



**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE**  
Instituto de Geociências  
Departamento de Geologia e  
Geofísica/LAGEMAR  
Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra

Maisa de Queiroz dos Santos

**Incerteza horizontal em levantamentos multifeixe em função do método de posicionamento**

Rio de Janeiro  
2020

Maisa de Queiroz dos Santos

**Incerteza horizontal em levantamentos multifeixe em função do método de posicionamento**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra, da Universidade Federal Fluminense com ênfase em Hidrografia.

Orientador: Prof. Dr. Arthur Ayres Neto

Rio de Janeiro  
2020

Maisa de Queiroz dos Santos

## **Incerteza horizontal em levantamentos multifeixe em função do método de posicionamento**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra, da Universidade Federal Fluminense com ênfase em Hidrografia.

Aprovado em de abril de 2020.

Orientador:

Prof. Dr. Arthur Ayres Neto  
Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da  
Terra – UFF

Coorientadora:

Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Cláudia Pereira Krueger  
Departamento de Geomática, UFPR

Banca examinadora:

Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Flávia Mandarino  
Diretoria de Hidrografia e Navegação, MB

Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Angélica Carvalho Di Maio  
Departamento de Análise Geoambiental, UFF

Rio de Janeiro  
2020

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

S237i Santos, Maisa de Queiroz  
Incerteza horizontal em levantamentos multifeixe em função  
do método de posicionamento / Maisa de Queiroz Santos ;  
Arthur Ayres Neto, orientador ; Cláudia Pereira Krueger,  
coorientadora. Niterói, 2020.  
82 f.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal Fluminense,  
Niterói, 2020.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22409/PPGDOT.2020.m.10554591707>

1. Hidrografia. 2. Levantamento Hidrográfico. 3. Métodos  
de de Posicionamento (GNSS). 4. Geoprocessamento. 5.  
Produção intelectual. I. Neto, Arthur Ayres, orientador. II.  
Krueger, Cláudia Pereira, coorientadora. III. Universidade  
Federal Fluminense. Instituto de Geociências. IV. Título.

CDD -



**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE**  
Instituto de Geociências  
Departamento de Geologia e Geofísica/LAGEMAR  
Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra

**Ata de Defesa Dissertação de Mestrado**

Ao(s) 14 dia (s) do mês de Abril de 2020, às 14:00 horas, no Departamento de Geologia e Geofísica/LAGEMAR, da Universidade Federal Fluminense, reuniu-se a Banca Examinadora designada para arguir a Defesa da Dissertação de Mestrado do (a) aluno (a) **Maisa de Queiroz dos Santos** sob o título:

**"Incerteza horizontal em levantamentos multifeixe em função dos métodos de posicionamento"**

A banca constituída pelos professores:  
Arthur Ayres Neto, Dr(a) (Orientador - UFF)  
Cláudia Pereira Krueger, Dr. (Coorientador(a) - UFPR)  
Flávia Mandarino, Dr. (MB)  
Angélica Carvalho Di Maio, Dr. (UFF)

deliberou pela APROVAÇÃO do(a) candidato(a) de acordo com o seguinte parecer: o trabalho apresentou mérito para obtenção do título de mestre aprimorando uma discussão sobre a precisão horizontal em levantamentos batimétricos. A candidata deverá proceder as correções e sugestões da banca em um prazo de 90 dias.

14 de Abril de 2020

Orientador \_\_\_\_\_  
Coorientadora \_\_\_\_\_  
Arguidor \_\_\_\_\_  
Arguidor \_\_\_\_\_  
Candidato Maisa de Queiroz dos Santos

## **DEDICATÓRIA**

À minha avó Nilcéa Santos,

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Marinha do Brasil, em particular o Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), pelos dados concedidos e pela disponibilização das licenças dos programas. Em particular aos CMG Sebastião e ao CMG João Bittencourt.

Ainda do CHM, agradeço aos comandantes: Caúla, Peçanha, Rafael Vieira, Pimentel e Nascimento. Agradeço pelo apoio dos Tenentes: Ana Silva, Pâmella Maia, Adriano Guilherme, Flávia Piovani, Mauro Melo, e Luma Costa. Agradeço ainda ao apoio do SG Graciano.

Agradeço ao meu orientador Arthur Ayres Neto e a coorientadora Cláudia Pereira Krueger pela orientação e os ensinamentos passados. Agradeço também às professoras Angélica Carvalho Di Maio e Flávia Mandarino, por aceitarem participar da banca de avaliação.

Agradeço ao meu amigo de mestrado Fábio Lima, por compartilhar as dúvidas e inseguranças nessa jornada.

Agradeço muito a disponibilidade permanente em compartilhar conhecimento do Capitão-Tenente Édico Ramon, do Suboficial Sérgio Vieira e do Primeiro-Sargento Wander.

Agradeço aos cabos do meu setor de trabalho: Luiz, Lanzoni, Peclat, Vasconcelos, Priscilla e D'ippolito.

Agradeço especialmente à minha mãe, minha maior incentivadora, que me ensinou que nossa maior riqueza é o conhecimento.

Agradeço às mulheres da minha vida: minha irmã Madalena, e minhas sobrinhas Raquel, Júlia, Maria Luiza, e minhas primas Stella e Juliana, por serem meus combustíveis de motivação. Agradeço ainda à minha grande amiga Adriana.

Agradeço aos meus enteados, meus filhos emprestados, Yasmin e Filipe Ramon, por me motivarem a ser um exemplo para eles.

Por fim agradeço ao meu marido, Ramon Lopes, por acreditar em mim em todos os segundos.

O futuro não é um lugar onde estamos indo, mas um lugar que estamos criando. O caminho para ele não é encontrado, mas construído e o ato de fazê-lo muda tanto o realizador quanto o destino. (Antoine Jean-Baptiste Marie Roger Foscolombe).



## RESUMO

Dos Santos, M. Q. *título*. 2020. 72f. Dissertação (Mestrado em Dinâmica dos Oceanos e da Terra) – Instituto de Geologia e Geofísica, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2020.

