



VII – ARTIGOS CIENTÍFICOS

COMPATIBILIZAÇÃO DO *DATUM* VERTICAL DAS CARTAS NÁUTICAS E CARTAS TERRESTRES

Autor: CC (T) Cesar Henrique de Oliveira Borba¹

RESUMO

O estabelecimento de um *datum* vertical para a representação cartográfica é importante, pois fornece o “zero” de referência para todas as cotas verticais representadas no documento. A utilização de diferentes referências verticais entre as cartas náuticas e cartas terrestres, sem uma compatibilização entre elas, causa diversos problemas no planejamento de gestão costeira e/ou atividades militares ao se tentar migrar de um ambiente para o outro. Desta forma, realizou-se uma ampla pesquisa bibliográfica com o objetivo de encontrar soluções para o problema exposto, iniciando-se pelo levantamento dos parâmetros técnicos necessários para a compatibilização dos principais *data* verticais. Posteriormente, a situação brasileira em relação a cada um desses parâmetros foi verificada e fez-se uma pesquisa de projetos internacionais que objetivaram

resolver essa mesma questão, ressaltando os pontos positivos e negativos de cada um. A pesquisa mostrou a viabilidade do Brasil para compatibilização das referências verticais, apontando os passos necessários para alcançar o objetivo final.

Palavras-chave:

Datum; Referência Vertical; Gerenciamento Costeiro; Carta Náutica; Carta Terrestre.

ABSTRACT

The establishment of a vertical *datum* for cartographic representation is important because it provides the “zero” reference to all vertical dimensions represented in the document. The use of different vertical references between nautical charts and land charts without compatibility between them causes several problems in coastal management planning and/or military activities when

¹Oceanógrafo formado pela FURG. Mestre em *Ocean Mapping*, pela *University of New Hampshire*. Foi ajudante e encarregado da Seção de Marés do CHM e participou de diversos Levantamentos Hidrográficos. Atualmente, exerce a função de Encarregado da Divisão de Oceanografia do CHM.



trying to migrate from one environment to another. Thus, an extensive bibliographic research was done, aiming to find solutions for this problem, starting by surveying the technical parameters that are needed for the compatibility of the main vertical *data*. After that, the Brazilian situation in relation to each of these parameters was verified and a research on international projects intended to resolve this same issue was carried out, then highlighting the positive and negative aspects of each of those projects. The resulting work showed the viability for Brazil to make vertical references compatible, by pointing out the necessary steps to accomplish the intended purposes.

Keywords:

Datum; Vertical Reference; Coastal Management; Nautical Chart; Terrestrial Chart.

1. INTRODUÇÃO

A Zona Costeira (ZC) brasileira é uma região de alta densidade populacional para a qual converge uma grande parte dos investimentos, das infraestruturas e dos fluxos econômicos preponderantes no país. A vulnerabilidade natural, intrínseca à ZC, incrementa riscos aos efeitos das mudanças do clima, com impactos relevantes ao bem-estar da população e ao crescimento econômico do país. Estudos dos impactos previstos das mudanças do clima sobre esta área demandam informações confiáveis a fim de possibilitar a correta avaliação dos riscos de inundação costeira, associados à elevação do nível do mar e à ocorrência de eventos meteoceanográficos extremos (Pugh, 1987).

Embora o nível do mar não seja estático, ele é usado como referência para medições ambientais, construções de obras civis, estabelecimento de cotas de segurança para planejamento urbanístico, definição de terrenos de marinha e, em alguns serviços hidrográficos, é o *datum* de referência vertical para as cartas náuticas em lagos, rios e águas interiores. Nesse contexto, a existência de informações altimétricas integradas (tanto altitudes quanto profundidades) é essencial para a correta avaliação do avanço do nível do mar. No Brasil, essa condição não é satisfeita, devido à descontinuidade entre os níveis de referência ("zeros") das elevações dadas pela cartografia terrestre e das profundidades mostradas na cartografia náutica, bem como a falta de informações precisas, que são necessárias à integração destes referenciais. Atualmente, não sabemos com precisão quais são os impactos que uma elevação do nível do mar causará em terra firme e quais medidas de adaptação e mitigação deverão ser tomadas.

Para a Marinha do Brasil (MB), a unificação do *datum* vertical favorecerá uma das suas tarefas básicas: Projetar Poder Sobre Terra, especialmente, nas atividades de Operações Anfíbias e Ribeirinhas. Na área da Hidrografia, essa unificação terá uma aplicação operacional na condução de Levantamentos Hidrográficos, fazendo-se o uso da maré GPS².

A questão da integração do *datum* vertical na zona costeira tem sido tema de investigação internacional. Diversos países já estão realizando projetos para identificar formas de tratar esta questão. Nesse sentido, vale ressaltar a experiência dos países da comunidade europeia, os quais já vêm

²Na maré GPS, utiliza-se um sensor a bordo das embarcações conectado ao Sistema de Posicionamento Global GNSS, para fornecer a variação do nível do mar no local do levantamento hidrográfico.



estabelecendo regulamentações, estratégias e planos para adaptação aos efeitos adversos das mudanças do clima, incluindo recomendações para regiões costeiras.

2. DATUM

Datum é um sistema de referência utilizado como origem para determinar a localização de um ponto na superfície terrestre. Esse sistema é de suma importância, pois seu propósito é projetar uma superfície curva incluindo as três dimensões da Terra (eixos x, y e z) em um plano de duas dimensões (representação cartográfica). Existem basicamente dois tipos de *data*³: horizontal e vertical. O *datum* horizontal é utilizado no referenciamento das posições obtidas sobre a superfície da terra e, neste caso, ele é definido pelas coordenadas geográficas. Mundialmente, existem diversos *data* horizontais, mas, no Brasil, podemos considerar basicamente três referências horizontais reconhecidas oficialmente pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE): Córrego Alegre, SAD69 e SIRGAS2000. Não é intenção deste trabalho entrar em detalhes quanto à diferença de cada um desses *data*.

O *datum* vertical tem como objetivo referenciar as altitudes/profundidades tomadas sobre a superfície da Terra. Idealmente, o *datum* vertical terrestre, utilizado como referência para definir as altitudes da porção emersa da superfície da Terra, deve ser o mesmo que o *datum* vertical marítimo, o qual, por sua vez, é utilizado para definir as profundidades das cartas náuticas. No Brasil, essa condição não é atendida e, dessa forma, há dois *data* diferentes para cada tipo de representação cartográfica (cartas terrestre e náutica).

2.1 Datum Vertical Terrestre Brasileiro

O primeiro *datum* vertical brasileiro, ou *datum* altimétrico brasileiro, foi definido em 1946 como sendo o nível médio do mar (NMM), observado entre os anos de 1919 e 1920 na cidade de Torres-RS (Alencar, 1990). O serviço geodésico internacional da antiga agência militar americana de mapeamento, a *Inter-American Geodetic Survey* (IAGS), iniciou, em 1948, a implantação de uma rede de estações maregráficas na costa brasileira. Em 1959, decidiu-se adotar um novo *datum* como sendo o NMM, observado no período de 1949 a 1957 na cidade de Imbituba-SC. A escolha dessa nova estação de referência deve-se ao fato de ela possuir um período de observação maior que o da estação anterior (Torres), além de ser a estação maregráfica mais próxima ao local de origem do primeiro *datum*.

