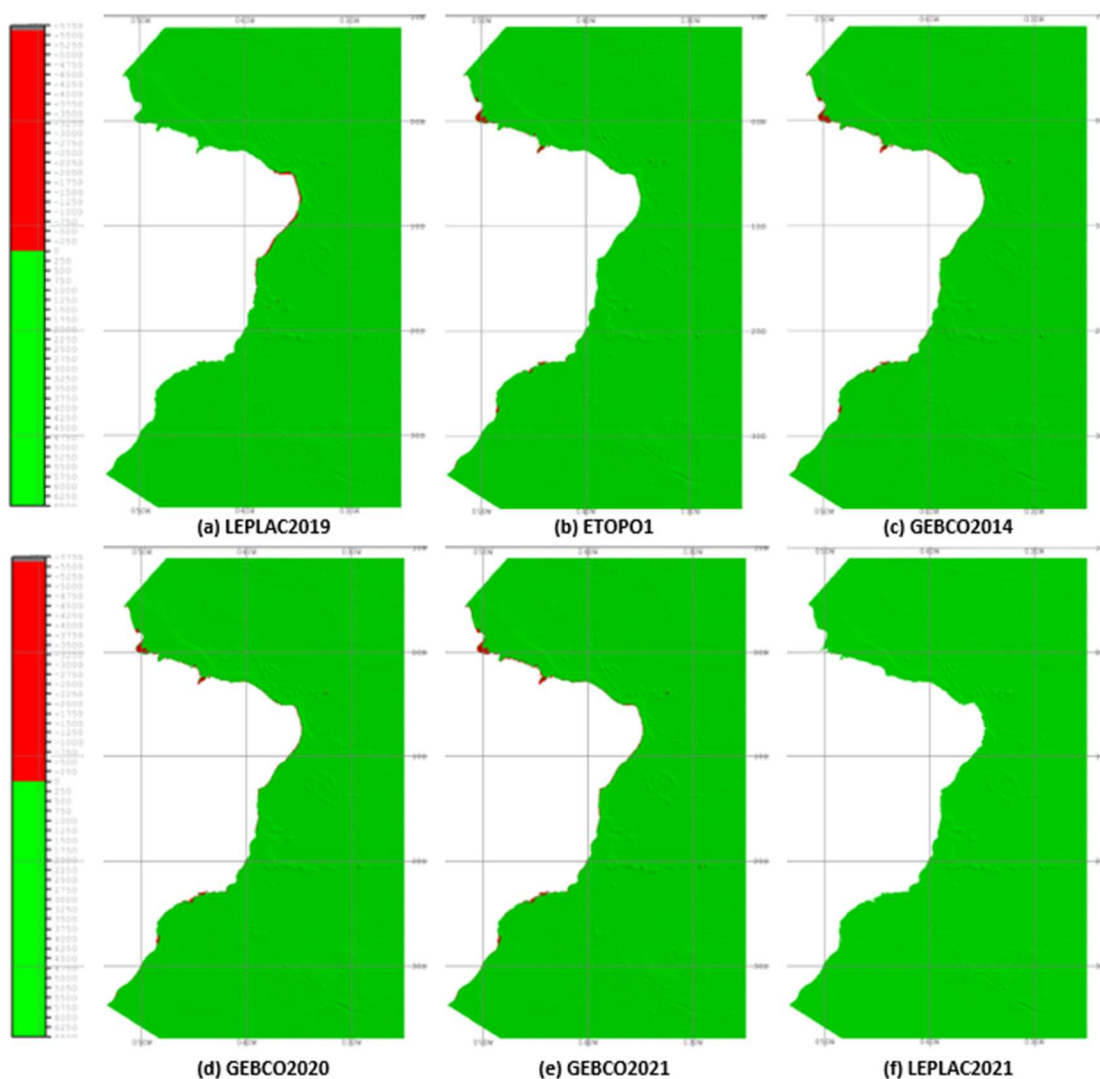


Figura 41 - Distribuição espacial dos valores de profundidades “negativas” observados em todos os MDTs à exceção do “novo” MDT LEPLAC Brasil\*.

Ainda pela Fig. 41, observa-se que, basicamente, os valores negativos se concentram em regiões próximas à costa e ilhas. Porém nos MDTs GEBCO2014 e ETOPO1, foram detectados alguns dados espúrios em situações de total incoerência, como apresentado em vermelho pelas Figuras 42 e 43, em meio ao alto mar, por exemplo.

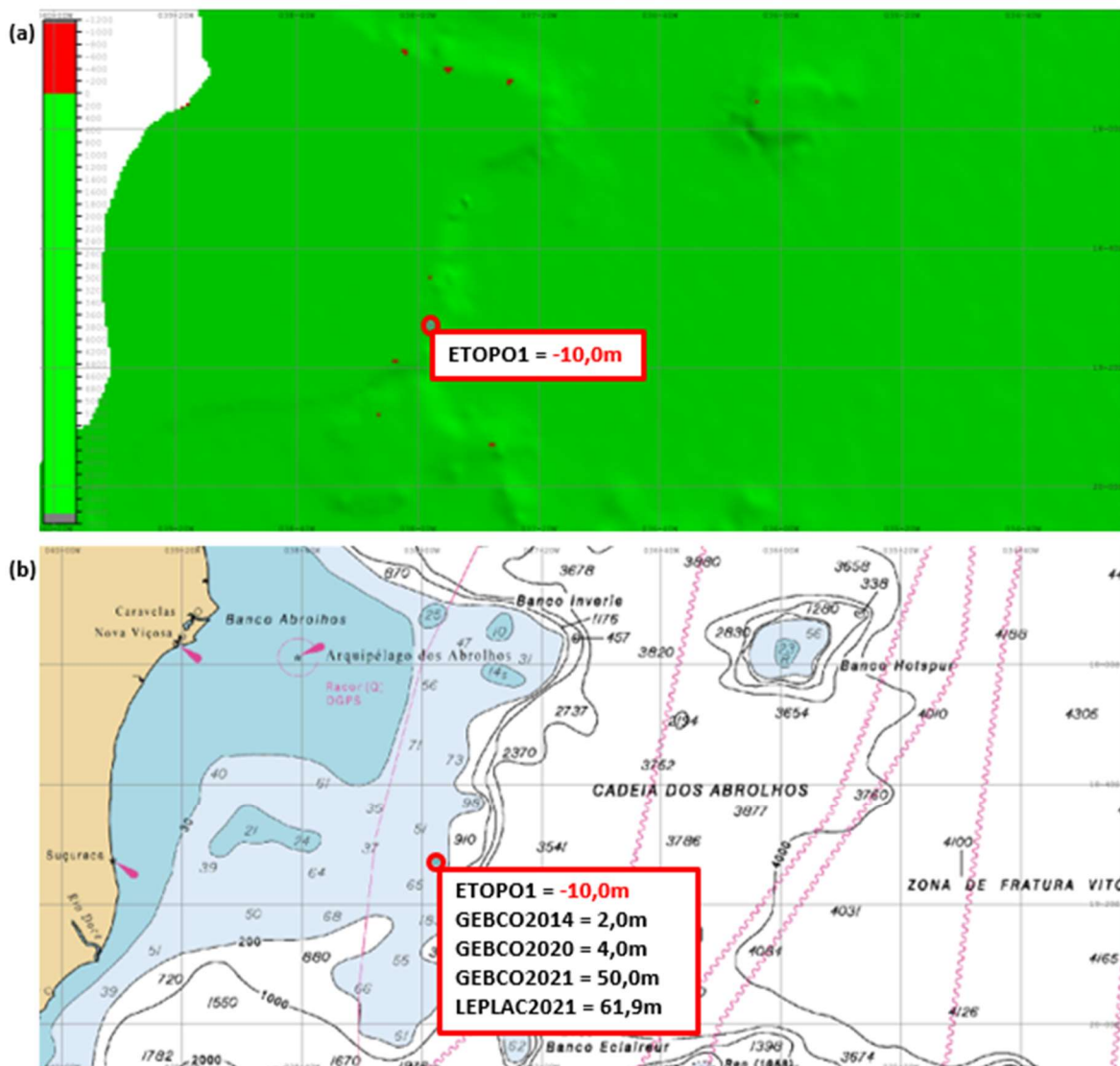


Figura 42 – (a) Exemplo de artefato detectado (em vermelho) no MDT ETOPO1. (b) Contraste dos valores obtidos pelos diferentes MDTs e Carta n°20.

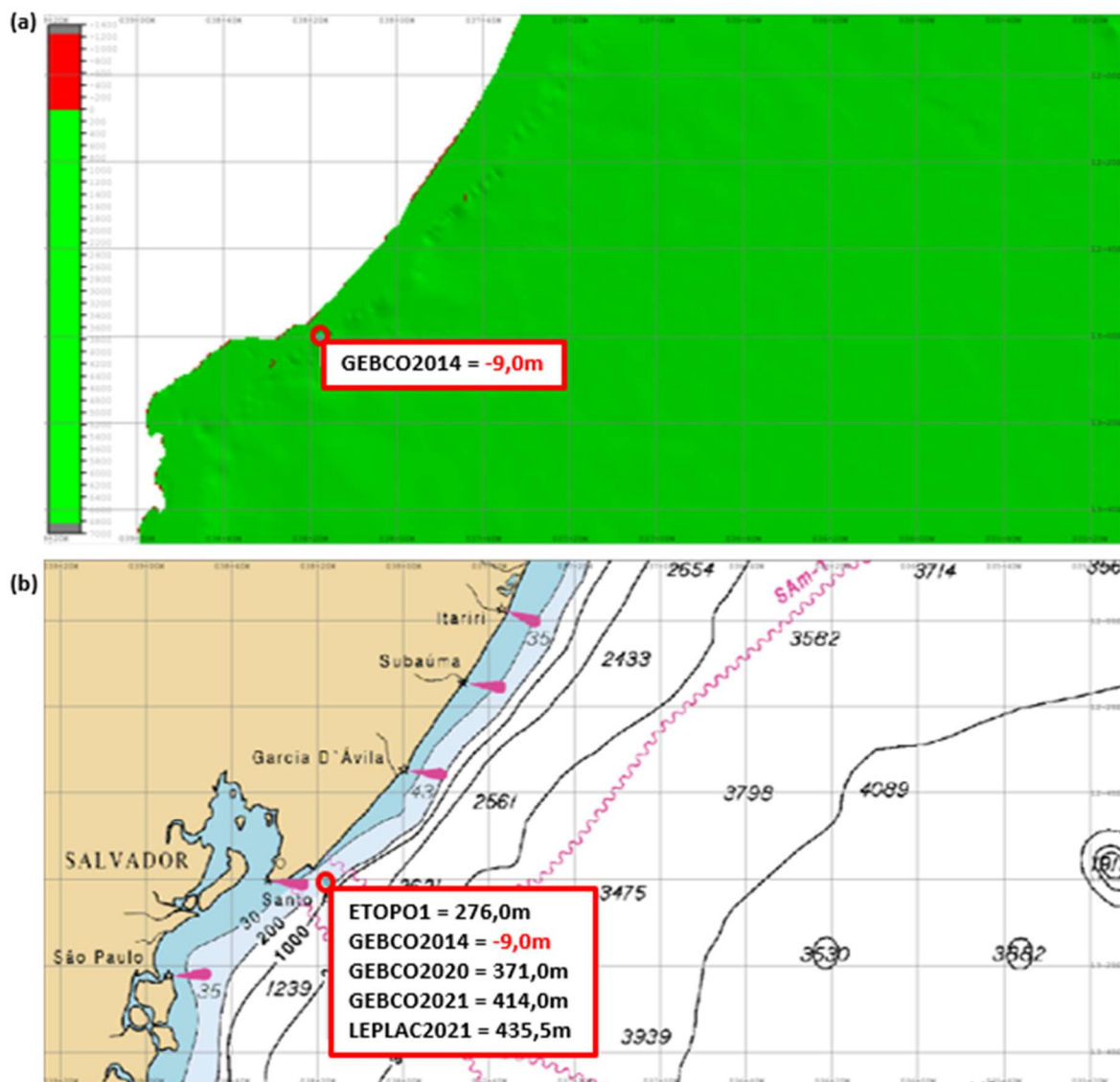


Figura 43 – (a) Exemplo de artefato detectado (em vermelho) no MDT GEBCO2014. (b) Contraste dos valores obtidos pelos diferentes MDTs e Carta n°20.

Do “número total de células” da superfície LEPLAC2021 ( $N^* = 11.004.021$ ), cerca de 9.248 células, ou seja, 84,15% permaneceram dentro do intervalo de tolerância de 1% da diferença máxima encontrada (aproximadamente 3.800 m), correspondendo a variações inferiores a 38 m. De forma análoga, tem-se que 10.794.622 células, correspondendo a 98,2%, seguem contidas dentro do intervalo de 5% (variações menores que 190 m) da discrepância máxima, alcançando cerca de 95% do total das variações. Tais informações foram consideradas para construção da paleta de cores aplicada nas superfícies de diferença expostas pelas Fig. 45(a) e Fig. 46.