O uso de representação da Terra, além do mapeamento terrestre, abrange a representação dos rios e mares. Dentro da área de estudo da geomática, a hidrografia é composta principalmente dos levantamentos hidrográfico: monofeixe e multifeixe. Com os levantamentos multifeixe obtém-se a capacidade de executar um levantamento quase completo do solo marítimo. Atualmente, a Organização Hidrográfica Internacional (OHI), da qual o Brasil é um membro fundador, recomenda diretrizes na publicação “Especificações para Levantamentos Hidrográficos”, chamada de *Standard-44*. Essa dita uma série de parâmetros com a finalidade de aprimorar a segurança da navegação, sendo que um deles versa sobre diversas fontes de erros durante o processo de aquisição. Ademais, a publicação estabelece critérios mínimos a serem adotados para modelar os erros da conjunção dos aleatórios e dos residuais resultante da correção de erros sistemáticos durante a aquisição. A partir disto, são estabelecidas as incertezas, horizontal e vertical do levantamento. A componente horizontal é determinada principalmente por três fatores: o método de posicionamento utilizado; o preciso sincronismo entre o sistema de aquisição de dados batimétricos e seus sensores auxiliares; e a determinação acurada dos valores de tempo de latência, obtida durante calibragem em campo (*PatchTest*). Assim, o objeto é a análise da incerteza horizontal do levantamento multifeixe. Nesse sentido, o objetivo é analisar, com relação aos métodos de posicionamento, a incerteza horizontal utilizando o método relativo: cinemático em tempo real (*Real-Time GIPSY, RTG*), Relativo Cinemático Pós-processado (PPK) e Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) durante levantamento multifeixe. Observou-se que os três métodos atendem tanto a ordem especial quanto a ordem exclusiva no que tange a incerteza horizontal. Por fim, foram analisadas as seleções de profundidades e observado diferença entre elas. Além disso, foram apresentadas as conclusões e indicadas sugestões para futuras pesquisas.

**Palavras-chave:** Hidrografia. Incerteza Horizontal. Métodos de Posicionamento. RTG. PPK. PPP.

## ABSTRACT

Dos Santos, M. Q. title. 2020. 72f. Dissertation (Master in Ocean and Earth Dynamics) - Institute of Geology and Geophysics, Fluminense Federal University, Rio de Janeiro, 2020.

The description of the Earth, in addition to terrestrial mapping, includes the representation of rivers and seas. Within the study area of geomatics, hydrography is composed mainly of hydrographic surveys: singlebeam and multibeam. With multibeam surveys you get the ability to perform an almost complete survey of the sea floor. Currently, the International Hydrographic Organization (IHO), which Brazil is a founding member, recommends guidelines in the publication "Specifications for Hydrographic Surveys", called Standard-44. This publication dictates several parameters in order to improve navigation safety, one of which deals with several sources of errors during the acquisition process. Moreover, the publication establishes minimum criteria to be adopted to treat random and residual errors resulting from the correction of systematic errors during acquisition. From this, the horizontal and vertical uncertainties of the survey are established. The horizontal component is mainly determined by three factors: the positioning method used; the precise timing between the bathymetric data acquisition system and its auxiliary sensors; and the accurate determination of latency time values, obtained during field calibration (PatchTest). The object of the study is the analysis of the horizontal uncertainty of multibeam hydrographic survey. Its purpose is to analyze, with regard to positioning methods, horizontal uncertainty using the relative methods real-time kinematic (Real-Time GIPSY, RTG) and post-processed kinematic (PPK), and precise point positioning (PPP) during multibeam survey. It was observed that the three methods complied the special and the exclusive order with respect to horizontal uncertainty. Finally, the selections of depths were analyzed, as well as the differences between them. Moreover, the conclusion were presented and suggestions for future research.

**Keywords:** Hydrography. Horizontal Uncertainty. Positioning Methods. RTG. PPK. PPP.

## Lista de Figuras

Figura 1: Estações RBMC.....	21
Figura 2: Posicionamento por ponto.....	22
Figura 3: Posicionamento relativo.....	24
Figura 4: Precisões e métodos de posicionamento.....	27
Figura 5: Esquema do levantamento multifeixe.....	35
Figura 6: Esquema dos sensores do levantamento multifeixe.....	37
Figura 7: Movimentos da embarcação.....	38
Figura 8: Perfil frontal de um corredor de varredura com cobertura de 200% do fundo marinho.....	41
Figura 9: Não coincidência de linhas.....	41
Figura 10: Fundo confirmado em todas as linhas.....	41
Figura 11: Esquema de Metodologia.....	44
Figura 12: Em verde as linhas de verificação e em marrom as linhas de sondagem.....	47
Figura 13: Área de zoneamento do LH em preto hachurado, em azul a navegação..	48
Figura 14: Localização entre a estação base e o levantamento multifeixe.....	49
Figura 15: Desvio padrão horizontal para o PPK.....	51
Figura 16: Valores de PDOP para a trajetória da embarcação obtida com o PPK.....	52
Figura 17: Desvio padrão horizontal para as linhas de sondagem de interesse com o PPK.....	52
Figura 18: Desvio padrão horizontal para toda trajetória percorrida, PPP cinemático..	53
Figura 19: Número de satélites rastreados (NSV) e GDOP ao longo de toda a trajetória percorrida PPP cinemático.....	54
Figura 20: Desvio padrão horizontal para as linhas de sondagem de interesse com o PPP cinemático.....	55
Figura 21: Desvio padrão horizontal para as linhas de sondagem de interesse com o PPP cinemático sem qualquer período de inicialização.....	56
Figura 22: Desvio padrão horizontal para as linhas de interesse com o PPP cinemático com 20 minutos de inicialização antes das linhas de interesse.....	57
Figura 23: Sobreposição entre linhas.....	58
Figura 24: Alto fundo detectado durante o processamento batimétrico.....	59
Figura 25: Superfície shoal e superfície desvio padrão do RTG.....	60
Figura 26: Alto fundo RTG.....	61
Figura 27: Superfície shoal e superfície desvio padrão do PPK.....	62
Figura 28: Alto fundo PPK.....	63
Figura 29: Superfície shoal e superfície desvio padrão do PPP.....	64
Figura 30: Alto fundo obtido com o método PPP.....	65
Figura 31: Diferença entre os métodos na superfície.....	66
Figura 32: Valores de profundidade com os métodos RTG (vermelho), PPK (azul) e PPP (preto).....	67