Essa estação maregráfica foi operada até 1969 pelo IAGS, sendo os dados digitalizados e enviados mensalmente ao *Permanent Service for Mean Sea Level* (PSMSL), órgão ligado ao Comitê Oceanográfico Internacional (COI) da UNESCO, o qual é responsável por coletar, publicar, analisar e interpretar dados de nível do mar das redes de estações maregráficas dos países membros. Atualmente, só estão disponíveis as médias mensais e anuais para o período de 1949 a 1969 e, como não se sabe por quais processos matemáticos essas médias foram calculadas, o *datum* vertical não foi recalculado.

Para transformar o NMM em um *datum* vertical, é preciso determinar sua distância vertical a um ponto fixo em terra próximo ao sensor mareográfico e, posteriormente, transportar essa cota encontrada para toda a área de interesse – neste caso a porção emersa do território brasileiro – realizando, assim,

³Plural do termo de origem latina *datum*.



o nivelamento geométrico entre dois pontos. Dessa forma, dá-se origem a uma rede altimétrica cujo objetivo é definir localmente a cota vertical entre um ponto em terra e o *datum* vertical de referência. Atualmente, a Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP), sob responsabilidade do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), possui mais de 65 mil pontos implantados em todo o país (IBGE, 2018).

2.2 Datum Vertical Náutico Brasileiro

As Cartas Náuticas (CN) são documentos cartográficos cujo objetivo é servir de base à navegação, fornecendo informações precisas a respeito das profundidades, perigos à navegação, natureza de fundo, auxílios à navegação, altitudes e pontos notáveis aos navegantes. Uma das principais atribuições das CN é fornecer ao navegante a informação de águas seguras, a fim de que se possa traçar rota de navegação por locais onde a profundidade seja suficientemente grande, evitando, assim, o encalhe do navio.

Desta forma, conhecer a altura da coluna d'água é importante, porém essa altura não é estática, pois varia conforme a maré local. Assim, é preciso estabelecer uma cota baseada na oscilação da maré e, a partir desta, representar as alturas verticais das CN. Por sua vez, a altura da maré não oscila sempre da mesma forma em um mesmo local, já que sofre influência de parâmetros astronômicos e meteorológicos. O primeiro é facilmente previsível, já os fatores meteorológicos agem de forma aleatória, como bem comentado por Pugh e Woodworth (2014). Na hidrografia, essa cota é conhecida como Nível de Redução (NR) e representa o *datum* vertical náutico.

A Organização Hidrográfica Internacional (OHI) recomenda que o *datum* vertical para as cartas náuticas onde o efeito da maré seja representativo (variação diária >

0,3 metros de nível) seja definido como sendo a *Lowest Astronomical Tide* (LAT)³, a qual representa a menor altura do nível do mar observado durante um período de 19 anos, que é todo um ciclo nodal lunar. Na ausência de um período de observação de maré maior ou igual a 19 anos, a OHI recomenda o uso de um outro *datum* próximo ao LAT.

Nas cartas náuticas brasileiras, o *datum* vertical náutico é definido localmente, na área representada pela carta náutica, com um período de observação de maré igual ou superior a 32 dias, a fim de que se garanta a observação da variação do nível do mar durante todo um ciclo lunar. Após o período de observação, é feita a análise harmônica, desenvolvida por Franco e Rock (1971), para obter-se a amplitude e fase de componentes harmônicas da maré, aplicando o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) no domínio das frequências. Para isto, emprega-se a análise de Fourier como ferramenta para a elaboração de filtros que dependem essencialmente da diferença entre as frequências angulares da série de Fourier e de maré.

Uma vez identificada cada componente harmônica, calcula-se o coeficiente de Courtier (Courtier, 1928), o qual representará o tipo do regime de maré observado: Diurna, Semidiurna, Semidiurna com Desigualdade ou Mista. O NR é obtido pela diferença entre o nível médio do mar observado e a combinação das amplitudes das componentes harmônicas principais, que variam dependendo do tipo de maré observado.

3. BENEFÍCIOS DA COMPATIBILIZAÇÃO DAS REFERÊNCIAS VERTICAIS

A falta da compatibilização das referências verticais representa um sério problema para o gerenciamento ambiental e segurança nacional, principalmente na área costeira do continente. Para o Ministério do Meio Ambiente e o Ministério



do Planejamento, saber qual o tamanho da área de risco costeiro por conta das inundações é importante, pois existem diversas áreas de preservação ambiental na região litorânea, as quais podem ser alagadas, além da necessidade de se fazer um plano de contingenciamento em casos de eventos catastróficos.

Com isso, unificar a batimetria náutica e altimetria terrestre é imprescindível para avaliar os riscos e os potenciais prejuízos de inundações costeiras causadas por eventos meteorocanográficos extremos, como, por exemplo, ondas em período de ressaca, elevação do nível do mar, alto índice de precipitação acumulado e ventos fortes. Hoje, não se pode definir qual a porção da faixa litorânea que será afetada caso ocorra uma elevação momentânea do nível do mar, causada pelos fatores supracitados, por não se conhecer a cota de inundação no litoral. Este panorama torna-se mais crítico se levarmos em consideração que 24,6% da população brasileira reside na faixa litorânea, a qual representa apenas 4,1% de todo o território nacional (IBGE, 2011).

Para a MB, o interesse na compatibilização das referências verticais dá-se para atender a uma de suas tarefas básicas: Projeção do Poder Naval Sobre Terra, principalmente nas atividades das operações anfíbias (OpAnf), nas quais se faz o lançamento de uma tropa pelo mar até um litoral hostil. Esse ataque pode ser feito por meio do uso de carros lagarta anfíbio (CLAnf) ou emprego de mergulhadores de combate (MEC), com o apoio de navios de desembarque de carros de combate (NDCC), navios transporte de tropa (NTrT), navios desembarque doca (NDD) ou embarcações de desembarque de carga geral (EDCG).

A modalidade mais completa de uma OpAnf é o Assalto Anfíbio (AssAnf), onde, além do emprego de tropas especializadas devidamente treinadas, é preciso

conhecer aquele ambiente para o sucesso da missão. Neste contexto, principalmente na transição mar-terra, são necessárias informações com alto grau de precisão, que resultarão em um diagnóstico do cenário e previsões ambientais mais acurados. Dessa forma, o conhecimento detalhado da batimetria, da natureza de fundo e sua transição com a topografia da porção emersa da praia são essenciais para a confiabilidade da carta. O correto entendimento das informações nessa interface mar-terra só é possível de forma plena se as alturas do terreno e a batimetria náutica estiverem na mesma referência vertical.