O histograma abaixo (Fig. 44) ilustra a distribuição da frequência de profundidade do MDT LEPLAC Brasil\*, o qual não apresentou valores negativos.

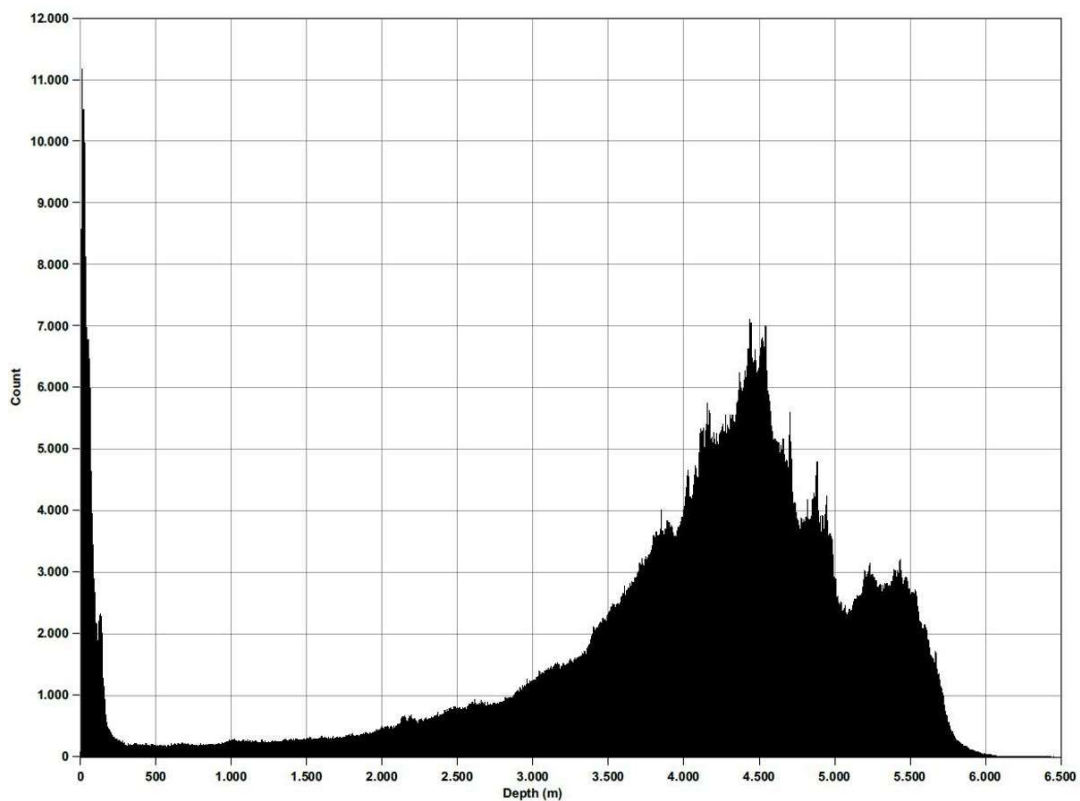


Figura 44 - Distribuição da frequência dos valores de profundidades do “novo” MDT LEPLAC Brasil\*, sem presença de elementos inferiores à profundidade de zero metros.

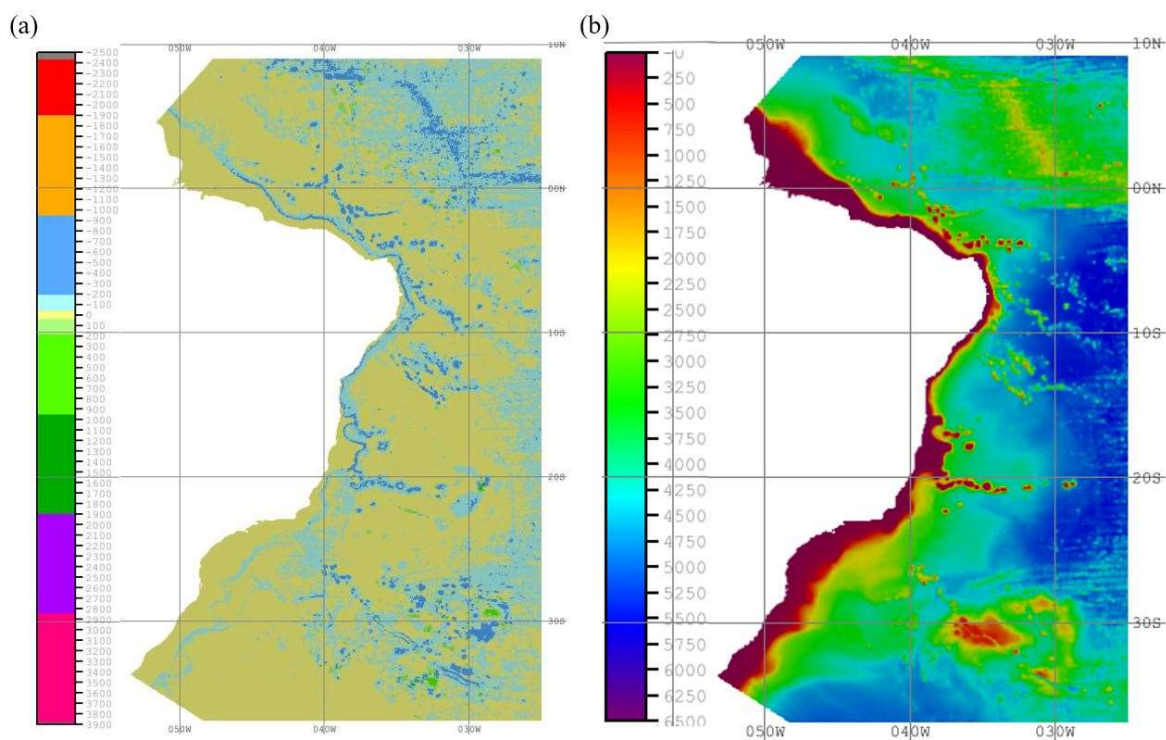


Figura 45 – (a) Superfície de diferença entre os MDTs LEPLAC Brasil (2019) e Brasil\*(2021). As cores das profundidades (m) representam 1%, 5%, 25%, 50% e 75% da variação máxima. (b) MDT LEPLAC Brasil\* ou LEPLAC2021.

A Fig. 46 apresenta as superfícies geradas a partir da subtração da grade LEPLAC Brasil\* junto aos modelos (a) ETOPO1, (b) GEBCO2014, (c) GEBCO2020 e (d) GEBCO2021, respectivamente. Para melhor visualização dos resultados, as superfícies de diferença seguem dispostas lado a lado e apesar da diferença dos valores de resposta, a mesma paleta de cores foi aplicada às imagens. Desta forma, as profundidades (m) seguem escalonadas em classes onde as cores representam aproximadamente intervalos de 1% (38 m), 5% (190 m), 25% (950 m), 50% (1.900 m) e 75% (2.850 m) da variação máxima encontrada (3.800 m).

Nota-se que a superfície diferença entre os modelos LEPLAC2021 e ETOPO1 - Fig. 46(a), LEPLAC2021 e GEBCO2014 – Fig. 46(b), LEPLAC2021 e GEBCO2020 – Fig. 46(c) gradativamente diminuem seu contraste. Por outro lado, a diferença entre LEPLAC2021 e GEBCO2021 – Fig. 46(d) interrompe essa tendência e ainda demonstra uma tolerância às variações dentro dos limites jurisdicionais da Zona Econômica Exclusiva (ZEE), com destaque as circunferências próximas ao Arquipélago de São Pedro e São Paulo, e as Ilhas de Trindade e Martin Vaz.

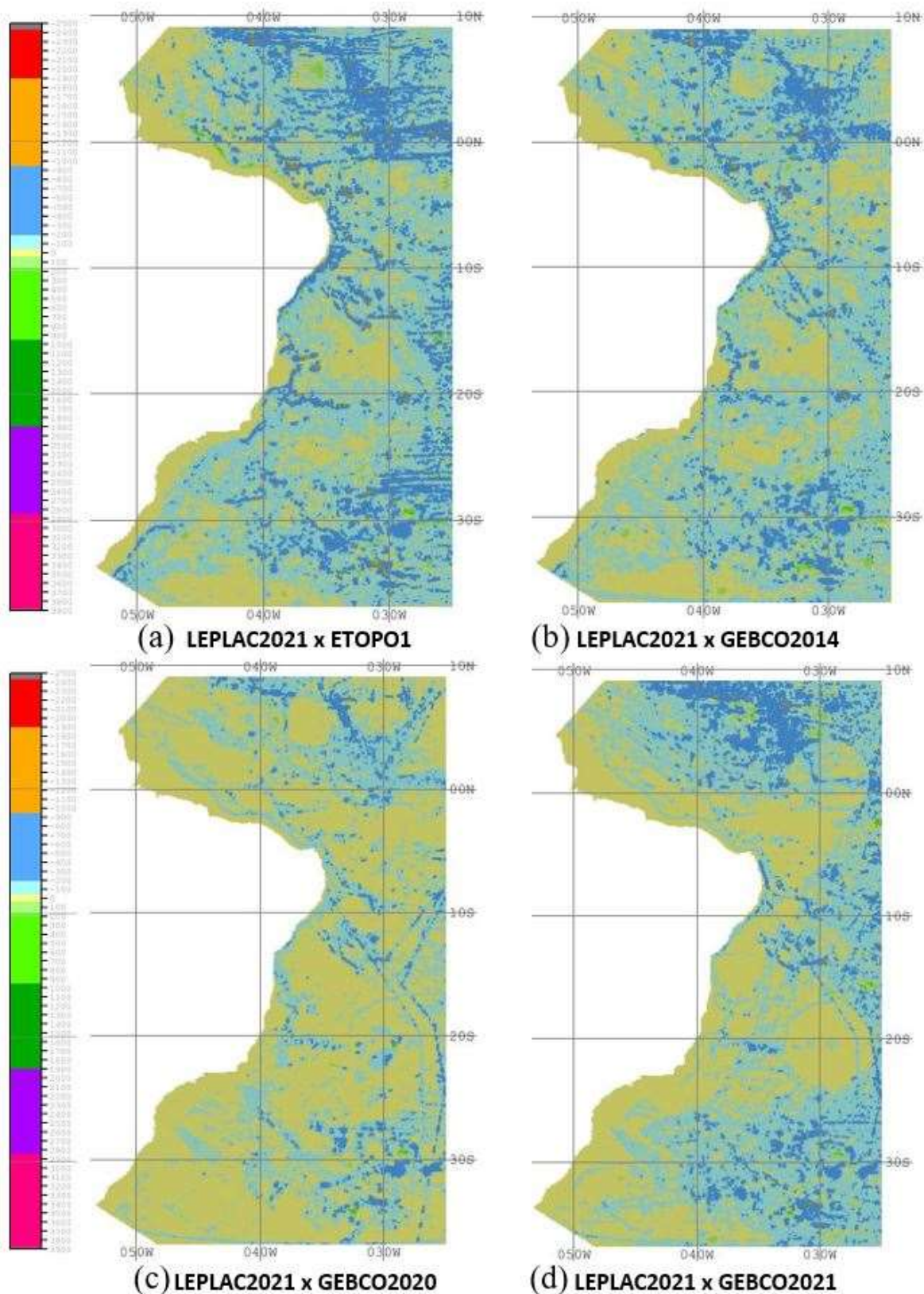


Figura 46 – Superfícies de diferença entre os MDTs: (a) LEPLAC2021 e ETOPO1. (b) LEPLAC2021 e GEBCO2014. (c) LEPLAC2021 e GEBCO2020. (d) LEPLAC2021 e GEBCO2021. As cores das profundidades (m) representam 1%, 5%, 25%, 50% e 75% da variação máxima.

Uma análise mais acurada pode ser realizada com a divisão da área de interesse em três regiões cobrindo a “Elevação do Rio Grande” ao Sul, a “Cadeia Vitória Trindade” ao Leste e a “Cadeia Norte Brasileira” na área Equatorial, conforme apresentado pela Fig. 47(a). Um elemento extremamente importante ao estudo de modelos batimétricos consiste no conhecimento da origem de sua base de dados, esta informação pode ser obtida através da respectiva grade de identificação, ou *Type Identifier Grid* (TID). Pelo fato do Plano LEPLAC apoiar e participar, via Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) do projeto GEBCO, quando da elaboração da superfície LEPLAC2021, houve a preocupação quanto a organização dos dados batimétricos de modo a contribuir oportunamente com a atualização do modelo batimétrico global GEBCO e respectivamente seu TID. Assim, a Fig. 47(b) ilustra a dispersão dos principais dados batimétricos categorizados por suas origens.