## ABREVIATURAS

AJB	Águas Jurisdicionais Brasileiras
CAHO	Curso de Aperfeiçoamento de Hidrografia para Oficiais
CHM	Centro de Hidrografia da Marinha
CHS	<i>Canadian Hydrographic Service</i>
CUBE	<i>Combined Uncertainty and Bathymetry Estimator</i>
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
DOP	<i>Dilution of Precision</i>
GDOP	<i>Geometric Dilution of Precision</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HDOP	<i>Horizontal Dilution of Precision</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGS	<i>International GNSS Service</i>
IGR	<i>Rapid Predicted Orbit</i>
IGU	<i>UltraRapid Predicted Orbit</i>
IHT	Incerteza Horizontal Total
IVT	Incerteza Vertical Total
MRU	<i>Motion Reference Unit</i>
NORMAM-25	Norma da Autoridade Marítima para Levantamento Hidrográfico / 2ª Revisão
NRCan	<i>National Resources Canada</i>
NTRIP	<i>Network Transport of RTCM via Internet Protocol</i>
OHI	Organização Hidrográfica Internacional
PDOP	<i>Position Dilution of Precision</i>
PPK	<i>Post Processing Kinematic</i>
PPP	Posicionamento por Ponto Preciso
RJNI	Estação do IBGE - RBMC de Niterói
RTCM	<i>Radio Technical Commission for Maritime Service</i>
RTG	<i>Real-Time GYPSY</i>
RTK	<i>Real Time Kinematic</i>
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos sistemas GNSS
S-44	<i>Standards for Hydrographic Surveys: Special Publication N° 44 (S-44)</i>
SVP	<i>Sound Velocity Profile</i>
TDOP	<i>Time Dilution of Precision</i>
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>
VDOP	<i>Vertical Dilution of Precision</i>
VHF	<i>Very High Frequency</i>

## Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>1.1. Justificativa</b> .....	16
<b>1.2. Objetivo Geral</b> .....	17
<b>1.3. Objetivos Específicos</b> .....	17
<b>1.4. Estruturação</b> .....	18
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	19
<b>2.1. A Carta Náutica</b> .....	19
<b>2.2. Levantamentos Geodésicos</b> .....	19
2.2.1. A Rede Brasileira de Monitoramento Contínua dos Sistemas Globais de Navegação por Satélite (GNSS) (RBMC) .....	20
<b>2.3. Métodos de Posicionamento por GPS</b> .....	21
2.3.1. Posicionamento Por Ponto Simples .....	22
2.3.2. Posicionamento Ponto Preciso (PPP) .....	23
2.3.3. Posicionamento Relativo .....	24
<u>2.3.3.1. Posicionamento Relativo Estático</u> .....	25
<u>2.3.3.2. Posicionamento Relativo Cinemático ou Posicionamento Relativo Cinemático Pós-Processado (PPK – Post-Processing Kinematic - PPK)</u> .....	25
2.3.4. Posicionamento em tempo Real .....	26
<u>2.3.4.1. Método Diferencial (Differential Global Position System – DGPS)</u> .....	26
<u>2.3.4.2. Método Cinemático em Tempo Real (Real Time Kinematic – RTK)</u> .....	26
<u>2.3.4.3. Método Cinemático em Tempo Real pela Rede GIPSY (Real Time GIPSY – RTG)</u> .....	27
2.3.5. Erros de Posicionamento .....	28
<u>2.3.5.1. Erros Associados ao Satélite</u> .....	29
<u>2.3.5.2. Erros Associados à Propagação do Sinal</u> .....	30
<u>2.3.5.3. Erros Associados ao Receptor</u> .....	31
<u>2.3.5.4. Erros Associados à Estação</u> .....	31
2.3.6. Equações de Observação .....	32
2.3.7. Efemérides .....	33
<b>2.4. Levantamentos Batimétrico Multifeixe</b> .....	33
2.4.1. Conceitos Básicos .....	34
<u>2.4.1.1. Propagação da Onda Acústica</u> .....	35
<u>2.4.1.2. Maré</u> .....	36
2.4.2. Aquisição de Dados .....	37
<u>2.4.2.1. Alinhamento</u> .....	38
<u>2.4.2.2. Movimento da Embarcação</u> .....	38
<u>2.4.2.3. Calibração dos Sensores (Patch Test)</u> .....	38
2.4.3. Processamento dos Dados Batimétricos .....	39
<u>2.4.3.1. Incertezas do Levantamento Batimétrico</u> .....	39
<u>2.4.3.2. Ordem dos Levantamentos</u> .....	39
<u>2.4.3.3. Análise dos Dados Durante o Processamento</u> .....	41
<u>2.4.3.4. Ferramentas de Geoprocessamento e Geoestatística</u> .....	42
<b>2.5. Conceitos Estatísticos</b> .....	43
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	44