No campo da hidrografia, a compatibilização do *datum* vertical será útil, pois os pontos notáveis aos navegantes, como alturas de pontes, alturas de faróis, altura de montanhas, entre outros, terão a mesma altura representada tanto nas cartas náuticas quanto nas cartas terrestres. Outro benefício será a possibilidade da utilização de um subproduto nas atividades hidrográficas. Onde não houver informações observadas de maré ou se o levantamento hidrográfico não estiver na área de abrangência da estação maregráfica, o modelo hidrodinâmico de nível do mar, utilizado para calcular o NMM ou o LAT na zona costeira, poderá ser empregado na redução das sondagens, definindo a altura da coluna d'água que deverá ser descontada das sondagens batimétricas.

Já com a superfície do geóide bem definida, é possível a utilização da maré GPS para a redução de sondagem. Nessa metodologia, utiliza-se um receptor GNSS a bordo da embarcação do levantamento hidrográfico, que fornece a informação precisa do posicionamento horizontal e vertical em relação ao elipsoide. De posse da superfície do geoidal refinada, é possível calcular a distância do geóide ao elipsoide e, assim, referenciar a batimetria obtida ao geóide, mesma referência sugerida para as cartas terrestres.

4. PARÂMETROS TÉCNICOS

Para que se alcance a compatibilização das referências verticais em zonas costeiras, alguns pontos técnicos devem ser resolvidos e refinados. A relação entre esses parâmetros relevantes é ilustrada na Figura 1

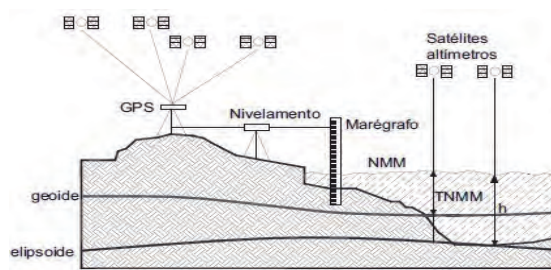


Figura 1 – Principais parâmetros técnicos para compatibilização do datum vertical e suas inter-relações (Fonte: Reis et al., 2018).

4.1 Nível Médio do Mar (NMM)

O NMM é o principal parâmetro a ser definido, pois sua variação é o que irá definir a cota de alagamento da porção emersa do continente, bem como as profundidades representadas nas CN. Estabelecer o NMM local é uma tarefa relativamente simples, desde que se tenham dados observados confiáveis, pois representa a média aritmética de todas as alturas medidas. O problema ocorre quando se deseja estabelecer a cota do NMM em um ponto onde não há dados medidos *in loco*. Neste caso, faz-se o uso de alturas do nível do mar medidas por satélites (no oceano aberto) ou interpolação de dados medidos por meio de modelos hidrodinâmicos (nas áreas costeiras) como, por exemplo, o SISBAHIA ou DELFT3D.

A superfície do oceano não é estática, variando ao longo do tempo, devido ao aumento do nível do mar, mudanças sazonais e seculares, expansão térmica, entre outros fatores. Conseqüentemente, qualquer média de longo período de nível do mar deve sempre especificar o período usado para a sua realização. O NMM tem sido tradicionalmente usado como referência vertical para os sistemas de altimetrias de diversos países. Alguns exemplos são: o Amsterdam Peil, para os países do Norte da Europa; o Imbituba, para o Brasil; o Newport, para o Reino Unido; e o Triest, para o Mediterrâneo.

Com a intensificação da rede de nivelamento preciso do IBGE, verificou-se que há uma divergência entre o plano no nível médio calculado com as observações de maré local e o nível médio observado em Imbituba-SC, o qual foi adotado como o *datum* vertical terrestre brasileiro (Figura 2). Essas diferenças originam-se do próprio processo de nivelamento, que possui erros instrumentais, operacionais e, principalmente, oriundos do fato de não se considerarem os efeitos causados pela gravidade, cuja influência varia conforme o tipo de relevo e a composição da crosta.

O uso do NMM como *datum* vertical já foi amplamente aceito, porém, atualmente, reconhece-se que essa superfície não coincide com o geóide global. Há uma distância vertical entre a superfície do NMM para o geóide. Essa diferença é denominada Topografia do Nível Médio do Mar, cuja espessura não é constante (Sanchez, 2009).

O cálculo do nível médio do mar global tornou-se mais fácil com o avanço da altimetria por satélite. Esse procedimento permite uma representação detalhada da superfície do mar com alta resolução espacial e temporal. Atualmente, existem diversos modelos de NMM, sendo cada um proveniente de projetos diferentes e definidos com diferentes períodos de observação.



Porém, o uso da altimetria por satélite nas áreas costeiras é crítico, e a correção da onda da maré não é confiável devido à mudança da amplitude e fase da maré ao propagar-se por águas rasas. Comparações entre esses modelos apresentam diferenças verticais da ordem de 2 a 3 cm em média, podendo haver locais com diferenças entre 10 cm ou até 30 cm (Schaeffer *et al.*, 2012).

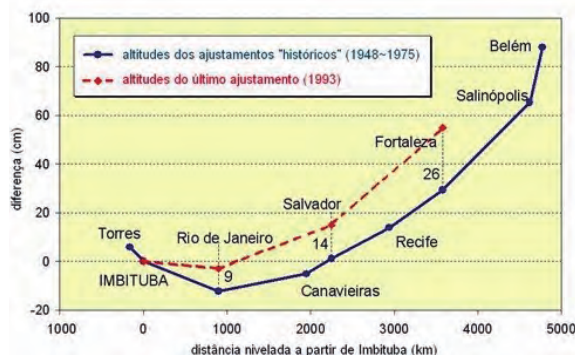


Figura 2 – Desnível entre o datum terrestre transportado e o NMM local. (Fonte: Luz, 2008)

4.2 Rede Maregráfica

O marégrafo representa uma indispensável interface entre a terra e o oceano. Séries longas de observação de maré fornecem dados robustos para definição das constantes harmônicas e, conseqüentemente, uma previsão de maré mais acurada e, em particular, para definição do LAT. Por outro lado, os marégrafos devem ser montados em terrenos sólidos e, ao realizar o nivelamento geométrico do sensor, o zero do marégrafo deve ser correlacionado a um marco de referência do sistema de altura nacional. Além disso, pode ser relacionado a um sistema de observação via satélite como, por exemplo, o *Global Navigation Satellite System* (GNSS).

Uma rede maregráfica é extremamente importante para a unificação dos *data* verticais terra-mar pois, além de ser a origem para a definição do *datum* vertical náutico, poderá fazer a conexão local com o *datum* terrestre, utilizando-se controles geodésicos por nivelamento regular a uma rede de altimetria terrestre. O IBGE mantém uma rede de marégrafos permanente, conectados a redes altimétricas terrestres de alta precisão, conforme apresentado na Figura 3.

Verificações regulares no funcionamento dos equipamentos, bem como o controle preciso da altura do sensor em relação a um ponto conhecido em terra (referência de nível), são essenciais para assegurar registros estáveis e consistentes do nível do mar durante longos períodos de tempo. Caso contrário, existe o risco de se interpretar uma subsidência do terreno como sendo um aumento do nível do mar ou, em áreas com compensação isostática, como redução do nível do mar. Para um controle vertical e geodésico preciso e contínuo do marégrafo, indica-se um receptor GPS (*Global Positioning System*) instalado o mais próximo possível do sensor.