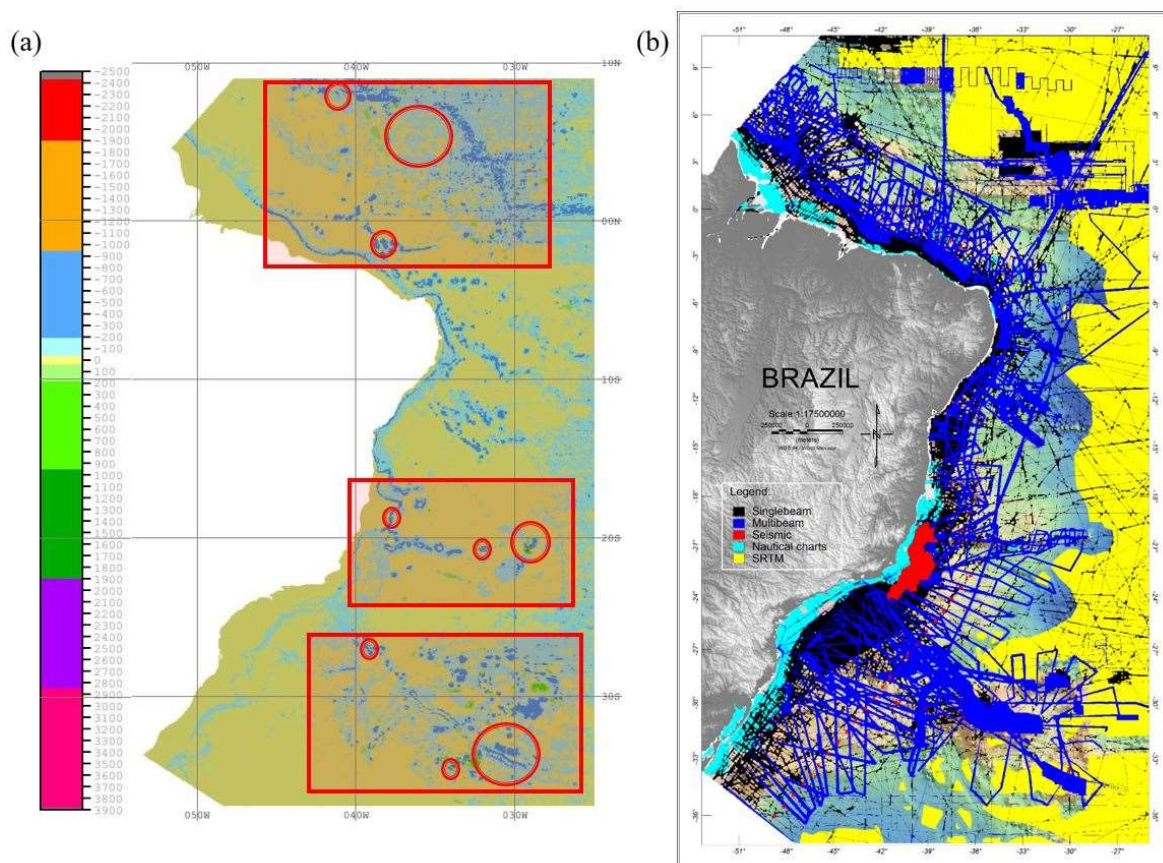


Figura 47 – (a) Superfícies de diferença entre os MDTs LEPLAC2021 e LEPLAC2019, com destaque as regiões de análise. As cores das profundidades (m) representam 1%, 5%, 25%, 50% e 75% da variação máxima. (b) Identificação dos Tipos de Dados (TID) de origem da grade LEPLAC2021.

Em detalhe, observa-se pela Fig. 48, dedicada à região da Elevação do Rio Grande, a existência de feições resultantes do contraste entre o MDT LEPLAC2021 e os demais MDTs, notavelmente homólogas. Ressalta-se que a Fig. 48(e) mostra as principais alterações entre as realizações do modelo LEPLAC2019 e 2021, de modo que as escarpas do Rifte Cruzeiro do Sul e os Montes Jean Charcot podem ser identificados.

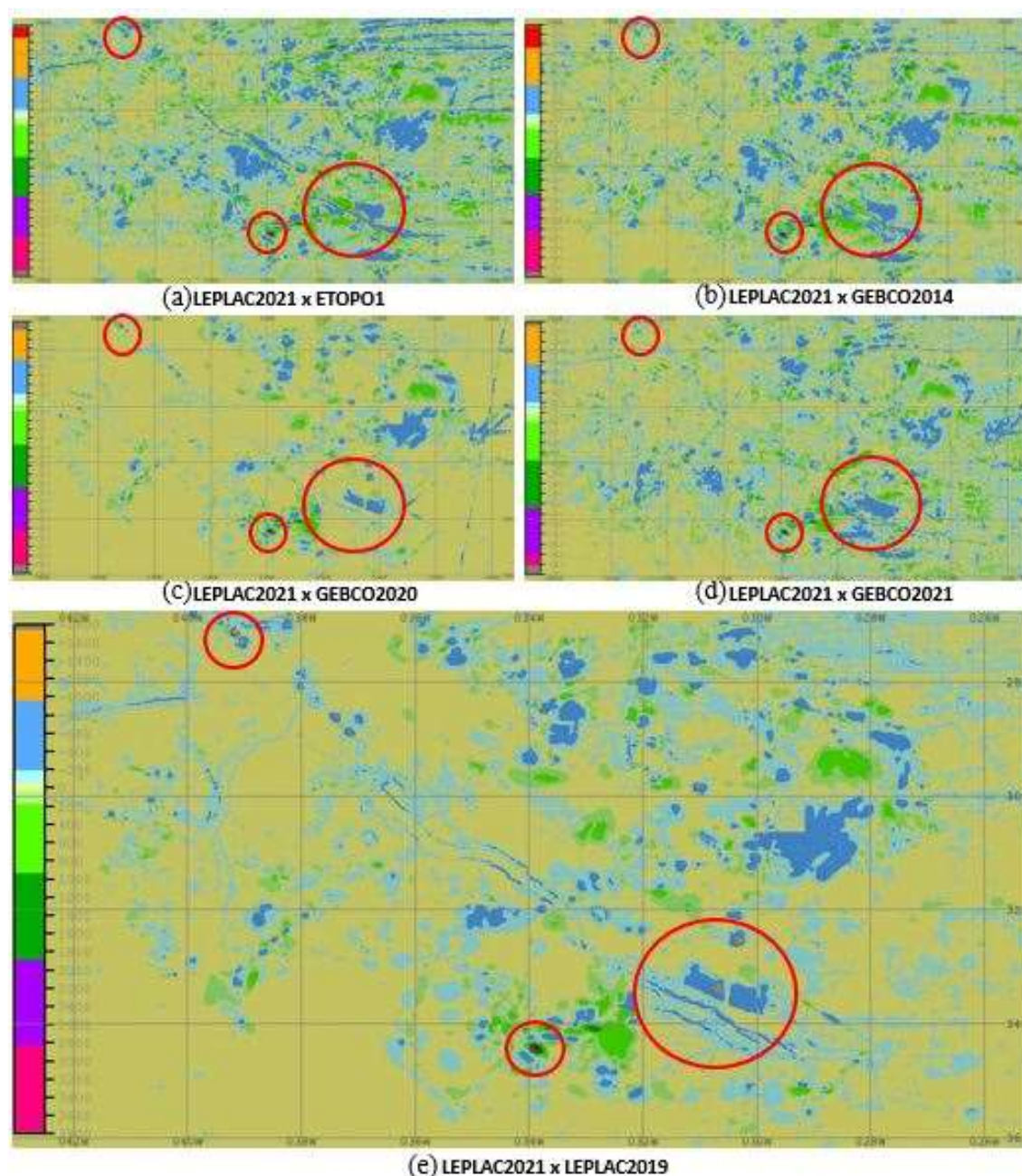


Figura 48 – Detalhe das superfícies de diferença entre os MDTs na região da Elevação do Rio Grande: (a) LEPLAC2021 e ETOPO1. (b) LEPLAC2021 e GEBCO2014. (c) LEPLAC2021 e GEBCO2020. (d) LEPLAC2021 e GEBCO2021. (e) LEPLAC2021 e LEPLAC2019. Círculos em vermelho destacam elementos homólogos notáveis. As cores das profundidades (m) representam 1%, 5%, 25%, 50% e 75% da variação máxima.

Ao analisar a Fig. 49, destacam-se ao menos três elementos notáveis, sendo um localizado no talude da plataforma continental de Abrolhos, outro sobre o Monte Submarino Columbia e, por fim, a área entre as Ilhas de Trindade e Martin Vaz. Contudo, estes elementos não foram detectados na superfície diferença entre LEPLAC2021 e GEBCO2021 - Fig. 49(d), demonstrando a alta correlação e provável, assimilação prévia das informações destas profundidades em ambos os modelos.

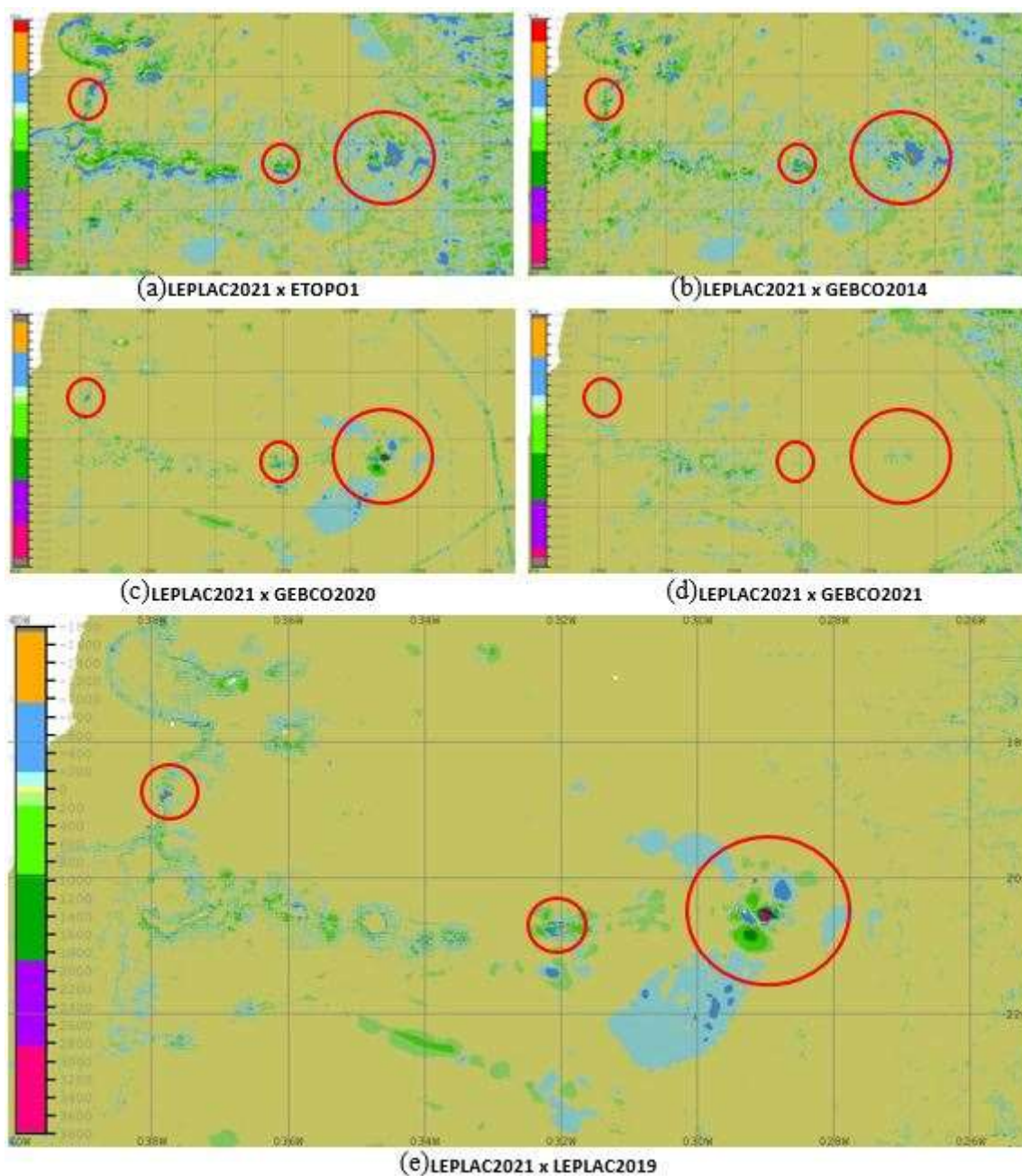


Figura 49 – Detalhe das superfícies de diferença entre os MDTs na região da Cadeia Vitória Trindade: (a) LEPLAC2021 e ETOPO1. (b) LEPLAC2021 e GEBCO2014. (c) LEPLAC2021 e GEBCO2020. (d) LEPLAC2021 e GEBCO2021. (e) LEPLAC2021 e LEPLAC2019. Círculos em vermelho destacam elementos homólogos notáveis. As cores das profundidades (m) representam 1%, 5%, 25%, 50% e 75% da variação máxima.