<b>3.1. Diagramas Esquemáticos da Metodologia</b> .....	44
<b>3.2. Etapas da Metodologia</b> .....	44
3.2.1. Aquisição .....	44
3.2.2. Processamento .....	44
3.2.3. Produtos .....	45
3.2.4. Análise dos Resultados .....	46
<b>3.3. Softwares Utilizados</b> .....	46
<b>3.4. Equipamentos Utilizados</b> .....	46
<b>3.5. Levantamento dos Dados</b> .....	46
3.5.1. Batimetria .....	47
3.5.2. Maré.....	47
3.5.3. Posicionamento.....	48
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	50
<b>4.1. Análise da Precisão do Métodos de Posicionamento</b> .....	50
4.1.1. Método de Posicionamento Relativo Cinemático Pós-Processado (PPK) .....	50
4.1.2. Método de Posicionamento por Ponto Preciso Cinemático .....	53
4.1.3. Método de Posicionamento RTG.....	57
<b>4.2. Processamento do Multifeixe</b> .....	57
4.2.1. Análise do Método RTG no Multifeixe .....	59
4.2.1.1. Superfície Shoal e Superfície Desvio Padrão do Método RTG.....	60
4.2.1.2. Seleção do Alto Fundo no Método RTG .....	61
4.2.2. Análise do Método PPK no Multifeixe .....	61
4.2.2.1. Superfície Shoal e Superfície Desvio Padrão do Método PPK .....	61
4.2.2.2. Seleção do Alto Fundo no Método PPK.....	62
4.2.3. Análise do Método PPP no Multifeixe .....	63
4.2.3.1. Superfície Shoal e Superfície Desvio Padrão do Método PPP.....	63
4.2.3.2. Seleção do Alto Fundo no Método PPP .....	63
<b>4.3. Análise da Diferença entre as Superfícies e as Seleções de Sondagem</b> .....	63
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	69
<b>6. REFERÊNCIAS</b> .....	71
<b>ANEXOS</b> .....	74

## 1. INTRODUÇÃO

O território marítimo brasileiro e suas águas interiores compõem a região conhecida como Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB). A região oceânica possui aproximadamente 5,7 milhões de Km<sup>2</sup>, e é composta pelo: Mar Territorial (até as 12 milhas náuticas); a Zona Contígua (até as 24 milhas náuticas); Zona Econômica Exclusiva (até as 200 milhas náuticas); e a Plataforma Continental. Na Zona Econômica Exclusiva, o País exerce o direito de soberania para explorar os recursos naturais e vivos e não vivos no leito e no subsolo. (MARINHA DO BRASIL, 2019).

Devido às elevadas reservas minerais existentes, como o petróleo, o País apresenta muito interesse nas atividades em alto mar. Entretanto, na região de águas rasas, ou seja, nos Portos ou Hidrovias, o emprego de esforço e pesquisa é tão importante quanto às atividades econômicas em alto mar. Percebe-se isso, ao verificar que no Brasil, mais de 90% do comércio internacional se faz em instalações portuárias (ANTAQ, 2019). Não é à toa que na última década, o Plano Nacional de Dragagem previu obras visando modernizar os canais dos portos brasileiros. Atualmente, o País conta com 235 instalações portuárias. Dentre elas destacam-se o Porto de Santos (é o maior complexo portuário da América Latina) e Manaus (que é considerado o maior porto flutuante do mundo) (ANTAQ, 2019).

A carta náutica é o documento cartográfico mandatário para a navegação. Nesse sentido, o Brasil é um membro fundador da Organização Hidrográfica Internacional. Tal Organização dita os parâmetros mínimos de precisão acerca dos levantamentos que servem de subsídio para confecção das Cartas. Cabe ao Serviço Hidrográfico Brasileiro, à Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), manter todas as Cartas Náuticas em Águas Jurisdicionais Brasileiras atualizadas, a partir de Levantamentos Hidrográficos, em qualquer massa d'água que se destine a servir à base de navegação. Assim, a DHN elabora e executa Plano Cartográfico Náutico Nacional e estabelece as Normas Técnicas para Cartografia Nacional (BRASIL,1967).

A Carta Náutica é constituída de diversas feições geográficas, entre elas os pontos de sinalização náutica, a linha de costa e a fundo submerso (mapeamento do fundo). Para que se obtenha o mapeamento desse fundo é necessária à execução de um levantamento hidrográfico, que no País, tem como norte a NORMAM-25/DHN (2ª revisão), que estabelece procedimentos de aquisição e controle desses levantamentos.

O levantamento normalmente é feito utilizando as técnicas monofeixe ou multifeixe. A

primeira é utilizada até os dias atuais, comumente em áreas onde a profundidade do casco do navio até o leito do fundo marinho, conhecida como “folga abaixo da quilha”, não traz riscos a navegação. Em áreas portuárias, onde a folga abaixo da quilha é crítica, é recomendado o levantamento multifeixe (OHI, 2008). Esse último é mais complexo e exige maior precisão no posicionamento da embarcação durante a coleta de dados.

Atualmente, a Organização Hidrográfica Internacional recomenda diretrizes na publicação “Especificações para Levantamentos Hidrográficos”, chamada de *Standard-44*. Esta dita uma série de parâmetros com a finalidade de aprimorar a segurança da navegação. Cabe ressaltar que cada país pode estabelecer critérios mais rígidos. Nesse trabalho foi considerada a ordem exclusiva, atualmente adota pelo Canadá através da norma interna *Canadian Hydrographic Service Standards for Hydrographic Surveys* (CHS, 2013), também já prevista na nova edição da S-44.

A publicação estabelece critérios mínimos a serem adotados para modelar os erros da conjunção dos aleatórios e dos residuais resultante da correção de erros sistemáticos durante a aquisição. A partir disto, é estabelecida a propagação das incertezas horizontal e vertical do levantamento. O foco deste trabalho está na avaliação da incerteza horizontal em função do método de posicionamento utilizado no levantamento multifeixe.

### **1.1. Justificativa**

A Carta Náutica contribui para a Segurança da Navegação. Os Portos são pressionados a aumentarem a profundidade dos seus canais, pois cada metro a mais dragado, que possibilita a embarcação trafegar é convertido em carga que representa milhares de reais. Assim, devido à necessidade de aproveitar ao máximo a capacidade de carga em cada embarcação, (o que diminui a folga abaixo da quilha) as técnicas de levantamento multifeixe se aprimoram continuamente. Do mesmo modo, os fatores que mantêm a Segurança da Navegação se tornam mais rigorosos. Nesse sentido, países como o Canadá adotam em suas normas internas critérios mais rígidos para levantamento hidrográficos do que os padrões estabelecidos na *Standard-44* (S-44).