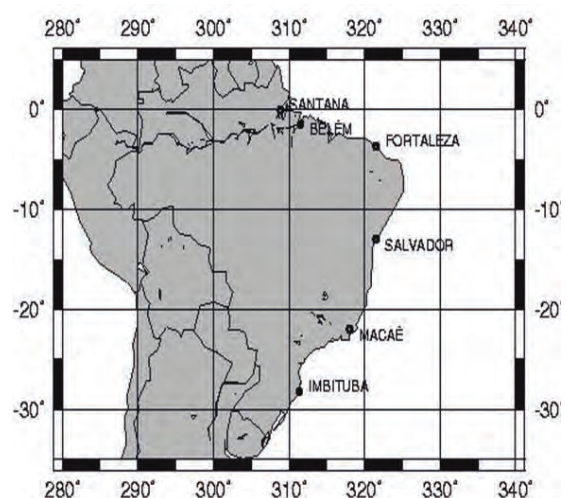


Figura 3 – Rede Maregráfica Permanente (RMP) do IBGE. (Fonte: Reis *et al.*, 2018)



4.3 Geoide

O geoide é uma superfície equipotencial particular do campo de gravidade da Terra que mais se aproxima do nível médio do mar. Em princípio, o geoide é definido por um valor constante de potencial de gravidade da Terra (W_0), porém determinar esse valor não é trivial, pois não existe um modelo da topografia da superfície do mar único ou o mais correto. Cada modelo advém de diferentes missões de lançamento de satélites (TOPEX/Poseidon, Jason, Geosat, etc.), os quais coletaram dados da altimetria do nível do mar em períodos diferentes. Outro problema é que não há uma integração entre cada um dos modelos de nível do mar e o modelo de potencial de gravidade de Terra.

A determinação do geoide é tradicionalmente baseada na Teoria de Stokes e Molodensky (Heiskanen e Moritz, 1967) e requer o conhecimento de dados gravimétricos para se definir o campo da gravidade terrestre. Uma maneira de determinar o campo da gravidade é por meio de medidas de aceleração da gravidade na superfície terrestre, as quais são realizadas através de gravímetros. A gravidade é influenciada pela massa da crosta terrestre e o efeito rotacional da Terra. Desta forma, o campo gravitacional varia em função da densidade do interior da Terra, da interação do sistema Terra-Lua-Sol e, também, da altitude e posição geográfica (Ribeiro e Guimarães, 2017). Com a interpolação das medições de aceleração da gravidade em diversos pontos, é possível calcular o modelo geoidal que representa a superfície do geoide.

Para uma pequena área de estudo, o geoide é facilmente determinado a partir de medições gravimétricas em diferentes pontos e, posteriormente, modulando-se os resultados. O problema surge quando se necessita determinar o geoide em áreas de dimensões continentais ou o geoide global.

Nestes casos, os dados podem ser compilados de missões satelitais (GRACE e GOCE) e de dados gravimétricos obtidos por aerolevantamentos e/ou por navios. Devido às medições indiretas desses métodos, há um grau de incerteza atribuído a cada um, que pode ser minimizado com o método tradicional de medição, utilizando-se gravímetros em pontos de controle.

4.4 Topografia do nível médio do mar

Conforme comentado no tópico anterior, o geoide não é exatamente igual ao nível médio do mar. Com a evolução dos nivelamentos de alta precisão e conectando-os às estações maregráficas permanentes, verificaram-se diferenças da ordem de 55 cm entre essas duas superfícies na estação maregráfica de Salvador-BA e 51 cm em Imbituba-SC (Reis *et al.*, 2018). Essa separação denomina-se Topografia do Nível Médio do Mar (TNMM) e, devido a ela, a posição do NMM ao longo da costa não está na mesma altura equipotencial e, assim, não pode ser usada como *datum* da rede altimétrica.

No oceano, a TNMM é causada pelo balanço geostrófico das correntes oceânicas, pela força de Coriolis e pela diferença de expansão volumétrica com origem térmica entre as águas tropicais e polares (Stewart, 2008). Já na área costeira e de águas rasas, os principais fatores geradores são os ventos e os efeitos dinâmicos da topografia do fundo do mar (Luz *et al.*, 2008).

Diante da não conformidade entre o NMM e o TNMM, há três métodos independentes para estimar essa separação. O primeiro baseia-se nas alturas dinâmicas, integrando a equação hidrostática, usando perfis verticais de temperatura e salinidade. O outro método é a modelagem numérica com a solução das equações gerais de movimento, a que fornece uma série temporal do nível de água acima de uma superfície



geopotencial. Esse processo é conduzido por campos de vento, mas os dados de altimetria por satélite também são assimilados. O terceiro método baseia-se exclusivamente em dados satelitais. O TNMM pode ser estimado como a diferença entre o modelo de superfície do nível médio e as alturas geoidais obtidas de um modelo de campo gravitacional.

4.5 Batimetria e Altimetria

As profundidades das cartas náuticas são obtidas por levantamentos batimétricos, empregando-se o sistema de posicionamento GNSS e sensores monofeixe e/ou multifeixe para a determinação das profundidades. Esse processo resulta em uma operação demorada e de alto custo, pois necessita ser feita por linhas paralelas equidistantes que são percorridas pelos navios. Por outro lado, com o uso do sensoriamento remoto, como aerofotogrametria ou levantamento topográfico, é possível obter informações sobre a cobertura do terreno, fatores topográficos, tipo de cobertura, entre outros. Esse processo é realizado com maior rapidez, precisão e baixo custo. Deste modo, o mapa de altimetria terrestre é muito mais abrangente e preciso que o mapa de batimetria náutica.

Para obtenção da batimetria, existem dois tipos de sensores remotos. Os passivos ou óticos, são aqueles que não possuem fonte própria de radiação. Nestes, as imagens são obtidas pela reflectância⁴ da radiação solar sobre os alvos. Para esses sensores, as profundidades são inferidas por imagens de satélite tipo fotografias. Imagens Landsat, Ikonos, SPOT, entre outras são exemplos de imagens de sensores passivos. Já o sensor ativo possui sua própria fonte de radiação, emitindo e recebendo o pulso, trabalhando

em faixas restritas do espectro. O LiDAR (*Light Detection and Ranging*) é o tipo de sensor ativo mais usado atualmente para definição de batimetria/altimetria.

Já existem vários trabalhos acadêmicos sobre a determinação da batimetria utilizando imagens de satélites passivos, nas quais são utilizadas imagens provenientes de diferentes satélites (Landsat 5, Ikonos II, Landsat 7, etc.) (Cabral, 1993; Tedesco, 2003; Krug e Noerberg, 2005; e Ribeiro *et al.*, 2008).

O erro máximo encontrado em todos os estudos realizados foi de até 1 metro de diferença entre o valor calculado pelos satélites e a medição real da profundidade. Um consenso básico entre eles é que a turbidez da água (índice de transparência) é o principal fator limitador para uso dessa ferramenta. Outro fator limitante importante é o limite da profundidade a ser medida. Nenhum dos trabalhos citados recomenda o uso de imagens de satélite para determinar profundidades maiores que 5 metros.