O conjunto de imagens abaixo (Fig. 50) aponta para situações em que o contraste entre os modelos fica evidente espacialmente. A região próxima a Cadeia Parnaíba e dos Montes Submarinos Ceará apenas não é destacada na Fig. 50(d), referente ao contraste LEPLAC2021 e GEBCO2021. Da mesma maneira, é verificada que uma extensa área localizada a noroeste da Zona de Fratura 4°N (*Strakhov Fracture Zone*), bem como um pequeno setor no extremo oeste e entre as Zonas das Fraturas *Vernadsky* e *Dolrums* não tiveram seus contrastes representados apenas na Fig. 50(c), que aborda a subtração da LEPLAC2021 e GEBCO2020. Em ambas as situações sugerem alta correlação e provável, compartilhamento prévio das informações destas profundidades entre os respectivos modelos.

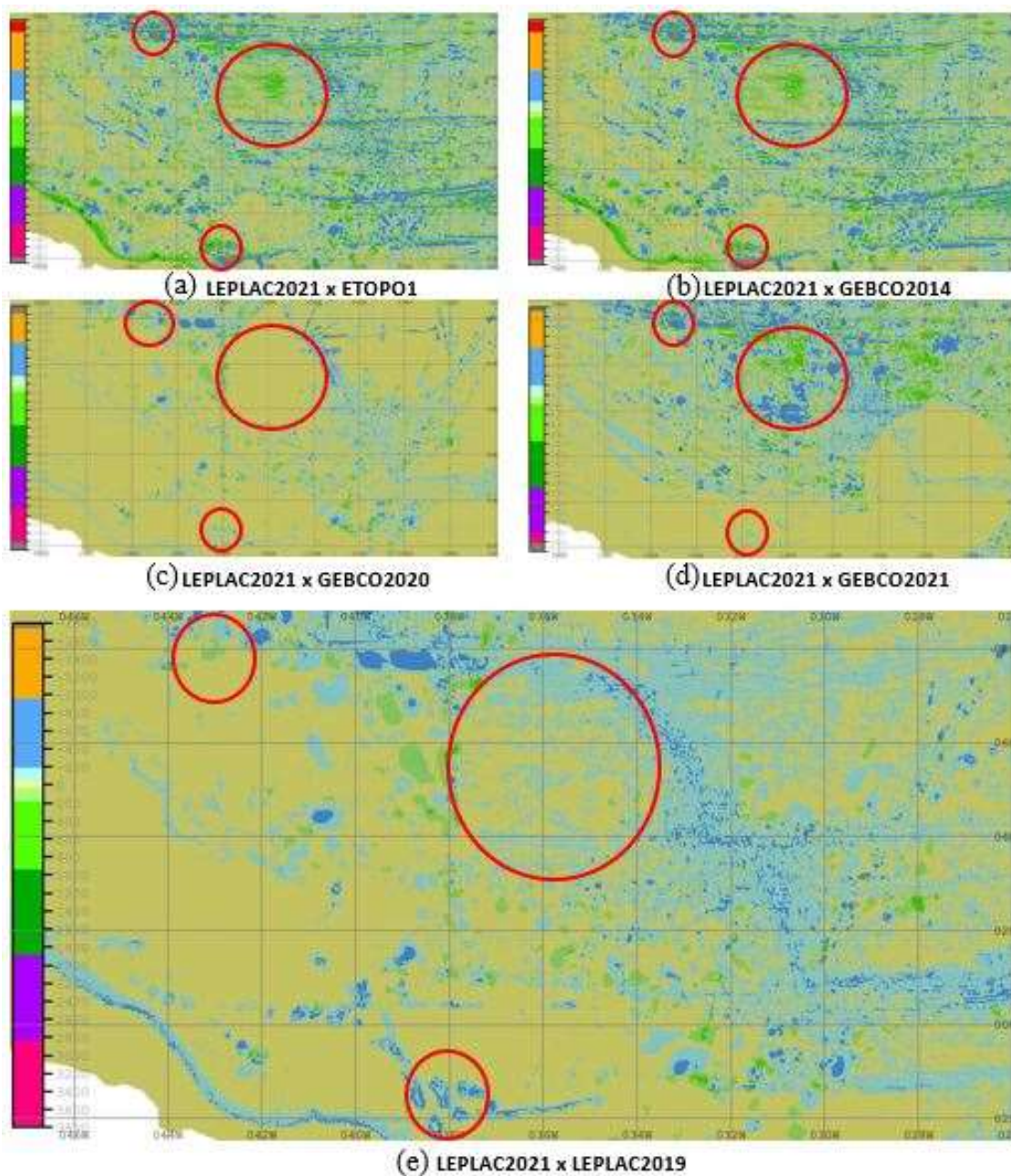


Figura 50 – Detalhe das superfícies de diferença entre os MDTs na região Equatorial: (a) LEPLAC2021 e ETOPO1. (b) LEPLAC2021 e GEBCO2014. (c) LEPLAC2021 e GEBCO2020. (d) LEPLAC2021 e GEBCO2021. (e) LEPLAC2021 e LEPLAC2019. Círculos em vermelho destacam elementos homólogos notáveis. As cores das profundidades (m) representam 1%, 5%, 25%, 50% e 75% da variação máxima.

## 6.7. ANÁLISE CONJUGADA

A avaliação integrada sobre os resultados obtidos em cada ferramenta demonstra:

- O conjunto dos Dados de Controle adotado ao experimento mostra-se relativamente bem distribuído sobre a extensa área de estudo. Possuindo um total de 20.108.591 células em sua grade, este demonstra ser capaz de gerar estatísticas robustas, fruto do cruzamento de suas superfícies de controle (RA-414-2019, RA-23-2019, RA-457-2021-A e outros) e das profundidades modeladas (pelos MDTs);

- A análise sobre as estatísticas globais e histogramas gerais apontam a existência de profundidades inesperadas, ou seja, o encontro de valores negativos às profundidades mínimas em todos os MDTs *a priori* observados sobre a área de estudo. Tais quantidades não superam 0,1% do número total de células de cada modelo, respectivamente. Destaca-se que o modelo batimétrico LEPLAC Brasil (ou LEPLAC2019) foi o que apresentou as menores ocorrências de valores negativos dentre estes modelos (-299 m), enquanto o resultado extremo foi obtido pelo MDT GEBCO2020 (-2.365 m).

- Uma análise sobre a Raiz do Erro Médio Quadrático (RMSE) aponta que o modelo GEBCO2020 (107,9 m) é o que mais se aproxima dos valores considerados verdadeiros, sendo logo seguido pelo MDT LEPLAC2019 (112,9 m), enquanto a superfície ETOPO1 é a mais distante dos dados de controle (RMSE igual a 175,1 m). Cabe mencionar que os valores de RMSE baseiam-se numa amostra que recobre grande extensão geográfica e variação de amplitude em suas profundidades, partindo desde a plataforma continental (águas rasas) e concentrando-se sobre regiões ou setores da planície abissal (de águas ultra-profundas). Assim, é esperado que os resultados de RMSE obtidos sobre a plataforma continental atinjam índices melhores, ou seja valores menores, quando comparados às medidas tomadas sobre planície abissal.

- Os histogramas de frequência dos erros e suas estatísticas corroboram a observação anterior, assim como permitem a verificação do comportamento leptocúrtico e de distribuição normal a todos os MDTs. Ademais, observa-se o alcance da máxima frequência pela superfície batimétrica GEBCO2020, com 337.413 ocorrências do valor de erro 2,49 m, e desvio padrão ( $\sigma$ ) de 107 m; seguido pelo modelo LEPLAC2019 com 350.420 eventos de 3,87 m, e  $\sigma$  de 112,1 m. Tais modelos superam os resultados de desvio padrão dos MDTs GEBCO2014 ( $\sigma$ : 134,9 m) e ETOPO1 ( $\sigma$ : 174,7 m), que se mostram mais dispersos do valor central.

- Por meio dos gráficos de regressão linear e dos índices de correlação ( $R$ ) e determinação ( $R^2$ ), percebe-se a alta correlação existente entre as variáveis explanatória (profundidades dos Dados de Controle) e de resposta (que são as profundidades dos MDTs ETOPO1, GEBCO2014, GEBCO2020 e LEPLAC2019). Todos os casos expressam a direção crescente, tendo os modelos GEBCO2020 e LEPLAC2019 alcançado os maiores índices de  $R^2$ , sendo 98,40% e 98,24%, respectivamente.

Apesar da riqueza de informações estatísticas geradas pelas ferramentas aplicadas, tais resultados não se mostraram eficientes à análise integrada dos MDTs em termos comparativos, apontando a necessidade de uso de instrumentos de pesquisa complementares. Desta forma, surge o incremento metodológico com a incorporação de uma nova ferramenta de análise, o Diagrama de Taylor.

- Com base no Diagrama de Taylor, detecta-se analítica e visualmente, a elevada correlação ( $R$ ) entre os modelos batimétricos e os Dados de Controle, os menores desvios-padrão ( $\sigma$ ) e RMSE, com destaque aos índices obtidos pelas superfícies GEBCO2020 e LEPLAC2019 - que basicamente se sobrepõem graficamente - e, alcançam o menor afastamento do valor de referência, ou seja, apresentam os melhores resultados estatísticos. Por outro lado, o MDT ETOPO1, se mostra mais afastado do valor de referência e assim atinge o pior resultado.

Todavia, além da análise quantitativa, ressalta-se a importância da análise qualitativa entre as superfícies batimétricas e os Dados de Controle. Assim, a aplicação das ferramentas “gráfico de perfis” e “superfícies de diferença”, se mostra totalmente adequada a construção de uma avaliação mais robusta e ampla, ao modelo mais aderente à realidade batimétrica da área de interesse.

- Nota-se então pelos gráficos de perfil, a alta similitude existente entre as superfícies batimétricas e os Dados de Controle, especialmente aos MDTs GEBCO2020 e LEPLAC2019. Ambos os modelos, apresentam de maneira visual e quantitativa, maior adaptação a representação das feições geomorfológicas do terreno, alcançando respectivamente, 85,98% e 84,82% de seus valores de profundidade, contidos dentro da tolerância ora aplicada (IVT Ordem 2, S-44 6ªed.). Enquanto os perfis GEBCO2014 e ETOPO1, comparativamente atingiram índices de 8% a 14% abaixo dos demais modelos.

O processo de atualização da superfície LEPLAC Brasil (ou 2019) para LEPLAC Brasil\* (ou 2021), tornou possível a soma de novas sondagens qualificadas e a melhora da resolução espacial do modelo para 1.000 m. Ademais, o incremento gradual e supervisionado de tais dados ao MDT LEPLAC2021, resultou na inexistência de profundidades negativas.

- Assim, o cálculo da superfície de diferença permitiu a identificação de contrastes em diversos setores, proporcionando em alguns casos, a averiguação detalhada de feições. De modo geral, nota-se que a superfície diferença aplicada a sequência entre os modelos LEPLAC2021 e ETOPO1 (lançado em 2009), GEBCO2014 e GEBCO2020, respectivamente e gradativamente diminuem seu contraste, fazendo sentido com os marcos temporais dos respectivos modelos batimétricos. Todavia, ao observar o resultado da diferença entre LEPLAC2021 e GEBCO2021, nota-se uma tolerância às variações dentro dos limites jurisdicionais da Zona Econômica Exclusiva (ZEE) brasileira. Infere-se que tal situação, demonstra a alta correlação e influência da assimilação de algumas informações de profundidades por ambos modelos na região limitada pela Amazônia Azul, onde notoriamente existe uma concentração de sondagens. Observa-se que o MDT GEBCO2021, provavelmente utilizou-se de filtros para prestigiar as informações encaminhadas pela DHN ao *Seabed2030 Project* – da GEBCO, concernentes ao TID LEPLAC2021.

Deste modo, com referência tanto nas ferramentas anteriores quanto, especialmente, na análise dos perfis por setores e no estudo das superfícies de diferença, permite-se observar a evolução temporal das técnicas de mapeamento e, conseqüentemente a detecção de novas feições geomorfológicas, com apresentação de regiões de afastamento entre todos os MDTs batimétricos e o conjunto dos Dados de Controle. Este fato enfatiza a necessidade de contínuo aprimoramento das superfícies, por meio da atualização do conjunto dos dados de origem e desenvolvimento de novas versões, ou realizações, para os MDTs.

## 7. CONCLUSÃO

I. O estudo das diversas aplicações e tendências de avanço em tecnologias de mapeamento e gestão das informações do fundo marinho, aponta que a busca pelos Objetivos ao Desenvolvimento Sustentável (ODS) encontra as melhores razões de custo benefício à sociedade, quando alinhadas aos conceitos de Infraestruturas de Dados Espaciais Marinhos (IDEM) e ao Planejamento Espacial Marinho (PEM). Tal fato, ora constatado em revisão teórica sobre o cenário mundial e nacional, toma como base a importância e necessidade de amplo conhecimento do fundo do mar, alcançando por fim os interesses regionais ou nacionais envolvidos no trato (coleta, armazenamento, gestão e aplicação) da modelagem batimétrica. Desta forma, é notória a relevância da componente batimétrica que, seja por meio da representação em forma de nuvem de pontos ou de Modelos Digitais de Terreno (também denominados *Grid*), serve de base fundamental às demais camadas de informação do domínio marinho. Portanto, em atenção ao Capítulo 3, a Hipótese: Hi, é considerada verdadeira.