Nessa publicação um dos aspectos considerados é Incerteza Total Propagada, que é composta pela Incerteza Horizontal e Incerteza Vertical. O cálculo da propagação da Incerteza Horizontal está relacionado a alguns fatores, entre esses: a qualidade do dado de posicionamento associada ao método de posicionamento utilizado; o preciso sincronismo



entre o sistema de aquisição de dados batimétricos e seus sensores auxiliares; e a determinação acurada dos valores de tempo de latência, obtida durante calibragem em campo.

A propagação horizontal é independente da incerteza vertical (HARE et al, 1995). Ambas incertezas devem atender a exigências da NORMAM-25/DHN (2ª revisão). Assim, conhecer a profundidade é tão importante quanto conhecer as coordenadas de cada profundidade.

Diversos trabalhos acadêmicos abordam a incerteza vertical, mas nota-se poucos estudos sobre a incerteza horizontal. Por isso, decidiu-se nessa dissertação, analisar a incerteza horizontal com relação ao método de posicionamento. Foi analisado ao se aplicar três métodos de posicionamento, qual seria a precisão das coordenadas planimétricas.

Dessa forma, é possível verificar se tais métodos atendem a precisão exigida pela S-44, permitindo o uso de outros métodos, que não apenas os serviços de posicionamento globais que possuem custos, durante a aquisição dos dados multifeixe.

## **1.2. Objetivo Geral**

A pesquisa tem como objetivo avaliar o impacto da qualidade de diferentes métodos de posicionamento, por satélites Posicionamento por Ponto Preciso (PPP), cinemático em rede em tempo real (*Real-Time GYPSY* - RTG) e Posicionamento Relativo Cinemático pós-processado (Post Processing Kinematic - PPK) na incerteza horizontal propagada do levantamento multifeixe, à luz dos critérios da S-44.

## **1.3. Objetivos Específicos**

a) estabelecer um procedimento de rotina de alteração de dados de posicionamento da embarcação em tempo real em levantamento multifeixe nas ferramentas utilizando o *software HIPS and SIPS*;

b) analisar a incerteza horizontal total em cada método de posicionamento de acordo com a NORMAM-25/DHN (2ª revisão);

c) analisar a sondagem em cada método utilizado verificando os desvios padrão das superfícies geradas em cada método;

d) analisar, comparativamente, as diferenças entre as superfícies geradas;

#### **1.4. Estruturação**

Esta dissertação segue a seguinte estrutura: este capítulo faz uma breve introdução sobre a importância da segurança da navegação para o País, a justificativa do trabalho diante dos contínuos aprimoramentos das técnicas, os objetivos gerais e específicos. Já no capítulo 2 será abordada a fundamentação teórica que servirá de apoio à pesquisa, e discorrerá sobre os métodos de aquisição de posicionamento por satélites, o levantamento multifeixe e o processamento desses dados. A metodologia está descrita no capítulo 3. Os resultados alcançados serão apresentados no Capítulo 4, bem como, as discussões efetuadas. Por fim o capítulo 5 versará sobre as conclusões da pesquisa.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. A Carta Náutica

A Organização Hidrográfica Internacional (OHI), criada em 1921, é uma organização intergovernamental, da qual o Brasil é um membro-fundador. Entre as atividades da OHI, ressalta-se:

Promover a utilização da hidrografia para a segurança da navegação e outros propósitos marítimos, bem como aumentar a tomada de consciência geral da importância da hidrografia” (Marinha do Brasil, 2019).

Nesse sentido, a Carta Náutica é composta por diversos elementos, como a profundidade, os sinais náuticos, as obstruções, as tensas (geomorfologia do fundo), contorno e diversos outros que sejam de importância para o navegante. Nesse trabalho o elemento central de análise será a incerteza horizontal do levantamento multifeixe em função do método de posicionamento utilizado, ou seja, a incerteza horizontal da profundidade.

### 2.2. Levantamentos Geodésicos

A Geodésia é a ciência que estuda forma e dimensões da Terra (GEMAEL; ANDREADE, 2004). Segundo DALAZOANA (2011) a possível definição atual para a Geodésia pode ser dada por “é a ciência da determinação da forma, das dimensões e do campo da gravidade externo da Terra, e das suas respectivas variações temporais, bem como de constantes físicas fundamentais associadas”. O levantamento geodésico consiste na determinação de dados para subsidiar um produto cartográfico. A Geodésia é a espinha dorsal da Cartografia (DALAZOANA,2011).

Ao longo dos anos, os métodos de aquisição de dados foram evoluindo. Atualmente, um dos métodos mais utilizados para aquisição de coordenadas da embarcação é o levantamento através do sistema de posicionamento por satélites. Diversos são os sistemas em funcionamento, como o GLONASS (*Global Navigation Satellite System*), Galileo (*European Satellite Navigation System*) e Compass/BeiDou, mas nesse trabalho será abordado apenas o NAVSTAR-GPS (*Navigation System with Time And Ranging - Global Positioning System*), que é o sistema americano (MONICO, 2007).

O Sistema é composto por três segmentos: Espacial (a constelação básica é composta por 24 satélites- o que garante que pelo menos quatro satélites sejam observados em qualquer

ponto da Terra, contudo nos dias atuais este sistema tem cerca de 32 satélites em órbita); de Controle (possibilitam principalmente o monitoramento contínuo e controle dos satélites; predição das efemérides dos satélites e do comportamento dos relógios dos satélites); e do Usuários (os usuários utilizam diversos tipos de receptores e programas de processamento) (MONICO, 2007 e KRUEGER, 2018).

Existem duas observáveis básicas para o cálculo da posição da antena do receptor; a pseudodistância e a fase da onda portadora. Segundo Krueger (2018) os sinais emitidos pelos satélites GPS podem ser as ondas portadoras L1, L2 e L5 e os códigos C/A, L2C, P, L5C, dependendo do Bloco a que pertence cada satélite.

Embora, a coordenada seja composta por três variáveis (X, Y, Z), para o sistema calcular a coordenada do usuário, são necessários, no mínimo, quatro satélites. Isso porque, o tempo do relógio do usuário é diferente do tempo do satélite, já que cada satélite dispõe de relógio atômico, causando o não sincronismo entre ele. Por isso as variáveis são (X, Y, Z e tempo) (RAMOS, 2007).