O LiDAR possui penetração maior na coluna d'água, podendo obter com precisão a batimetria de até 50 metros de profundidade (Nascimento, 2019). O sensor pode ser aerotransportado por aviões ou drones. Assim como os sensores passivos (óticos), a quantidade de partículas em suspensão na água é o principal fator limitante para o uso dessa plataforma.

5. SITUAÇÃO DO BRASIL

5.1 Nível Médio do Mar

A falta de longas séries de dados observados de maré na costa brasileira dificulta a análise da tendência do nível do mar no

⁴Reflectância é a relação entre a quantidade de radiação incidente em um alvo e a quantidade de radiação refletida por ele.

Brasil. Uma das séries de observação mais longas encontra-se em Cananéia (SP), desde 1954. Estudos apontam uma variação de 3,8 mm/ano a 7,0 mm/ano (Albarici *et al.*, 2018). Essa diferença se dá devido a diferentes metodologias. No estudo do IBGE (2016) que utilizou dados observados nas estações da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG) em Imbituba-SC, Macaé-RJ, Salvador-BA e Fortaleza-CE, observou-se uma variação do nível médio do mar entre 2,1mm/ano (Salvador e Fortaleza) a 6,6 mm/ano (Imbituba). Em ambos os estudos não foi considerada uma possível variação vertical do terreno e, no caso do estudo do IBGE, os períodos de observação de nível não são simultâneos. Desta maneira, quaisquer conclusões imediatas desses resultados devem ser feitas com precaução.

Diversas instituições privadas e universidades já desenvolveram vários modelos hidrodinâmicos costeiros para determinar a superfície do nível médio do mar, porém nenhum desses modelos abrange toda a costa brasileira, pois são regionais e visam à solução de um problema local.

5.2 Rede Maregráfica

No Brasil, há duas redes maregráficas consistentes que atendem aos requisitos necessários para o objetivo da integração dos *data* verticais. Em 1996, o IBGE estabeleceu a RMPG com o objetivo de determinar e monitorar a evolução do *datum* altimétrico do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) no tempo e no espaço. Atualmente, a RMPG possui 5 (cinco) estações maregráficas ao longo da costa brasileira (Figura 4) e está conectada ao RAAP. Outra rede maregráfica brasileira consistente é a rede nacional do GLOSS (*Global Sea Level Observing System*), um programa sob a égide da Comissão Oceanográfica Intergovernamental (COI), que visa ao estabelecimento de uma rede maregráfica global

e regional de alta qualidade para monitoramento do nível do mar por longo período. Atualmente, o GLOSS-Brasil possui 13 estações maregráficas (Figura 5) e, dessas, 4 (quatro) são comuns à rede RMPG.

No entanto, essa quantidade de estações maregráficas ainda é insuficiente para a definição do NMM ao longo da costa do Brasil. Há fatores locais, como a geografia do contorno do continente e a batimetria local, que influenciam fortemente na variação do nível do mar local e, sem uma observação da maré *in loco* por longo período, não é possível mensurá-lo. A observação contínua do nível do mar não é importante apenas na determinação da variação do nível médio. Se observada em portos e/ou hidrovias, auxilia na tomada de decisão portuária, pois fornece a altura do nível do mar observado em tempo real, indicando, assim, o melhor momento para a entrada e saída de navios.



Figura 4 – Rede Altimétrica de Alta Precisão e a Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG) do IBGE (Fonte: IBGE, 2018)



Figura 5 – Rede Maregráfica do GLOSS-BR. (Fonte: Programa GLOSS Brasil)

5.3 Geoide

Em 2015, foi disponibilizado pelo IBGE o novo mapa geoidal brasileiro (MAPGEO2015), calculado pela forma clássica de Stokes (Figura 6). Esse novo modelo possui um acréscimo de 18.485 pontos de levantamentos terrestre em relação ao

modelo anterior, o MAPGEO2010, com um total de 450.589 pontos de medição em todo o território nacional. No entanto, ainda existem regiões com grandes vazios de informações, principalmente na região norte do Brasil, por conta da dificuldade logística, da falta de pessoal e de material disponível para realizar as medições (Blitzkow *et al.*, 2016).

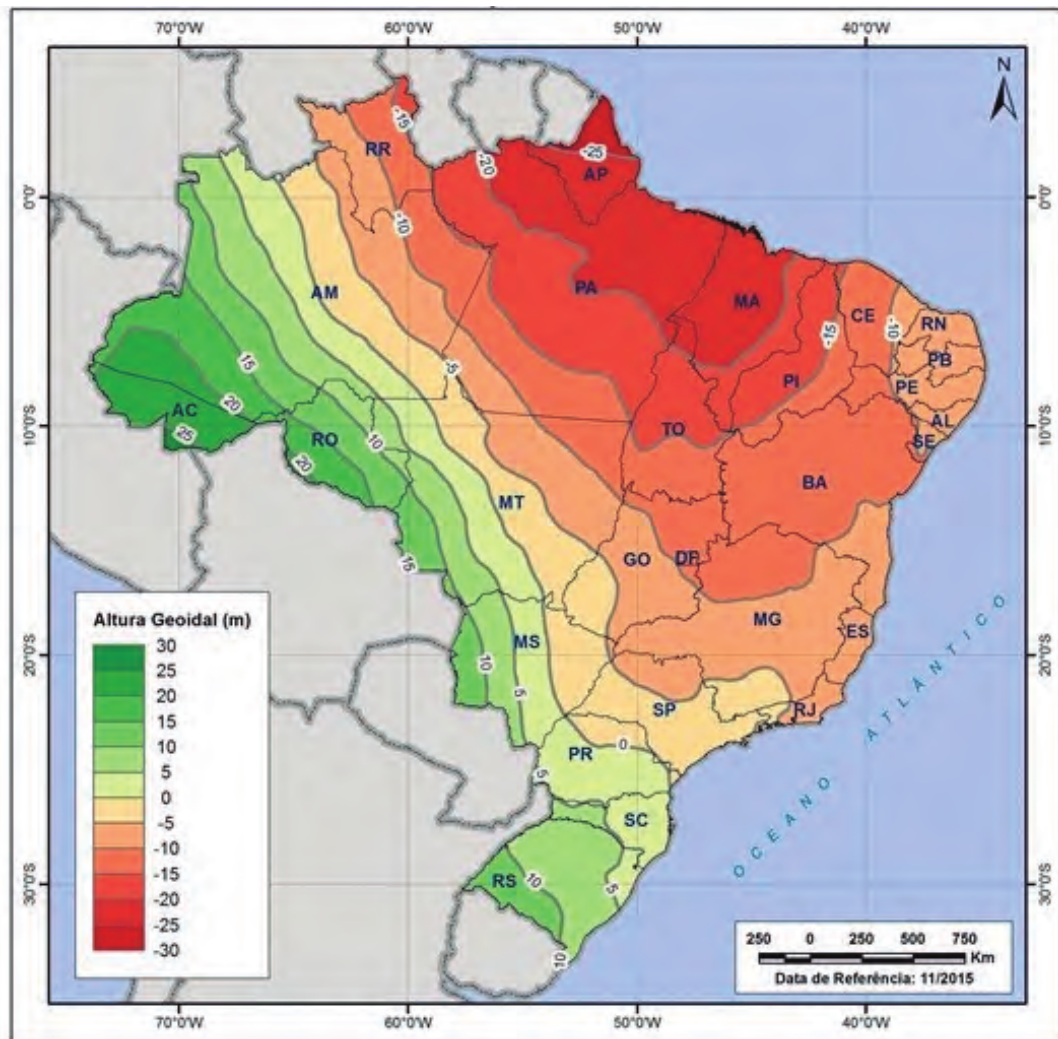


Figura 6 – MAPGEO 2015. (Fonte: Blitzkow et al., 2016)