II. O avanço de iniciativas e projetos de caráter global, regional e nacional, dedicados a construção de representações topográficas do fundo marinho, dentre os quais pode-se citar o *Seabed 2030 Project* - da *Nippon Foundation-GEBCO*, o *European Marine Observation and Data Network (EMODnet)* - da União Europeia, e o *Plano de Levantamento da Plataforma Continental Brasileira (LEPLAC)* – projeto nacional, reforçam a ênfase da informação batimétrica. Ademais, resultante da abundância de MDTs, que por vezes possuem sobreposição geográfica, observa-se o desenvolvimento de técnicas e instrumentos capazes de sustentar a escolha de determinado modelo batimétrico, dentre as diversas superfícies disponíveis.

A importância desta complexa tarefa de seleção do modelo batimétrico a ser empregado está relacionada à sua qualidade e assim, requer o conhecimento dos parâmetros de construção de cada superfície e, especialmente, a definição de sua finalidade ou propósito. Desta forma, é mister manifestar que o presente estudo adota perspectiva de análise pertinente à avaliação de uma superfície batimétrica, a mais consistente e adequada possível, para uso como referência oficial à Infraestrutura de Dados Espaciais Marinhos da Diretoria de Hidrografia e Navegação (IDEM-DHN). Ou seja, busca-se alcançar uma solução que

abranja as diversas métricas envolvidas pelos respectivos MDTs em análise, possibilitando averiguar suas principais características em termos relativos e dedicados a este propósito.

Com base nesta premissa e no levantamento dos principais estudos da literatura internacional, especializada em análises das incertezas e qualidade da modelagem topográfica do fundo marinho, considera-se que a adoção de um procedimento metodológico conjugado, tal qual proposto por Florentino (2018), com fito de integrar aspectos qualitativos e quantitativos, mostra-se capaz de prover uma análise estatisticamente robusta e aderente à realidade do fundo marinho. Sendo assim, e somado aos apontamentos dos Capítulos 4 e 5, a Hipótese: Hii, é considerada verdadeira.

**III.** Destarte, para alcance do objetivo principal desta pesquisa foi realizado um aperfeiçoamento metodológico, com adoção de um arranjo inovador e conjugado de uma série de instrumentos estatísticos capazes de descrever, de forma gráfica e analítica, relevantes atributos do comportamento das superfícies de interesse.

Neste sentido, com base nos índices positivos alcançados, no domínio sobre a tecnologia de mapeamento e dos parâmetros de construção do MDT LEPLAC Brasil\*, no acesso a seus dados de origem e a capacidade iterativa de assimilação de novos dados batimétricos oriundos de futuros levantamentos hidrográficos em toda AJB, bem como na responsabilidade e interesse do Serviço Hidrográfico brasileiro, em fomentar o desenvolvimento de pesquisas e projetos nacionais na Amazônia Azul, entende-se ser ideal a adoção do MDT LEPLAC Brasil\*, e suas próximas versões, como superfície de referência batimétrica nacional oficial.

Assim, conclui-se então que a superfície LEPLAC Brasil\* possui alta qualidade ao tratar da representação, a mais fidedigna possível, do fundo marinho na região da Amazônia Azul. Tal afirmação, baseada nos Capítulos 5 e 6, sustenta que a Hipótese: Hiii é verdadeira.

**IV.** A experiência do Serviço Hidrográfico nacional junto das convenções e boas práticas mundiais, bem como os esforços do Estado junto à sociedade, em projetos de coleta e análise de dados espaciais marinhos, como o Plano LEPLAC, permitiu a construção do modelo batimétrico LEPLAC Brasil e suas versões. Fruto deste estudo, comprova-se analiticamente que tal superfície batimétrica alcança bons índices de qualidade, sendo hábil na detecção e delimitação de novas feições marinhas, e ainda possui potencial de melhoria desta qualidade a cada “nova versão” ou “realização”. Sabe-se também, que tal superfície

segue em constante aperfeiçoamento, tendo uma nova versão prevista para lançamento em 2023, com fito estratégico de aperfeiçoar a cobertura batimétrica em alguns setores do território nacional.

Neste sentido, alinhado as tendências e orientações técnicas nacionais (INDE: BRASIL, 2008; NAD-DHN: DHN, 2018 e GT-UCAM/PSRM: CIRM, 2019; CIRM, 2020; BNDES, 2022) e internacionais (MGI WG: UN-GGIM, 2018; IHO-MSDIWG: OHI, 2017a), em busca do atendimento eficaz dos anseios de diversos setores da sociedade para fins de planejamento e apoio a tomada de decisão, como: defesa, comércio, academia e outros, que necessitam de formas de acesso eficientes aos dados batimétricos nacionais, a adoção da superfície LEPLAC Brasil\* como referência batimétrica oficial à IDEM-DHN mostra-se plenamente oportuna e adequada.

Logo, o MDT LEPLAC Brasil\* é capaz de atender aos quesitos da Infraestrutura de Dados Espaciais Marinhos da Diretoria de Hidrografia e Navegação (IDEM-DHN), bem como subsidiar às iniciativas do Planejamento Espacial Marinho (PEM) na região da Amazônia Azul. Desta forma, a Hipótese: Hiv é dita verdadeira.

Por fim, nota-se que os objetivos geral e específicos propostos a este estudo foram devidamente alcançados. Basicamente, conclui-se que a evolução metodológica ora desenvolvida neste trabalho, com incorporação de novas ferramentas e análises, junto da qualificação técnica inédita efetuada sobre a superfície LEPLAC Brasil, apresentam por meio de fatos e argumentos, contribuições inovadoras à temática das análises geomorfométricas, em atenção ao controle de qualidade de modelos batimétricos de pequena e média escala. Da mesma maneira, a pesquisa promove a discussão sobre a importância desta informação batimétrica, no contexto do intercâmbio eficiente de dados espaciais marinhos, para fins de uso como referência à futuras pesquisas nacionais.

## 7.1. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Esta pesquisa não almeja esgotar o assunto, pois ao contrário; visa incentivar a discussão sobre a gestão do intercâmbio de dados hidrográficos nacionais e internacionais, com uso de boas práticas e soluções tecnológicas sustentáveis.

Neste sentido, percebe-se o potencial existente ao desenvolvimento de trabalhos que abordem os aspectos político-estratégicos envolvendo a IDEM-DHN e o PEM para a Amazônia Azul. Estes reforçariam a mentalidade marítima nacional, amplamente difundida entre as grandes potências mundiais, e representada como a compreensão, pela sociedade, de sua dependência do mar.

Ademais, quanto ao mapeamento geomorfológico, um estudo mais aprofundado da aplicação desta metodologia para análises de modelos batimétricos de média e grande escala, restritos à Plataforma Continental Brasileira ou estratificado por faixas de profundidades, parece promissor. Infere-se que o MDT LEPLAC Brasil\* ou produto derivado, seguirá alcançando bons resultados, contudo a escala de análise será crucial a coerência da interpretação dos resultados.

O aperfeiçoamento das técnicas de coleta e processamento de dados batimétricos de alta resolução, oriundos de ecobatímetros multifeixe ou sonares interferométricos de abertura sintética por exemplo, também aponta para construção cada vez mais frequente de superfícies de resolução variável. Tal situação abrirá espaço para desenvolvimento de novas metodologias, parâmetros e análises sobre o controle de qualidade de tais modelos batimétricos.

## REFERÊNCIAS

ABRAMOVA, Anastasia S. *Comparison and Evaluation of Global Publicly Available Bathymetry Grids in the Arctic*. Thesis (Master of Sciences in Earth Sciences) University of New Hampshire, 2012. Disponível em: <<https://ccom.unh.edu/sites/default/files/publications/abramova-anastasia-thesis.pdf>>. Acesso em: 24 jul. 2018.

ABRAMOVA, Anastasia S. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ И КАЧЕСТВА МАТЕМАТИКО-КАРТОГРАФИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕЛЬЕФА ДНА ОКЕАНА ( НА ПРИМЕРЕ ЗАПАДНОЙ АРКТИКИ). *Metodologia para Avaliação da Precisão e Qualidade da Modelagem Matemática de Mapeamento do Relevo do Fundo do Oceano (Exemplo do Ártico Ocidental) - (tradução livre)*. Tese (Doutorado). Universidade de Geodesia e Cartografia do Estado de Moscovo. Moscou, Russia. 2021

ALBERONI, Ana Angélica Ligieró; JECK, Isabel King; Silva, Cleverson Guizan; TORRES, Luiz Carlos. The new Digital Terrain Model (DTM) of the Brazilian Continental Margin: detailed morphology and revised undersea feature names. *Geo-Marine Letters*. v.40. 2020. DOI: 10.1007/s00367-019-00606-x. Acesso em: 01 out. 2021.

AMANTE, Christopher; EAKINS, Barry. W. *ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis*. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24. Boulder, Colorado. 2009. Disponível em: <<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>>. Acesso em: 24 jul. 2018.

BARKER, Christopher H.; KOURAFALOU, Vassiliki H.; BEEGLE-KRAUSE, CJ; BOUFADEL, Michel; BOURASSA, Mark A.; BUSCHANG, Steve G.; ANDROULIDAKIS, Yannis; CHASSIGNET, Eric P.; DAGESTAD, KNUT-Frode; DANMEIER, Donald G.; DISSANAYAKE, Anusha L.; GALT, Jerry A.; JACOBS, Gregg; MARCOTTE, Guillaume;; ÖZGÖKMEN, Tamay; PINARDI, Nadia; SCHILLER, Rafael V.; SOCOLOFSKY, Scott A.; THRIFT-VIVEROS, Dalina; ZELENKE, Brian; ZHANG, Aijun; ZHENG, Yangxing. Progress in Operational Modeling in Support of Oil Spill Response. *Journal of Marine Science and Engineering*. v.8, 2020. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2077-1312/8/9/668>>. Acesso em: 05 Jul. 2021.

BECKER, J. J.; SANDWELL, D. T.; SMITH, W. H. F.; BRAUD, J.; BINDER, B.; DEPNER, J.; FABRE, D.; FACTOR, J.; INGALLS, S.; KIM, S-H.; LADNER, R.; MARKS, K.; NELSON, S.; PHARAOH, A.; TRIMMER, R.; VON ROSENBERG, J.; WALLACE, G. and WEATHERALL, P. Global Bathymetry and Elevation Data at 30 Arc Seconds Resolution: SRTM30\_PLUS. *Marine Geodesy*, v. 32, n. 4, p. 355–371, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/01490410903297766>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

BANCO DE DESENVOLVIMENTO NACIONAL - BNDES. *Edital de Seleção Pública de Parceiro Executor de Estudo Técnico voltado à implementação de Projeto Piloto do Planejamento Espacial Marinho - PEM na Região Marinha do Sul do Brasil*. Edital, p. 1-52, 2022. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/pesquisaedados/estudos/bndes-fep/fep-fomento-03-2022-projeto-piloto-do-planejamento-espacial-marinho-pem>>. Acesso em: 15 jan. 2023.

BONGIOVANNI, Cassandra; STEWART, Heather A.; JAMIESON, Alan J. High-resolution multibeam sonar bathymetry of the deepest place in each ocean. *Geoscience Data Journal*. 2021. DOI: 10.1002/gdj3.122.

BRASIL. Decreto nº 6.666, de 27 de novembro de 2008. Institui a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais – INDE. *Diário Oficial da União*. 2008.

\_\_\_\_\_. Decreto nº 8.400, de 4 de fevereiro de 2015. Estabelece os pontos apropriados para o traçado da Linha de Base do Brasil ao longo da costa brasileira continental e insular e dá outras providências. *Diário Oficial da União*. 2015, p. 4.

BRIGGS, Ian. C. Machine Contouring using Minimum Curvature. *Geophysics*, v. 39, n. 1, p. 39–48, Feb. 1974. Disponível em: <<http://library.seg.org/doi/10.1190/1.1440410>>. Acesso em: 25 jul. 2018.

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio M. V. Modelagem Numérica de Terreno. In: *Introdução à Ciência da Geoinformação*. São José dos Campos, 2005. p. 1–36. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 25 jul. 2018.

CHIOCCI, Francesco L.; CATTANEO, Antonio; URGELES, Roger. Seafloor mapping for geohazard assessment: State of the art. *Marine Geophysical Research*, v. 32, n. 1, p. 1–11, 2011.