A distância, do satélite ao ponto com coordenadas de interesse, é calculada através da velocidade da propagação do sinal emitido do satélite, e o tempo, que o sinal leva para chegar até o usuário (IBGE, 2019). Entretanto, essa distância é chamada de pseudodistância, porque devido ao não sincronismo do relógio do satélite e do receptor, não se trata da distância real (MONICO, 2007).

### 2.2.1 A Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC)

A definição de RBMC:

Conjunto de estações geodésicas, equipadas com receptores GNSS de alto desempenho, que proporcionam, uma vez por dia ou em tempo real observações para a determinação de coordenadas” (IBGE, 2020).

A RBMC é constituída por uma rede de diversas estações materializadas no terreno com receptores que coletam continuamente visando a determinação das suas coordenadas com precisão (Figura 1). Desde do dia 21/12/2017, todas as observáveis rastreadas pelos receptores estão disponíveis para os usuários (IBGE, 2020).

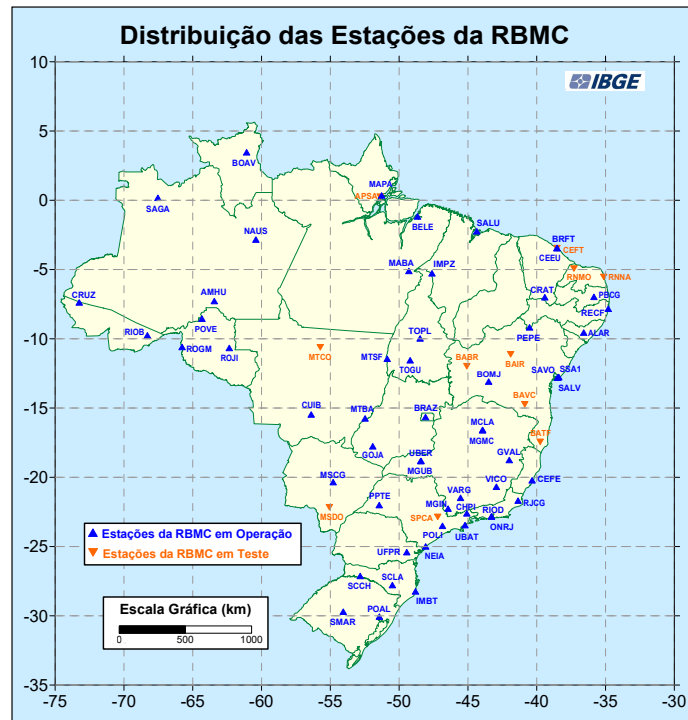


Figura 1: Estações RBMC. Fonte: IBGE, 2020.

Entre diversas finalidades, elas subsidiam posicionamentos pelo método relativo, ou seja, com uso de dois receptores, um da rede (coordenada conhecida) e outro para obter a coordenada que se deseja conhecer.

### 2.3. Métodos de Posicionamento por GPS

A fim de atingir diferentes precisões no posicionamento por satélites, diferentes métodos de posicionamento foram desenvolvidos, como por exemplo, os posicionamentos: absolutos, relativos e em tempo real por linhas de base ou em rede. Assim, o método a ser empregado, deverá ser escolhido de acordo com a precisão almejada pelo usuário. A decisão pelo método de posicionamento também poderá versar em torno da aplicação. Abaixo a tabela 01 dos métodos que serão descritos em seguida:

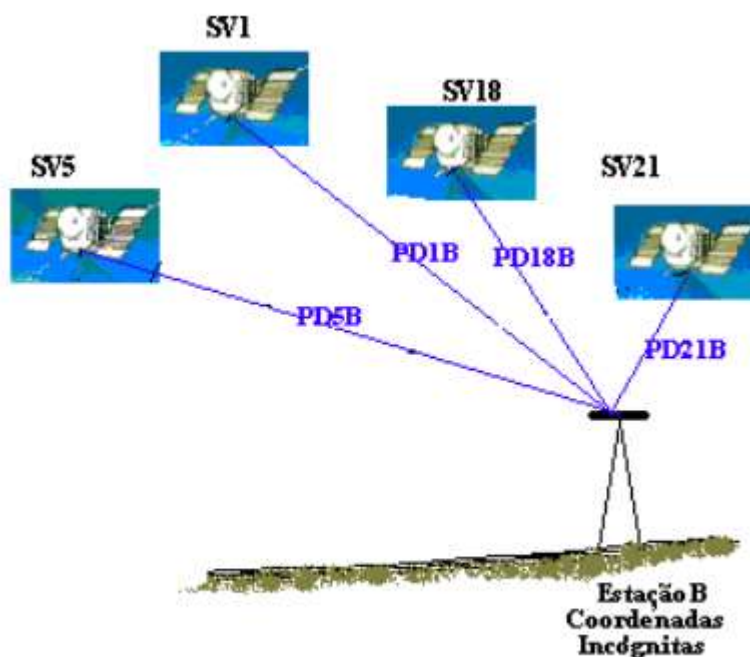
<b>Métodos de Posicionamento</b>	
Posicionamento Por Ponto Simples	
Posicionamento Por Ponto Preciso	
Posicionamento Relativo:	
	Posicionamento Relativo Estático
	Posicionamento Relativo Cinemático Pós-Processado (Post Processing Kinematic - PPK)
Método em Tempo Real:	
	Método Diferencial (Differential Global Positioning System - DGPS)
	Método Cinemático em Tempo Real (Real Time Kinematic - RTK)
	Método Cinemático em Tempo Real pela Rede Gipsy (Real Time Gipsy - RTG)

**Tabela 1 – Métodos de posicionamento**

### 2.3.1. Posicionamento Por Ponto Simples

No posicionamento Por Ponto, também denominado de Absoluto, apenas um receptor é utilizado. As coordenadas são calculadas através de efemérides transmitidas, com observação da fase e do código e no mínimo quatro satélites (Figura 2). As coordenadas da antena do receptor são obtidas isoladamente e não estão relacionadas a nenhuma outra estação de coordenadas conhecidas, mas sim apenas ao sistema de referência empregado. Por essas razões esse posicionamento não fornece precisões esperadas na maioria dos levantamentos efetuados.