Para a unificação das alturas em terra e no mar, a solução do geóide deve fornecer uma perfeita integração com a zona costeira. Deve-se ser avaliado se há uma transição contínua das alturas dos geóides da terra e do mar. Do contrário, devem ser feitas comissões para medição da altura geopotencial a bordo de navios ou aeronaves na zona costeira, conectando esses campos com o modelo geoidal terrestre brasileiro e os modelos globais.

Um modelo regional de campo gravitacional não só permitiria calcular as alturas geoidais, mas também os valores geopotenciais para qualquer estação GNSS, além de obter-se imediatamente as alturas físicas relativas a qualquer ponto de referência com valor W_0 definido. Ferramentas de *software* podem ser fornecidas como complementos para sistemas operacionais públicos disponíveis.



5.4 Batimetria e Altimetria

Segundo o Decreto-Lei No 243 de 28 de fevereiro de 1967, cabe à Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) o estabelecimento de normas para a produção das cartas náuticas. Por sua vez, a DHN, como membro da OHI, segue as recomendações daquele Órgão quanto à precisão dos levantamentos hidrográficos, definindo níveis mínimos de confiança nos dados, garantindo, assim, a segurança da navegação.

Esse mesmo decreto estabelece o IBGE como responsável pela produção cartográfica terrestre nas cartas de escala menores que 1:250.000 e a Diretoria do Serviço Geográfico, pela produção das cartas terrestres de escala maior que 1:250.000.

Analizando cada carta isoladamente, ambas atendem aos requisitos internacionais de precisão e abrangência. Espera-se que, na área de transição entre as cartas terrestres e náuticas, essa mesma acurácia seja observada. No caso do Brasil, essa condição não é satisfeita, haja vista a descontinuidade entre os *data* verticais e, também, pela inexistência de informações precisas de dados altimétricos/batimétricos na zona costeira, principalmente em profundidades menores que 10 metros.

6. MÉTODOS DE INTEGRAÇÃO DAS REFERÊNCIAS VERTICAIS

A falta de compatibilização do *datum* vertical marítimo e terrestre não é um assunto recente e, muito menos, exclusivo do Brasil. Diversos países já identificaram esse problema e propuseram diferentes soluções. A seguir, serão apresentados alguns dos projetos que buscam encontrar soluções para alcançar a compatibilização e suas metodologias.

6.1 BathyElli (*Bathymétrie et Ellipsoïde*)

BathyElli, abreviação da expressão “batimetria e elipsoide” em francês, foi um projeto conduzido pelo serviço hidrográfico francês (*Service Hydrographique et Océanographique de la Marine – SHOM*) no período de 2007 a 2010. Segundo Pineau-Guillou (2009), o objetivo do projeto foi oferecer uma superfície do nível médio do mar e datum náutico ao longo da costa francesa, com o apoio de um *software*.

No BathyElli, o NMM é resultado de imagens de satélite, com o refinamento de observações de nível por marégrafos e levantamentos cinemáticos de navios por GPS, para preencher as lacunas entre a altimetria satelital e as observações. O primeiro passo foi transformar a superfície do mar, obtida pela altimetria, em uma superfície média do mar hidrográfica.

Posteriormente, foram realizados levantamentos de GPS em cerca de 20 estações maregráficas, a fim de conectar o nível médio local com o elipsoide. Em seguida, um navio com receptor GPS coletou as alturas em relação ao elipsoide em uma faixa de até 24 Km da costa. As medidas do navio foram compensadas, retirando-se a movimentação do navio nas três dimensões (*pitch, roll e yaw*) e a altura da antena GPS acima da linha d’água. Finalmente, a correção de ondas e marés foi calculada e aplicada para relacionar a altura do GPS observada com o nível médio do mar. Esse projeto utilizou apenas o nível médio do mar e o elipsoide como referência, não sendo assim o modelo mais indicado.

6.2 VORF (*Vertical Offshore Reference Frame*)

VORF é a sigla do nome do projeto em inglês *Vertical Offshore Reference Frame*, desenvolvido pelo serviço hidrográfico inglês



(UKHO) e pela *University College of London* (UCL), no período de 2005 a 2008.

O objetivo do VORF é descrever o LAT como uma superfície tendo como referência vertical o elipsoide. Nesse projeto, são criadas duas superfícies diferentes. Na primeira, para a área costeira, foi criada uma superfície do NMM, utilizando as observações das estações maregráficas referenciadas ao elipsoide. Para o oceano aberto, foi utilizado um modelo global de nível do mar dinamarquês (DNSC06). Utilizando a técnica remove-calcula-restaura (RCR), foi calculado o resíduo dessa superfície e referenciado ao geóide. Na segunda superfície, na região além dos 30 Km de distância da costa, a modelagem do LAT foi baseada no modelo global de marés oceânicas CSR 4.0 e, na área costeira, utilizou-se a previsão de maré para 19 anos, com base nas constantes harmônicas filtradas em cada estação maregráfica e o modelo de alta resolução de maré (NISE10) para calcular e interpolar o LAT.

Subtraindo-se as duas superfícies descritas, são obtidas as alturas do LAT em relação ao elipsoide. Para isso, foi desenvolvida uma técnica, na qual não se utiliza a menor distância entre dois pontos, mas sim, o caminho efetivo da distância pelo mar.

Nesse caso, como o LAT costeiro é resultado de uma previsão de maré baseada nas constantes harmônicas, se a amplitude de cada constante estiver incorreta, pode-se obter uma estimativa errada do LAT.

6.3 BLAST (*Bringing Land and Sea Together*)

O BLAST (*Bringing Land and Sea Together*), descrito por Strykowski (2011), foi um projeto realizado entre 2009 a 2012 pelos países parceiros banhados pelo Mar do Norte (Noruega, Dinamarca, Suécia, Reino Unido, Bélgica, Holanda, Alemanha e França), cujo objetivo é a unificação do

datum marítimo na área do Mar do Norte e a conexão com os sistemas de altimetria terrestre.

A metodologia BLAST baseia-se no pressuposto geral de que o nível do mar dos modelos hidrodinâmicos refere-se, implicitamente, a uma superfície equipotencial do campo de gravidade da Terra. Esse quase-geóide é mais adequado como superfície de referência vertical do que o nível médio do mar, porque pode ser usado tanto na porção terrestre quanto marítima, podendo ser calculado em qualquer lugar.