COMISSÃO INTERMINISTERIAL PARA OS RECURSOS DO MAR - CIRM. Planejamento Espacial Marinho (PEM): Oceano Atlântico Sul e Tropical e a Zona Costeira brasileira são estratégicos para o desenvolvimento do País. *PROMAR, INFOCIRM*, vol. 31, nº 3, 2019. 12-15p. Disponível em: <<https://www.portaldeperiodicos.marinha.mil.br/index.php/infocirm/article/view/923>>. Acesso em: 12 out. 2021.

COMISSÃO INTERMINISTERIAL PARA OS RECURSOS DO MAR - CIRM. X Plano Setorial para os Recursos do Mar. 2020, 72p. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/secirm/sites/www.marinha.mil.br.secirm/files/publicacoes/psrm/X-PSRM.pdf>>. Acesso em: 18 mar. 2023.

CONTARINIS, Stilianos; PALLIKARIS, Athanasios; NAKOS, Byron. The Value of Marine Spatial Open Data Infrastructures - Potentials of IHO S-100 Standard to Become the Universal Marine Data Model. *Journal of Marine Science and Engineering*. v. 8, 8ºed., 2020. DOI.: 10.3390/jmse8080564. Acesso em: 10 out. 2021.

COOPER, Paul; PEPPER, Jhon; OSBORNE, Mike. *White Paper - The Hydrographic and Oceanographic Dimension to Marine Spatial Data Infrastructure Development: Developing the capacity*. Disponível em: <[https://www.iho.int/mtg\\_docs/com\\_wg/MSDIWG/MSDIWG\\_Misc/MSDIWG-BOK.html](https://www.iho.int/mtg_docs/com_wg/MSDIWG/MSDIWG_Misc/MSDIWG-BOK.html)>. Acesso em: 15 mar 2018.

DE SÁ, Fabiana Franco de Vasconcelos Dias; RODRIGUES, Jeane Patricio; SILVEIRA, Elaine Villares; MONTEIRO, Talita da Costa. A importância do Banco Nacional de Dados Oceanográficos na Infraestrutura de Dados Espaciais Marinhos da DHN. *Anais Hidrográficos*. LXXV, p176. 2019.

DE SILVEIRA, Thyago Almeida; PORTUGAL, Jose Luiz; DE SÁ, Lucilene Antunes Correia Marques; DE VITAL, Saulo Roberto Oliveira. Análise Estatística Espacial Aplicada a Construção de Superfícies Batimétricas. *Geociências*, v. 33, n. 4, p. 596–615, 2014. Disponível em: <<http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/7318>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

DIAS, Marcelo Sperle; BASTOS, Alex Cardoso; VITAL, Helenice. Plataforma Continental Brasileira: Estados do Rio de Janeiro, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. *Programa de Geologia e Geofísica Marinha (PGGM)*. 1ªed. p.158. Rio de Janeiro, Brasil. 2019.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO - DHN. *MSDI-WG National Report (BRAZIL)*. Tóquio, Japão. In: IHO-MSDIWG 2016. Disponível em: <[https://www.iho.int/mtg\\_docs/com\\_wg/MSDIWG/MSDIWG7/MSDIWG7-1.6A-National\\_Report-Brazil.pdf](https://www.iho.int/mtg_docs/com_wg/MSDIWG/MSDIWG7/MSDIWG7-1.6A-National_Report-Brazil.pdf)>. Acesso em: 15 mar. 2018.

\_\_\_\_\_. *NORMAM-25 rev.2*, 2017. Modificada em 2020.

\_\_\_\_\_. *Norma de Acesso aos Dados e às Informações Abertos da Diretoria de Hidrografia e Navegação (NAD-DHN)*. Portaria nº 13, de 19 de fevereiro de 2018, da DHN. 2018. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/dhn/?q=pt-br/nad>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

\_\_\_\_\_. *Infraestrutura de Dados Espaciais Marinhos da Diretoria de Hidrografia e Navegação (IDEM-DHN)*. 2022. Disponível em: <<https://idem.dhn.mar.mil.br>>. Acesso em: 4 out. 2022.

DIRETORIA DE SERVIÇO GEOGRÁFICO - DSG. *Norma para Especificação Técnica para Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais (ET-PCDG)*. Portaria nº 08. DCT, de 10 de fevereiro de 2016. Ministério da Defesa - Exército Brasileiro - Departamento de Ciência e Tecnologia, 2016. Disponível em: <[www.geoportal.eb.mil.br/index.php/inde2](http://www.geoportal.eb.mil.br/index.php/inde2)>. Acesso em: 20 mar. 2018.

DORSCHER, Boris; HEHEMANN, Laura; VIQUERAT, Sacha; WARNKE, Fynn; DREUTTER, Simon; TENBERGE, Yvonne Schulze; ACCETTELLA, Daniela; AN, Lu BARRIOS, Felipe; BAZHENOVA, Evgenia; BLACK, Jenny; BOHOYO, Fernando; DAVEY, Craig; DE SANTIS, Laura; DOTTI, Carlota Escutia; FREMAND, Alice C.; FRETWELL, Peter T.; GALES, Jenny A.; GAO, Jinyao; GASPERINI, Luca; GREENBAUM, Jamin S.; JENCKS, Jennifer Henderson; HOGAN, Kelly; HONG, Jong; JAKOBSSON, Martin; JENSEN, Laura; KOOL, Johnathan; LARIN, Sergei; LARTER, Robert D.; LEITCHENKOV, German; LOUBRIEU, Benoît; MACKAY, Kevin; MAYER, Larry; MILLAN, Romain; MORLIGHEM, Mathieu; NAVIDAD, Francisco; NITSCHKE, Frank O.; NOGI, Yoshifumi; PERTUISOT, Cécile; POST, Alexandra L.; PRITCHARD, Hamish D.; PURSER, Autun; REBESCO, Michele; RIGNOT, Eric; ROBERTS, Jason L.; ROVERE, Marzia; RYZHOV, Ivan; SAULI, Chiara; SCHMITT, Thierry; SILVANO, Alessandro; SMITH, Jodie; SNAITH, Helen; TATE, Alex J.; TINTO, Kirsty; VANDENBOSSCHE, Philippe; WEATHERALL, Pauline; WINTERSTELLER, Paul; YANG, Chunguo; ZHANG, Tao; ARNDT, Jan Erik. The International Bathymetric Chart of the Southern Ocean Version 2. *Scientific Data*. V.9, n.1, 2022. Disponível em: <[10.1038/s41597-022-01366-7](https://doi.org/10.1038/s41597-022-01366-7)>. Acesso em: 20 jun. 2022.

EHLER, Charles N. *Marine Spatial Planning: the International Picture and Emerging Good Practice*. Final Report of the 2nd International Conference on Marine/Maritime Spatial Planning. IOC-UNESCO and European Commission-DGMare, 15-17 March 2017, Paris, France. IOC Workshop Reports Series No. 279. 54p. 2018.

EUROPEAN MARINE OBSERVATION AND DATA NETWORK - EMODnet. *Guidelines for metadata, data and DTM QA/QC (version 1.7)*. 2017. 22p. Disponível em: <[http://www.emodnet-bathymetry.eu/media/emodnet\\_bathymetry/org/documents/qa\\_qc\\_dtm\\_specifications\\_20171123.pdf](http://www.emodnet-bathymetry.eu/media/emodnet_bathymetry/org/documents/qa_qc_dtm_specifications_20171123.pdf)>. Acesso em: 15 mar. 2018.

\_\_\_\_\_. *New EMODnet Bathymetry Data Product: High resolution Digital Terrain Model for the European Seas*. Press release by EMODnet Secretariat. September, 2018. Disponível em: <<http://portal.emodnet-hydrography.eu/depth-average>>. Acesso em: 05 out. 2018.

\_\_\_\_\_. *High Resolution Seabed Mapping Quality Indicators*. 2021a. 22p. Disponível em: <[https://www.emodnet-bathymetry.eu/media/emodnet\\_bathymetry/org/documents/emodnet\\_bathymetry\\_quality-index\\_application\\_version05022021.pdf](https://www.emodnet-bathymetry.eu/media/emodnet_bathymetry/org/documents/emodnet_bathymetry_quality-index_application_version05022021.pdf)>. Acesso em: 10 out. 2021.

\_\_\_\_\_. *Geoportail*. 2021b. Disponível em: <<https://emodnet.ec.europa.eu/en/bathymetry>>. Acesso em: 19 out. 2021.

ERIKSTAD, Lars; BAKKESTUEN, Vegar; BEKKBY, Trine; HALVORSEN, Rune. Impact of Scale and Quality of Digital Terrain Models on Predictability of Seabed Terrain Types. *Marine Geodesy*, v. 36, n. 1, p. 2–21, 2013.

EMA - ESTADO-MAIOR DA ARMADA. *Plano Estratégico da Marinha (PEM 2040)*. Marinha do Brasil (MB), Estado Maior da Armada. Brasília, Brasil, 88p. 2020.

FERREIRA, Ítalo Oliveira; RODRIGUES, Dalto Domingos; NETO, Arthur Ayres; MONTEIRO, Cristina Sameiro. Modelo de incerteza para sondadores de feixe simples. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 68, n. 5, p. 863–881, 2016.

FERREIRA, Ítalo Oliveira; ANDRADE, Laura Coelho; TEIXEIRA, Victoria Gibrim; SANTOS, Felipe Catão Mesquita. State of art of bathymetric surveys. *Bulletin of Geodetic Sciences*. v. 28, n.1, e2022002, 2022. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1982-21702022000100202&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1982-21702022000100202&tlng=en)>. Acesso em: 1 out. 2022.

FERRINI, Vicki; DRENNON, Hayley; MARTIN, Tinah; MORTON, John; NITSCHKE, Frank. *Report from the Regional Center for the Atlantic and Indian Oceans*. In: SWAtHC15 (South West Atlantic Hydrographic Commission Meeting 15th). Sep. 2021. Disponível em: <[https://iho.int/uploads/user/Inter-Regional%20Coordination/RHC/SWAtHC/SWAtHC15/SWAtHC15\\_2021\\_05A\\_EN\\_Estado\\_Proyecto\\_Seabed2030\\_Rev1.pdf](https://iho.int/uploads/user/Inter-Regional%20Coordination/RHC/SWAtHC/SWAtHC15/SWAtHC15_2021_05A_EN_Estado_Proyecto_Seabed2030_Rev1.pdf)>. Acesso em: 1 set. 2021.

FLORENTINO, Christopher. *Análise da qualidade de superfícies batimétricas de referência para uso em Infraestrutura de Dados Espaciais Marinhos*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Fluminense (UFF). 2018. 110p.

FLORENTINO, Christopher, PIMENTEL, Vitor Bravo, NETO, Arthur Ayres. Desenvolvimento e Perspectivas da Infraestrutura de Dados Espaciais Marinhos Brasileira. *Revista Brasileira de Cartografia (RBC)*. v. 71, ed.3, Jul-Set, 2019a, 619-646p. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/46316>>. Acesso em: 12 out. 2021.

FLORENTINO, Christopher, PIMENTEL, Vitor Bravo, NETO, Arthur Ayres. Methodology for quality analysis of regional bathymetry surfaces: From Brazilian South Coast to Hunter Channel. *International Hydrographic Review*, n°22, 19-37p. November, 2019b. Disponível em: <[https://iho.int/uploads/user/pubs/ihreview\\_P1/IHR\\_Nov2019.pdf](https://iho.int/uploads/user/pubs/ihreview_P1/IHR_Nov2019.pdf)>. Acesso em: 10 out 2021.

FOWLER, Cind; SMITH, Brien; STEIN, David. Building a Marine Spatial Data Infrastructure to support Marine Spatial Planning in US waters. *Geographic Technologies Applied to Marine Spatial Planning and Integrated Coastal Zone Management*, n. 1, p. 6, 2010.

FRANZ, Guilherme; GARCIA, Carlos A. E.; PEREIRA, Janini; DE FREITAS ASSAD, Luiz Paulo; ROLLNIC, Marcelo; GARBOSSA, Luis Hamilton P.; DA CUNHA, Letícia Cotrim; LENTINI, Carlos A. D.; NOBRE, Paulo; TURRA, Alexander; TROTTE-DUHÁ, Janice R.; CIRANO, Mauro; ESTEFEN, Segen F.; LIMA, José Antonio M.; PAIVA, Afonso M.; NOERNBERG, Mauricio A.; TANAJURA, Clemente A. S.; MOUTINHO, José Luiz; CAMPUZANO, Francisco; PEREIRA, Ella S.; LIMA, André Cunha; MENDONÇA, Luís F. F.; NOCKO, Helder; MACHADO, Leandro; ALVARENGA, João B. R.; MARTINS, Renato P.; BÖCK, Carina Stefoni; TOSTE, Raquel; LANDAU, Luiz; MIRANDA, Tiago; DOS SANTOS, Francisco; PELLEGRINI, Júlio; JULIANO, Manuela; NEVES, Ramiro; POLEJACK, Andrei. Coastal Ocean Observing and Modeling Systems in Brazil: Initiatives and Future Perspectives. *Front. Mar. Sci.* 2021. DOI: 10.3389/fmars.2021.681619. Acesso em: 20 set. 2021.