A precisão horizontal do método, com SA (*Selective Availability*, a degradação do sinal intencional, foi desabilitada em 2000, mas pode ser reabilitada quando de interesse dos Estados Unidos) ativada é inferior a 100m (95% de confiança), enquanto com SA desativada é inferior a 13m (95% de confiança) (SEEBER, 2003). Essa modalidade é usada para a navegação mais elementar usando a pseudodistância.



**Figura 2: Posicionamento Por Ponto – Fonte: KRUEGER, 2018**

### 2.3.2. Posicionamento Por Ponto Preciso (PPP)

Esse método é o Posicionamento Por Ponto (seção 2.3.1) acrescido do processamento dos dados coletados por uma estação empregando efemérides precisas e correções dos relógios. Pode ser efetuado por alguns softwares ou por meio de serviços de processamento PPP on-line. Nesse último caso o usuário envia seus arquivos com as observações e o próprio serviço processa os dados. No Brasil conta-se com o IBGE-PPP (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- Posicionamento Por ponto Preciso) o qual faz uso do aplicativo de processamento GPS-PPP desenvolvido pelo NRCan (*Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canadá*). Esse serviço emprega o uso total e automático dos programas da *International GNSS Service-IGS*- e aplica diversos modelos matemáticos (por exemplo, órbitas precisas, correções dos relógios dos satélites, mapas da ionosfera, orientação da Terra) visando a minimização dos erros sistemáticos atuantes neste posicionamento. O PPP proporciona redução de custo, processamento automatizado, uso global e economia de tempo (KRUEGER, 2018).

Segundo IBGE (2017) a duração do rastreamento das observações influenciará, entre outras coisas, na precisão das coordenadas determinadas pelo processamento PPP. Também

ênfatizam que quanto menor for o tempo de rastreamento, menor será a precisão, a qual está relacionada diretamente com a solução dos inteiros das ambiguidades, dentre outros.

No caso de rastreios estáticos com períodos curtos pode-se atingir precisão métrica, visto que a solução será obtida com as observações da pseudodistância. Se for possível resolver as ambiguidades então a precisão pode ser centimétrica, neste caso, foi empregada observações da fase da onda portadora.

Para o posicionamento de uma trajetória com o PPP obtém-se um valor de coordenada a cada intervalo de observação registrado pelo receptor, bem como, desvio padrão (em metros) da latitude (SLAT) (*Standard Deviation of Latitude*), longitude (SLON) (*Standard Deviation of Longitude*) e altitude. Para maiores detalhes consultar IBGE (2017)

### 2.3.3. Posicionamento Relativo

No posicionamento relativo às coordenadas da antena de interesse são determinadas em relação a um referencial materializado de uma ou mais estações com coordenadas conhecidas. Nesse método é determinado o vetor que separa a estação de referência (A) da estação de interesse (B) e posteriormente a coordenada da estação de interesse, conforme figura 3. Em alguns casos, as estações da RBMC são utilizadas como estações de referência de coordenadas conhecidas.

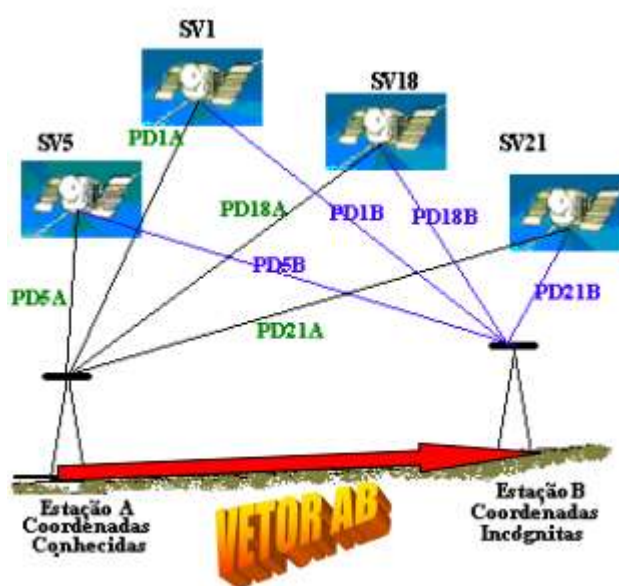


Figura 3: Posicionamento Relativo – Fonte: KRUEGER, 2018



Nesse método a solução, em geral, é obtida pelas duplas diferenças de fase, principalmente a fixa. A qual fornece a solução mais precisa para o vetor e conseqüentemente para a coordenada da estação de interesse.

A distância entre os receptores é chamada de linha de base. Quanto maior a distância dessa linha, maiores serão as diferenças com relação a atmosfera (troposfera e ionosfera) entre as estações, bem como, o erro de orbita dos satélites observados pelas estações. Esses fatores irão contribuir para diminuir a precisão da coordenada de interesse.

#### 2.3.3.1. Posicionamento Relativo Estático

No método relativo estático pelo menos dois receptores coletam dados simultaneamente na forma estática. O tempo mínimo de coleta de dados para o pós-processamento é de 20 minutos. Esse método pode utilizar tanto a pseudodistância quanto a fase da onda da portadora, ou ambas. A precisão a ser alcançada na solução do vetor formado entre as estações está diretamente ligada ao tempo de observação, podendo chegar a horas, dias ou meses, dependendo do fim a que se destina.

#### 2.3.3.2. Posicionamento Relativo Cinemático ou Posicionamento Relativo Cinemático Pós-Processado (PPK)

O método relativo cinemático se caracteriza pelo fato do receptor incumbido da coleta dos dados estar em pleno movimento, determinando assim as coordenadas de diversos pontos formando a trajetória descrita (SEEBER, 2003) no pós-processamento dos dados. Desta forma, um receptor permanece sobre um marco de coordenadas conhecidas e o outro receptor deslocando-se sobre as feições de interesse. Este método necessita que uma inicialização seja efetuada, antes de se proceder a descrição da trajetória, quando se almeja obter precisão inferior ao decímetro.