O projeto iniciou-se com o geóide gravimétrico europeu já existente, o NLGEO2013, o qual foi refinado com o uso de altímetros por satélites, medições gravimétricas terrestres e gravimetrias aerotransportadas. O passo seguinte foi o uso do modelo topográfico da plataforma continental, para prever a altura instantânea do nível do mar em relação à uma superfície geopotencial e ao LAT.

Esse modelo topográfico é verticalmente referenciado, comparando-se a diferença entre a altura da superfície do mar em relação ao elipsoide medida pelo satélite, a altura do geóide em relação ao elipsoide (N) e a altura do nível do mar em relação a superfície equipotencial. Dessa comparação, identifica-se a diferença entre o geóide e a superfície equipotencial de referência.

Usando o conhecimento da topografia dinâmica do oceano, é possível realizar uma “referência vertical” das elevações hidrodinâmicas e identificar o deslocamento entre a superfície do geopotencial e o geóide, de modo que a saída do modelo possa ser relacionada ao geóide. A determinação de dois componentes é essencial para esse conceito – a modelagem hidrodinâmica e a computação geoidal – e ambas possuem seus desafios.

A modelagem hidrodinâmica deve incorporar a previsão das marés e seu



detalhamento deve ser o suficiente para fornecer uma previsão robusta de elevações de água perto da costa. O cálculo do geoide também é desafiador, não apenas porque todos os dados disponíveis devem ser incorporados, mas também para garantir uma transição contínua da superfície do geoide na costa, onde um forte gradiente do geoide é causado pela borda da plataforma continental e, possivelmente, dados inconsistentes de terra e mar devem ser combinados.

7. ANÁLISE DOS MÉTODOS

Há diferenças relevantes entre o método BathyElli e VORF em comparação com o BLAST. Os métodos francês e inglês assumem que a modelagem pura da maré fornece o nível médio do mar. Consequentemente, BathyElli e VORF focam, primeiramente, em estimar o modelo da superfície do mar em relação ao elipsoide e, posteriormente, utilizam esse modelo de maré para calcular o LAT e, assim, obter a sua cota em relação ao NMM.

A utilização do NMM como nível de referência em geral é uma decisão crítica. Como já foi mencionado o NMM não é estático, pois representa o período no qual foram coletados os dados. Computar o NMM para um determinado período implica que o LAT também será referenciado a essa época. Além disso, os modelos globais de NMM são baseados em altimetria por satélite, a qual perde a precisão ao aproximar-se da costa, que é justamente a área de maior interesse do estudo.

Por outro lado, o BLAST parte do pressuposto de que o nível da água obtida por um modelo hidrodinâmico deve se referenciar implicitamente a uma superfície equipotencial do campo de gravidade da Terra (Hughes e Bingham, 2008). Portanto, o BLAST se concentra na determinação de um geoide. O geoide pode não coincidir com a mesma superfície equipotencial do modelo hidrodinâmico, no entanto, essas duas superfícies

devem ser paralelas com um pequeno deslocamento. Consequentemente, uma etapa essencial da metodologia BLAST é a referência vertical do modelo hidrodinâmico.

O uso do geoide como *datum* tem a vantagem de poder aplicar-se a mesma superfície de referência para as alturas terrestres e marinhas, sem a necessidade de transportar o *datum* obtido pela observação da maré para dentro do continente, e este é um aspecto que o BathyElli e VORF não apresentam.

8. RECOMENDAÇÕES

Como visto, a compatibilização das referências verticais marinhas e terrestre depende de produtos iniciais os quais devem ser refinados e integrados. Seguindo a metodologia aplicada no Mar do Norte (BLAST), o refinamento desses produtos depende de ações prévias, as quais podem ser divididas em atividades de curto e de longo prazo. Para as atividades de curto prazo, deverá ser escolhida uma área de teste (área piloto) e, utilizando produtos já disponíveis, desenvolver atividades com os cálculos iniciais para a resolução do problema. Desta forma, será possível ter uma visão panorâmica do problema, porém com baixa acurácia, identificando-se os pontos e os campos mais críticos de falta de informação. Esses produtos servirão de base para as atividades de longo período, cujo objetivo será o desenvolvimento final dos produtos (modelos) a serem utilizados com a acurácia necessária para compatibilização das referências verticais. Esses modelos deverão abranger todo o território brasileiro (terrestre e marinho). A seguir, são elencadas as principais atividades de curto e longo prazo.

8.1 Atividades de curto prazo:

a) utilizar um modelo regional já existente de maré ao longo da costa, para



calcular o NMM e referenciá-lo ao elipsoide;

b) utilizar esse mesmo modelo de maré para calcular a superfície do LAT na costa brasileira e, posteriormente, subtrair essa superfície do NMM calculado no passo anterior;

c) referenciar as alturas terrestres das proximidades de uma estação maregráfica permanente com o NMM calculado pelas observações de maré local. Com isso, corrigir-se-ão possíveis distorções das alturas do sistema planimétrico, pois, quanto maior a distância do ponto em relação à origem de referência, maior poderá ser o erro da altura real em relação à altura transportada;

d) comparar o atual geóide do MAPGEO2015 com as alturas geoidais obtidas por satélites; e

e) referenciar as alturas terrestres às alturas geoidais do modelo mais adequado.

8.2 Atividades de longo prazo:

a) densificar a rede maregráfica existente, utilizando-se sensores digitais precisos, transmissão automática de dados e rigoroso controle geodésico;

b) interpolar todos os dados de gravimetria existentes medidos por gravímetros terrestres, aerotransportados ou a bordo de navios na zona costeira, realizando levantamentos gravimétricos por aeronaves nas áreas de pouca informação;

c) modernizar o modelo planimétrico brasileiro usando o geóide derivado do novo campo de gravidade regional, resultante do passo anterior;

d) produzir um modelo hidrodinâmico para toda a costa brasileira com uma resolução espacial detalhada o suficiente para fornecer uma previsão acurada das

elevações do nível do mar perto da costa. Esse modelo deve ser validado com medições de maré das estações maregráficas; e

e) posteriormente, esse modelo de maré costeiro deve ser integrado com um modelo de maré global.

9. CONCLUSÃO

A exemplo de outros países, a integração do *datum* vertical marítimo e terrestre é possível, porém não é uma solução de curto prazo. Por tratar-se de um assunto multidisciplinar, um grupo com representantes de diversos órgãos e instituições deve ser criado, o qual deverá ficar focado, exclusivamente, em desenvolver os produtos necessários e, posteriormente, integrá-los. No Brasil, já existem produtos, os quais podem ser utilizados para a compatibilização de forma inicial, porém, para resultados mais acurados, esses produtos devem ser refinados. O monitoramento das variações do nível do mar e a detecção de possíveis movimentos verticais da crosta são tarefas importantes, visando-se a uma futura integração das referências verticais. O refinamento do geóide, seja por intensificação de dados medidos *in loco* ou coletados por aeronaves e embarcações, também é crucial para aprimoramento dos resultados. Um modelo hidrodinâmico que forneça a variação da maré na área costeira com precisão é imprescindível para fornecer as alturas do nível do mar onde não se tem uma estação maregráfica instalada. A obtenção da batimetria na zona costeira até o limite da linha d'água com a acurácia necessária será um grande desafio para que a transição da topografia marinha para a topografia terrestre ocorra de forma suave e sem sobressaltos.