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO - FAPESP. *Falta de uma infraestrutura de dados espaciais limita pesquisa oceanográfica no Brasil, diz especialista*. Disponível em: <[http://agencia.fapesp.br/print/falta\\_de\\_uma\\_infraestrutura\\_de\\_dados\\_espaciais\\_limita\\_pesquisa\\_oceanografica\\_no\\_brasil\\_diz\\_especialista/15472/](http://agencia.fapesp.br/print/falta_de_uma_infraestrutura_de_dados_espaciais_limita_pesquisa_oceanografica_no_brasil_diz_especialista/15472/)>. Acesso em: 20 mar. 2018.

GABIOUX, M; COSTA, V. S.; DE SOUZA, J.M.A.C.; OLIVEIRA, B. F.; PAIVA, A. M. Modeling the south atlantic ocean from medium to high-resolution. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 31, n. 2, p. 229–242, 2013.

GANDRA, T. B. R; BONETTI, J., SCHERER, M. E. G. Onde estão os dados para o Planejamento Espacial Marinho (PEM)? Análise de repositórios de dados marinhos e das lacunas de dados geoespaciais para a geração de descritores para o PEM no Sul do Brasil. *Desenvolvimento e Meio Ambiente* (Sistema Eletrônico de Revistas UFPR), v. 44, Edição especial: X Encontro Nacional de Gerenciamento Costeiro, p. 405-421, fevereiro 2018. DOI: 10.5380/dma.v44i0.54987.

GANDRA, T. B. R.; BONETTI, J.; SCHERER, M. E. G. Planejamento Espacial Marinho. In: MUEHE, D.; LINS-DE- BARROS, F. M.; PINHEIRO, L. (orgs.) *Geografia Marinha:*

*oceanos e costas na perspectiva de geógrafos*. Rio de Janeiro: PGGM, 2020. p. 456-472. ISBN 978-65-992571-0-0.

GENERAL BATHYMETRIC CHART OF THE OCEANS - GEBCO. *GEBCO2020 Grid*. Disponível em: < [https://www.gebco.net/data\\_and\\_products/gridded\\_bathymetry\\_data/gebco\\_2020/](https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/gebco_2020/)>. Acesso em: 19 de mai. 2021.

\_\_\_\_\_. *The GEBCO\_2021 Grid - a continuous terrain model of the global oceans and land*. (webpage). GEBCO Bathymetric Compilation Group 2021. NERC EDS British Oceanographic Data Centre NOC. Disponível em: < [https://www.gebco.net/data\\_and\\_products/gridded\\_bathymetry\\_data/gebco\\_2021/](https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/gebco_2021/)>. DOI: 10.5285/c6612cbe-50b3-0cff-e053-6c86abc09f8f. Acesso em: 17 out. 2021.

\_\_\_\_\_. *New global survey calls for greater coordination of seabed mapping activities*. The Nippon Foundation-GEBCO Seabed 2030 Project (Press release). Disponível em: < <https://seabed2030.org/news/new-global-survey-calls-greater-coordination-seabed-mapping-activities>>. Acesso em: 18 out. 2021.

GORINI, Marcello Antonio Ventura. *Classificação Fisiográfica do Fundo dos Oceanos: Uma Abordagem Geomorfométrica Multi-Escala*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Fluminense (UFF). 2008.

GRIFFIN, Edward; COOTE, Andy; CROMPVOETS, Joep. A marine spatial data infrastructure in New Zealand: a systematic review on the cost-benefits. *Journal of Spatial Science*, 15p. 2017. DOI: 10.1080/14498596.2017.1372227.

HALL, Jhon K. GEBCO Red Sea Grid Underway. *Hydro International*, p. 6, 2014. Disponível em: <<http://member.hydro-international.com/articles/item/51b933836ab94d3db08a4367b8fc83e8>>. Acesso em: 15 de mar. 2018.

HARARI, Joseph. *Noções de Oceanografia*. 2021. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IOUSP). 1ºed. Disponível em: <[https://www.inserver.com.br/usp/livros/nocoos\\_oceanografia-baixa.pdf](https://www.inserver.com.br/usp/livros/nocoos_oceanografia-baixa.pdf)>. Acesso em: 10 set. 2021.

TAGLIARO, Gabriel; JOVANE, Luigi. O relevo oceânico. In: *HARARI, Joseph (org.). Noções de Oceanografia*. São Paulo: Instituto Oceanográfico, 2021. E-book. Cap. 3: p. 71-84.

INFRASTRUCTURE FOR SPATIAL INFORMATION IN THE EUROPEAN COMMUNITY - INSPIRE. *Geoportal*. Disponível em: <<http://inspire.jrc.ec.europa.eu>>. Acesso em: 15 ago. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. *Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil*. 1º ed. Rio de Janeiro. 2011.

INTERNATIONAL HYDROGRAPHIC BUREAU - IHB. Chapter 1 - Principles of Hydrographic Surveying. In: *Manual on Hydrography*. 1º ed. Mônaco: IHB, 2011. v. 1.

INTERNATIONAL HYDROGRAPHIC ORGANIZATION - IHO. *IHO Standards for Hydrographic Surveys (S-44)*. 6.0.0<sup>ed</sup>. Mônaco, 2020.

\_\_\_\_\_. IHO Encourages Crowdsourced Bathymetry. *Hydro International*. October, 2014. Disponível em: <<https://www.hydro-international.com/content/article/iho-encouraging-crowdsourced-bathymetry>>. Acesso em: 25 mar. 2018.

\_\_\_\_\_. Spatial Data Infrastructures “The Marine Dimension”. *Guidance for Hydrographic Offices (C-17)*. n° 2.0, p. 1–45, 2017a.

\_\_\_\_\_. *White Paper - Realising the benefits of Spatial Data Infrastructures in the Hydrographic Community*. 2017b. Disponível em: <[https://www.iho.int/mtg\\_docs/com\\_wg/MSDIWG/MSDIWG\\_Misc/MSDIWG-BOK.html](https://www.iho.int/mtg_docs/com_wg/MSDIWG/MSDIWG_Misc/MSDIWG-BOK.html)>. Acesso em: 20 mar. 2018.

\_\_\_\_\_. *IHO-MSDIWG: Marine Spatial Data Infrastructure Working Group*. Disponível em: <[https://www.iho.int/srv1/index.php?option=com\\_content&view=article&id=483&Itemid=370&lang=en](https://www.iho.int/srv1/index.php?option=com_content&view=article&id=483&Itemid=370&lang=en)>. Acesso em: 23 mar. 2018a.

INTERNATIONAL HYDROGRAPHIC ORGANIZATION & INTERGOVERNMENTAL OCEANOGRAPHIC COMMISSION - IHO&IOC. *The IHO-IOC GEBCO Cook Book*. 2019. IHO Publication B-11 & IOC Manuals and Guides n°63.

JAKOBSSON, Martin; ALLEN, Graham; CARBOTTE, Suzanne; FALCONER, Robin; FERRINI, Vicki; MARKS, Karen; MAYER, Larry; ROVERE, Marzia; SCHMITT, Thierry; WEATHERALL, Pauline; Wigley, Rochelle. *The Nippon Foundation – GEBCO – Seabed 2030: Roadmap for Future Ocean Floor Mapping*. The NIPPON Foundation, GEBCO, IHO, UNESCO & IOC. p.44. 2017. Disponível em: <[https://www.gebco.net/about\\_us/seabed2030\\_project/](https://www.gebco.net/about_us/seabed2030_project/)>. Acesso em: 15 mar. 2018.

KANARI, Mor; TIBOR, Gideon; HALL, John K.; KETTER, Tomer; LANG, Guy; SCHATTNER, Uri. Sediment transport mechanisms revealed by quantitative analyses of seafloor morphology: New evidence from multibeam bathymetry of the Israel exclusive economic zone. *Marine and Petroleum Geology*. v.114, p.1-15, 2020. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2020.104224. Acesso em: 19 out. 2021.

LACASCE, J. H. The Prevalence of Oceanic Surface Modes. *Geophysical Research Letters*, p. 1–9, 2017.

LAVAGNINO AC, BASTOS AC, AMADO FILHO GM, DE MORAES FC, ARAUJO LS AND DE MOURA RL. Geomorphometric Seabed Classification and Potential Megahabitat Distribution in the Amazon Continental Margin. *Frontiers in Marine Science*. 7:190. 2020. doi: 10.3389/fmars.2020.00190.

LUCIEER, Vanessa; LECOURS, Vincent; DOLAN, Margaret. Charting the Course for Future Developments in Marine Geomorphometry: An Introduction to the Special Issue. *Geoscience*. v.8, n°. 12, 447p. 2019. DOI: 10.3390/geosciences8120477.

LECOURS, Vincent; DOLAN, Margaret F.J.; MICALLEF, Aaron; LUCIEER, Vanessa L.

A review of marine geomorphometry, the quantitative study of the seafloor. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 20, n. 8, p. 3207–3244, 2016.

LEONARDI, Ivan. Quanto custa não investir em soluções geoespaciais. *Revista MundoGeo (on-line)*. 2012. p. 3-4. Disponível em: <<http://mundogeo.com/blog/2012/06/15/latitude-5>>. Acesso em: 20 mar. 2018.

LEPLAC - BRAZILIAN CONTINENTAL SHELF SURVEY PROJECT. *Brazilian Partial Revised Submission to the Commission on the Limits of the Continental Shelf: Brazilian Southern Region*. 2015. Directorate of Hydrography and Navigation (DHN).

\_\_\_\_\_. *Brazilian Partial Revised Submission to the Commission on the Limits of the Continental Shelf: Brazilian Equatorial Margin (in progress)*. 2016. Directorate of Hydrography and Navigation (DHN).

\_\_\_\_\_. *Brazilian Partial Revised Submission to the Commission on the Limits of the Continental Shelf: Brazilian Oriental and Meridional Margins (in progress)*. 2018. Directorate of Hydrography and Navigation (DHN).

\_\_\_\_\_. *New Brazilian Digital Terrain Model (DTM). MARCH 2021*. Directorate of Hydrography and Navigation (DHN). Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/dhn/?q=node/249>>. Acesso em: 16 out. 2021.

LI, Jin; HEAP, Andrew D. Spatial interpolation methods applied in the environmental sciences: A review. *Environmental Modelling and Software*, v. 53, p. 173–189, 2014.

LAND AND INFORMATION NEW ZEALAND - LINZ. *New Zealand Bathymetry Investigation*. October, 2015. p. 1-83. Disponível em: <<http://www.linz.govt.nz/about-linz/what-were-doing/projects/new-zealand-bathymetry-investigation>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

\_\_\_\_\_. *Geoportal*. Disponível em: <<https://www.linz.govt.nz/data/linz-data/hydrographic-data>> Acesso em: 20 ago. 2018.

MACNAB, R.; VARMA, H. Bathymetry from space. *Hydro International*, v. 12, n. 1, p. 10–13, 2008. Disponível em: <<https://www.hydro-international.com/content/article/bathymetry-from-space>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

MAIA, P.; FLORENTINO, C.; PIMENTEL, V.B. Fluxo de Dados Hidrográficos para Produção de Documentos Náuticos. In: Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia e WWVI Expositiva. 2017. Disponível em: <[http://www.cartografia.org.br/cbc/2017/trabalhos/1/fullpaper/CT01-6\\_1506733396.pdf](http://www.cartografia.org.br/cbc/2017/trabalhos/1/fullpaper/CT01-6_1506733396.pdf)>. Acesso em: 18 mar. 2023.

MALAYSIA GEOSPATIAL DATA INFRASTRUCTURE - MyGDI. *Geoportal*. Disponível em: <<http://www.mygeoportal.gov.my/node/3159/>>. Acesso em: 10 ago. 2018.

MARKS, K. M.; SMITH, W. H. F. An evaluation of publicly available global bathymetry grids. *Marine Geophysical Researches*, v. 27, n. 1, p. 19–34, 2006.

MARTA-ALMEIDA, M.; PEREIRA, J.; CIRANO, M. Development of a pilot Brazilian regional operational ocean forecast system, REMO-OOF. *Journal of Operational Oceanography*, v. 4, n. 2, p. 3–15, 2011.

MAYER, Larry; JAKOBSSON, Martin; ALLEN, Graham; DORSCHER, Boris; FALCONER, Robin; FERRINI, Vicki; LAMARCHE, Geoffroy; SNAITH, Helen; WEATHERALL, Pauline. The Nippon Foundation—GEBCO Seabed 2030 Project: The Quest to See the World’s Oceans Completely Mapped by 2030. *Geosciences*, v. 8, n. 2, p. 63, 2018. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2076-3263/8/2/63>>. Acesso em: 25 jun. 2018.

MENANDRO, Pedro Smith; BASTOS, Alex Cardoso. 2020. Seabed Mapping: A Brief History from Meaningful Words. *Geosciences*. v. 10, n. 7, p. 273, 2020. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2076-3263/10/7/273>>. Acesso em: 5 set. 2022.