**10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Albarici, F. L.; Guimarães, G. N.; Trabanco, J. L. A. Análise relativa do Nível do Mar em Cananéia. *Revista Brasileira de Geomática*, v.6, Curitiba, 2018.

Alencar, José Clovis Mota. *Datum altimétrico brasileiro*. Caderno de Geociências No 5. Rio de Janeiro: IBGE, 1990.

Blitzkow, D.; Matos, A. C. O. C.; Machado, V. C.; Nunes, M. A.; Lengruher, N. V.; Xavier, E. M. L.; Fortes, L. P. S. MAPGEO2015: O Novo Modelo de Ondulação Geoidal do Brasil. *Revista Brasileira de Cartografia*, v.68 n.19, 2016.

BRASIL. Decreto-Lei Complementar No 243 de 28 de fevereiro de 1967: Fixa as Diretrizes e Bases da Cartografia Brasileira e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, 09 de março 1967. BRASIL.

_____. Marinha do Brasil. *Manual Básico do Fuzileiro Naval*. 1a ed. – CGCFN-1003. Comando Geral do Corpo dos Fuzileiros Navais, 12 de novembro de 2008.

CABRAL, A. P.; VIANNA, M. L. Extração da batimetria através de dados TM-Landsat. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 1993, Curitiba, BR. *Anais [...]* São José dos Campos: INPE, 1993. v. 4, p. 94-104.

COURTIER, A. *Marées*. Paris (France): Service Hydrographique de la Marine, 1938.

FRANCO, A. S.; ROCK, N. J. *The fast Fourier transform and its application to tidal oscillation*. São Paulo Universidade de São Paulo, 1971.

_____. *Marés: Fundamentos, Análise e Previsão*. 2a ed. Niterói: Diretoria de Hidrografia e Navegação, 2000

HEISKANEN, W. A.; MORITZ, H. *Physical geodesy*. San Francisco: Freeman and Company, 1967.

Hughes, C. W.; Bingham, R. J. An Oceanographer's Guide to GOCE and the Geoid, *Ocean Science*, v 4, 2008.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Atlas Geográfico das Zonas Costeiras e Oceográficas do Brasil*. Rio de Janeiro, IBGE, 2011.

_____. *Análise do Nível Médio do Mar nas Estações da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia* - RMPG 2001/2015. Rio de Janeiro, IBGE, 2016.

_____. *Reajustamento da Rede Altimétrica com Números Geopotenciais*. Rio de Janeiro, IBGE, 2018.

Intergovernmental Oceanographic Commission. *Manual on Sea Level Measurement and*



Interpretation. v 3 – Reappraisals and Recommendations as of the year 2000, Manual and Guides No. 14, Paris, UNESCO, 2002.

International Hydrographic Organization. *Hydrographic Dictionary, Special Publication n. 32*. 5.ed. Principado de Monaco: International Hydrographic Bureau, 1994.

International Hydrographic Organization. *International Charts and Chart Specifications of the IHO*. 3a ed. Principado de Monaco: International Hydrographic Bureau, 2006.

International Hydrographic Organization. *IHO Standards for Hydrographic Surveys. Special Publication n. 44*. 5a ed. Principado de Monaco: International Hydrographic Bureau, 2008.

KRUG L.A.; NOERNBERG M.A. Extração de batimetria por sensoriamento remoto de áreas rasas dos sistemas estuarinos do Estado do Paraná - Brasil. In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. *Anais [...]*. São José dos Campos: INPE, 2004. p 3077-3084.

LUZ, R. T.; BOSCH, W.; FREITAS, S. R. C. de; HECK, B. *Topografia do Nível Médio do Mar no Litoral Sul- Sudeste Brasileiro*. Recife: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2008.

NASCIMENTO, G. A. G. *Verificação da Aplicabilidade de Dados Obtidos por Sistema LASER Batimétrico aerotransportado à Cartografia Náutica*. 2019. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2019.

PINEAU-GUILLOU L. Projet BATHYELLI : Détermination du zéro hydrographique à partir de l'altimétrie spatiale et du GPS. *Revue Navigation*, v. 57, n°226, 2009.

PUGH, D. T. *Tides, surges and mean sea-level: a handbook for engineers and scientists*. New York (USA): Wiley & Sons, 1987. 742 p.

PUGH, D. T.; WOODWORTH, P. L. *Sea-level science: understanding tides, surges tsunamis and mean sea-level changes*. Cambridge University, 2014. 407p.

RAMOS, Alexandre Motta. *Aplicação, investigação e análise da metodologia de reduções batimétricas através do método GPS diferencial preciso*. 2007. Dissertação de Mestrado. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2007.

REIS, V.P.; BARBOSA, L.G.; PALEMIRO, A.S. Determinação da Topografia do Nível Médio do Mar com Altimetria por Satélites. *Revista Brasileira de Geomática*, v.6, Curitiba, 2018. p 77-98.

RIBEIRO, S. R. A.; CENTENO, A. S.; KRUEGER, C. P. Estimativa de profundidades a partir de levantamentos batimétricos e dados Ikonos II mediante redes neurais artificiais. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v.14. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2008.



RIBEIRO, L. C.; GUIMARÃES G. N. Interpolação de Dados Gravimétricos Visando a Obtenção de Altitudes com Significado Físicos. In: Simpósio Brasileiro de Geometria, 4., 2017 Presidente Prudente, *Anais [...]*. São Paulo, 2017. p. 496 – 502.

ROSMAN, P.C.C. *SisBAHIA – Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental*. Área de Engenharia Costeira e Oceanográfica. Rio de Janeiro: Universidade Federal de Rio de Janeiro (COPPE-PEnO/UFRJ), 2000.

SÁNCHEZ L. Strategy to Establish a Global Vertical Reference System. In: Drewes H. *Geodetic Reference Frames*. Berlim: International Association of Geodesy Symposia, vol 134, 2009 p.273-278.

SCHAEFFER, PHILIPPE *et al.* The CNES CLS11 *Global Mean Sea Surface Computed from 16 Years of Satellite Altimeter Data*. *Marine Geodesy* 35, 2012.

SLOBBE, D.C.; VERLAAN, M.; KLEES, R.; GERRITSEN, H. Astronomical Tide in the North Sea derived from a vertically referenced shallow water model, and an assessment of its suggested sense of safety. *Marine Geodesy*, v 36, 2013.

STEWART, R. H. *Introduction to Physical Oceanography*. Texas (USA): Texas A & M University, 2008.

STRYKOWSKI, G.; ANDERSEN, O.B.; EINARSSON, I.; FORSBERG, R.; DORST, L.L.; LIGTERINGEN, T. BLAST vertical: Overview, *conventions and recommendations*. BLAST (Bringing Land and Sea Together) Project, 2011.

TEDESCO, Andrea. *Estimativa de profundidades utilizando imagens de alta resolução apoiadas por dados de levantamento batimétrico*. 2003. Dissertação de Mestrado. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2003.