MINISTRY OF NATURAL RESOURCES CANADA - NRCAN. *Canadian Geomatics Environmental Scan and Value Study*. 2015. Disponível em: <<http://geoscan.nrcan.gc.ca/starweb/geoscan/servlet.starweb?path=geoscan/fulle.web&search1=R=296426>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

\_\_\_\_\_. *GeoConnections*. Disponível em: <<http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/resources/tools-applications/10790>>. Acesso em: 20 ago. de 2018.

MOHRIAK, Webster Ueipass; TORRES, Luiz Carlos. Levantamentos geofísicos para a delimitação da margem continental brasileira. *Revista USP*, v. Abril/Maio, n. 113, p. 59–80, 2017.

MONICO, J. F. G.; DAL PÓZ, A. P.; GALO, Maurício; DOS SANTOS, Marcelo Carvalho; DE OLIVEIRA, Leonardo Castro. Acurácia e precisão: Revendo os conceitos de forma acurada. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v. 15, n. 3, p. 469–483, 2009.

OLEA, Ricardo A. *A Practical Primer on Geostatistics*. U.S. Geological Survey (USGS). Reston, Virginia. p.346. 2009. Disponível em: <<http://pubs.usgs.gov/of/2009/1103/>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

PANG, Pearlyn Y.; OEI, Parry. Singapore’s National Marine Spatial Data Infrastructure “Geospace-Sea”: Enabling Hydrosatial Context and Applications in a Changing Ocean and Seascape. *International Hydrographic Review (IHR)*. V. 24, November, 2020.

PINHEIRO, Julierme G.; FLORENTINO, Christopher. *Infraestrutura de dados espaciais marinhos : uma aplicação na cartografia , hidrografia e oceanografia*. Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia e XXVI Expositocarta. Anais...Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, 2017. Disponível em: <[http://www.cartografia.org.br/cbc/2017/trabalhos/6/fullpaper/CT06-17\\_1506717034.pdf](http://www.cartografia.org.br/cbc/2017/trabalhos/6/fullpaper/CT06-17_1506717034.pdf)>. Acesso em: 25 jun. 2018.

QUADROS, Nathan D. What Users Want in Their Bathymetry: bathymetry users needs and challenges in Australia and New Zealand. *Hydro International*, v. 16, n. 6, 2012.

R CORE TEAM (2022). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. Disponível em: <<https://www.r-project.org>>. Acesso em: fev.2022.

RAJABIFARD, Abbas; FEENEY, Mary-ellen; WILLIAMSON, Ian P. Directions for the Future of SDI Development. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 4, p. 11–22, 2002. Disponível em: <[http://www.csdila.ie.unimelb.edu.au/publication/journals/Future\\_Directionsfor\\_of\\_SDI\\_Development.pdf](http://www.csdila.ie.unimelb.edu.au/publication/journals/Future_Directionsfor_of_SDI_Development.pdf)>. Acesso em: 10 mar. 2018.

RUAN, Xiaoguang; CHENG, Liang; CHU, Sensen; YAN, Zhaojin; ZHOU, Xiao; DUAN, Zhixin; LI, Manchun. A new digital bathymetric model of the South China Sea based on the subregional fusion of seven global seafloor topography products. *Geomorphology*. v.370, 2020. DOI: 10.1016/j.geomorph.2020.107403. Acesso em: 19 out. 2021.

RYABININ, Vladimir. *United Nations Decade of Ocean Science for Sustainable Development 2021 – 2030: Implementation Plan*. Version 2.0, 2020, 53 pp.. Disponível em: < [https://decada.ciencianomar.mctic.gov.br/wp-content/uploads/2021/01/IP\\_v2\\_eng.pdf](https://decada.ciencianomar.mctic.gov.br/wp-content/uploads/2021/01/IP_v2_eng.pdf)>. Acesso em: 7 dez. 2021.

SANDWELL, David T.; SMITH, Walter H. F. Marine gravity anomaly from Geosat and ERS 1 satellite altimetry. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, v. 102, n. B5, p. 10039–10054, 1997. Disponível em: < <http://doi.wiley.com/10.1029/96JB03223>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

SANDWELL, D.T.; GILLE, S.T; SMITH, W.H.F. Bathymetry from Space: Oceanography, Geophysics, and Climate. *Geoscience Professional Services*, Bethesda, Maryland, June 2003, 24 pp., [www.igpp.ucsd.edu/bathymetry\\_workshop](http://www.igpp.ucsd.edu/bathymetry_workshop).

SCHAAP, Dick. EMODNet Bathymetry - building and providing a high resolution digital bathymetry for European seas. In: CHARRIER, Reynaldo; HERVÉ, Francisco; LODOLO, Emanuele; MENICETTI, Marco; RODRÍGUEZ, Maria Pia; TASSONE, Alejandro. *Bollettino di Geofisica: Teorica ed Applicata*, v. 57, n. October, p. 174–175, 2016.

SEADATANET. Disponível em: <<https://www.seadatanet.org/>>. Acesso em: 20 ago. 2021.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: Texto, Mapas & SIG*. Brasília: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2003.

ŠILJEG, A.; LOZIĆ, S.; RADOŠ, D. The effect of interpolation methods on the quality of a digital terrain model for geomorphometric analyses. *Tehnicki vjesnik - Technical Gazette*, v. 22, n. 5, p. 1149–1156, 2015. Disponível em: < [http://hrcak.srce.hr/index.php?show=clanak&id\\_clanak\\_jezik=216659](http://hrcak.srce.hr/index.php?show=clanak&id_clanak_jezik=216659)>. Acesso em: 10 mar. 2018.

SEPULVEDA, I., HAASE, J. S., LIU, P. L.-F., GRIGORIU, M., TOZER, B., & SANDWELL, D. 2020a. Uncertainty of Bathymetry Models and Effect on Tsunami Models. *Coastal Engineering Proceedings*, (36v), currents.22. <https://doi.org/10.9753/icce.v36v.currents.22>

SEPULVEDA, Ignacio; TOZER, Brook; HAASE, Jennifer S.; LIU, Philip L.F.; GRIGORIU, Mircea. Modeling Uncertainties of Bathymetry Predicted With Satellite Altimetry Data and Application to Tsunami Hazard Assessments. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. v. 125, n. 9, 2020b. Disponível em: doi: 10.1029/2020JB019735. Acesso em: 13 out. 2021.

STRAIN, Lisa Margerite; RAJABIFARD, Abbas; WILLIAMSON, Ian. Marine administration and spatial data infrastructure. *Marine Policy*, v. 30, n. 4, p. 431–441, 2006.

TAYLOR, Karl E. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. v.106, p. 7183–7192. 2001. [https://doi: 10.1029/2000JD900719](https://doi.org/10.1029/2000JD900719).

TORRES, Luiz Carlos; JECK, Izabel King; ALBERONI, Ana Angélica Ligiéro; VILLENA, Hélio Heringer. *Brazilian Southern Margin : an Example of the Identification of the Base of the Slope on a Passive Continental Margin*. 2008. In: 5th Advisory Board on Law of the Sea (ABLOS) Conference. Disponível em: <[https://www.iho.int/mtg\\_docs/com\\_wg/ABLOS/ABLOS\\_Conf5/Presentations/Session3-Presentation2-Torres.pdf](https://www.iho.int/mtg_docs/com_wg/ABLOS/ABLOS_Conf5/Presentations/Session3-Presentation2-Torres.pdf)>. Acesso em: 25 mar. 2018.

TORRES, Luiz Carlos; VILLENA, Hélio Heringer. *Use of Geological, Geophysical and Geomorphological Information as support for the harmonization of the legal limits of the continental shelf between Brazil and Uruguay*. Anais del Congreso Uruguayo de Geología; *Anais... Lavalleja* (Uruguay); 12-14 May 2010. Disponível em: <[https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig\\_q=RN:45054877](https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:45054877)>. Acesso em: 29 jun. 2018.

TORRES, Luiz Carlos; VILLENA, Hélio Heringer; BARREIRA, Leonardo Martins; SANTOS, Denis Ignácio dos; RANGEL, Angela Alonso. *Base de dados batimétricos do Atlântico Sul*. In: XXI Congresso Brasileiro de Cartografia; *Anais... XXI Congresso Brasileiro de Cartografia*, Belo Horizonte, MG. CD-Rom. 2003.

TOZER, B; SANDWELL, D. T.; SMITH, W. H. F.; OLSON, C.; BEALE, J. R.; WESSEL, P. Global bathymetry and topography at 15 arc sec: SRTM15+. *Earth and Space Science*. 2019, p.1847–1864. [https://doi.org/ 10.1029/2019EA000658](https://doi.org/10.1029/2019EA000658).

UNITED NATIONS DIVISION FOR OCEAN AFFAIRS AND LAW OF THE SEA - UNCLOS. *3rd United Nations Convention on the Law of the Sea*. 1994, p. 7–208.

UNITED NATIONS - UN. *CLCS/11 - Scientific and Technical Guidelines of the Commission on the Limits of the Continental Shelf*. Division for Ocean Affairs and the Law of the Sea. Commission on the Limits of the Continental Shelf (CLCS), 1999. Disponível em: <[https://www.un.org/depts/los/clcs\\_new/commission\\_guidelines.htm](https://www.un.org/depts/los/clcs_new/commission_guidelines.htm)>. Acesso em: 15 out. 2021.

UN-GGIM, 2018. *Integrated Geospatial Information Framework, A Strategic Guide to Develop and Strengthen National GeoSpatial Information Management*. [Online] Available at: <https://ggim.un.org/meetings/GGIM-committee/8th-Session/documents/Part%201-IGIF-Overarching-Strategic-Framework-24July2018.pdf>. Acesso em: 23 out. 2021.

VRDOLJAK, Ljerka. Comparison and Analysis of Publicly Available Bathymetry Models in the East Adriatic Sea. *Nase More*. v. 68, n. 2, p. 110-119, 2021. Disponível em: <<https://www.nasemore.com/comparison-and-analysis-of-publicly-available-bathymetry-models-in-the-east-adriatic-sea/>>. Acesso em: 22 ago. 2021.

VRDOLJAK, Ljerka; REŽIĆ, Mate; PETRIČEVIĆ, Ivan. Bathymetric and Geological Properties of the Adriatic Sea. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik (The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin)*. v. 36, n. 2, p. 93-107. 2021. Disponível em: <[doi:10.17794/rgn.2021.2.9t](https://doi.org/10.17794/rgn.2021.2.9t)>. Acesso em: 13 out. 2021.

WEATHERALL, Pauline; MARKS, Karen M.; JAKOBSSON, Martin; SCHMITT, Thierry; TANI, Shin; ARNDT, Jan Erik; ROVERE, Marzia; CHAYES, Dale; FERRINI, Vicki; WIGLEY, Rochelle. A new digital bathymetric model of the world's oceans. *Earth and Space Science*, v. 2, n. 8, p. 331–345, 1 Aug. 2015. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/2015EA000107>>. Acesso em: 20 mar. 2018.

WILSON, John P. Digital Terrain Modeling. *Geomorphology*, v. 137, p. 107–121, 2012. Disponível em: <[10.1016/j.geomorph.2011.03.012](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.03.012)>. Acesso em: 20 mar. 2018.

WLODARCZYK-SIELICKA, Marta; STATECZNY, Andrzej. Comparison of Selected Reduction Methods of Bathymetric Data Obtained by Multibeam Echosounder. *Proceedings - 2016: Baltic Geodetic Congress (Geomatics)*, BGC Geomatics 2016, p. 73–77, 2016. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7548008/>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

WÖLFL, Anne-Cathrin; SNAITH, Helen; AMIREBRAHIMI, Sam; DEVEY, Colin W.; DORSCHER, Boris; FERRINI, Vicki; HUVENNE, Veerle A. I.; JAKOBSSON, Martin; JENCKS, Jennifer; JOHNSTON, Gordon; LAMARCHE, Geoffroy; MAYER, Larry; MILLAR, David; PEDERSEN, Terje Haga; PICARD, Kim; REITZ, Anja; SCHMITT, Thierry; VISBECK, Martin; WEATHERALL, Pauline; WIGLEY, Rochelle. Seafloor Mapping – The Challenge of a Truly Global Ocean Bathymetry. *Frontiers in Marine Science*. v.6, p.1-16, 2019. DOI: 10.3389/fmars.2019.00283.

YANG, Chin-Shung; KAO, Szu-Pyng; LEE, Fen-Bin; HUNG, Pen-Shan. Twelve Different Interpolation Methods: a Case Study. *Proceedings of the XXth ISPRS Congress*, v. 35, p. 778–785, 2004. Disponível em: <<http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm2/papers/231.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

ZIMMERMANN, Mark; PRESCOTT, Megan. Bathymetry and Canyons of the Eastern Bering Sea Slope. *Geosciences*, v. 8, n. 5, p. 184. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2076-3263/8/5/184>>. Acesso em: 17 mai 2018.