Segundo o autor Wells, D. (2004), também pode ser nomeado como Posicionamento Cinemático Pós-Processado, *Post-Processing Kinematic (PPK)*. Segundo Eddy (2011) as soluções podem ser obtidas com um alto nível de precisão com as ambigüidades resolvidas e linha de base curta. No pós-processamento pode-se usar as efemérides precisas para alcançar melhor acurácia principalmente para linhas de base médias.

#### 2.3.4. Método em tempo real

##### 2.3.4.1. Método Diferencial (*Differential Global Positioning System - DGPS*)

Segundo Krueger (1996) uma estação móvel é posicionada através das correções diferenciais geradas em uma estação de referência. Essas correções são enviadas em tempo real dentro de um formato apropriado e por meio de um sistema de comunicação (rádio de transmissão, linha telefônica, ou satélites de comunicação). O formato empregado é definido pela *Radio Technical Committee for Maritime Service* (RTCM). Estas correções podem ser das posições ou das pseudodistâncias. Segundo a autora, utilizam-se as correções das pseudodistâncias por serem mais flexíveis, havendo necessidade apenas da constelação de satélites GPS da estação móvel ser uma sub-constelação de satélites GPS da estação de referência.

O termo DGPS leva a compreensão de que as correções diferenciais são calculadas empregando os códigos ou códigos suavizados. Quanto mais distante os receptores, a qualidade do posicionamento degrada progressivamente, devido à validação das correções diferenciais ficarem menos efetiva (BRIONES, 1999).

##### 2.3.4.2. Método Cinemático em Tempo Real (*Real Time Kinematic - RTK*)

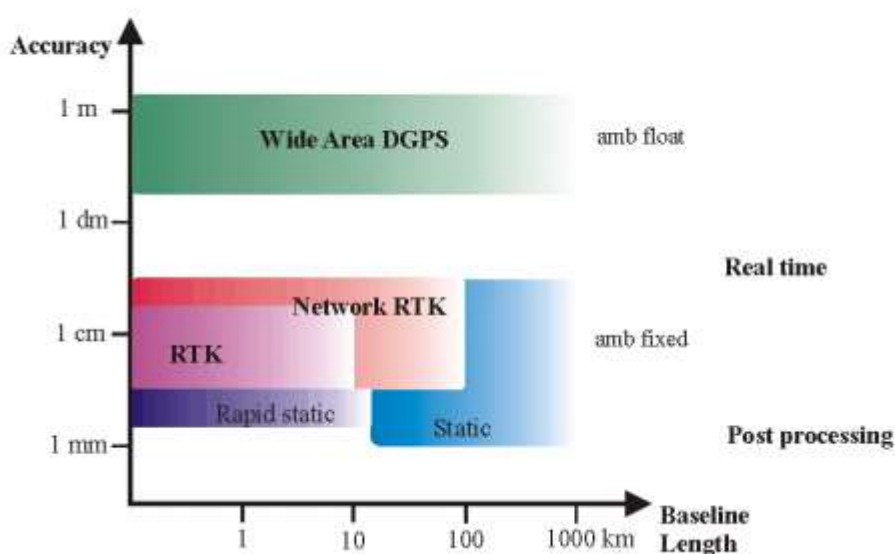
O método de posicionamento RTK foi desenvolvido para melhorar a precisão do método diferencial baseado em observações do código ou código suavizado pela onda portadora (DGPS). Na técnica RTK o posicionamento diferencial é obtido a partir de medidas brutas de fase da onda portadora ou correções diferenciais dessa, geradas e transmitidas por uma estação de referência (RAMOS, 2007).

No geral o meio de comunicação empregado no RTK é um rádio VHF (*Very High Frequency*) /UHF (*Ultra High Frequency*) para transmitir as correções diferenciais entre as estações. A estação móvel aplica estas correções e busca a resolução das ambiguidades. Existem dois tipos de solução a *Fixed Float*. A *Float* é quando não é possível, obter uma estimativa do número inteiro de ciclos. Já a *Fixed* é a solução desse número inteiro de ambiguidades (MONICO, 2007).

Segundo Willgalis et al (2003) a precisão obtida está diretamente ligada ao comprimento da linha de base formada, como ocorrida no DGPS. Na figura 4 pode-se observar que a solução RTK proporciona precisões inferiores ao decímetro para linha de base até 10

km. Para linhas de base maiores é necessário empregar-se uma solução em rede para se atingir este nível de precisão.

Nos dias atuais pode-se obter correções diferenciais pelo protocolo da internet (por *Networked Transport of RTCM via Internet Protocol - NTRIP*) provenientes das estações de referência da RBMC, contudo cabe comentar que apenas uma estação pode ser ativada por vez e que a precisão esperada para o RTK só é alcançada para linhas de base curta.



**Figura 4: Precisões e métodos de Posicionamento - Fonte: Willgaliset al (2003)**

#### 2.3.4.3. Método Cinemático em Tempo Real pela Rede GIPSY (Real Time GIPSY - RTG)

O RTG, também conhecido como GPS Global Corrigido (GcGPS), é um método de posicionamento em tempo real com diversas estações de referência operando e formando uma rede. A rede deste sistema, chamada, C-Nav GPS é formada por 53 estações de referências ao redor da Terra (RAMOS, 2007). As correções são transmitidas, via link de comunicações terrestres, aos centros de controle dos satélites geostacionários para retransmissão aos usuários do sistema. Para ter acesso a correção é necessária pagar pelo serviço do envio da correção.

O método RTG provê correção diferencial global GPS para fim de posicionamento em tempo real com acurácias compatíveis com as obtidas em métodos pós-processados

(NORDEN, 2005). O RTG modela com precisão vários parâmetros e fontes de erros dos satélites GPS, através de dados recebidos em tempo real, via Internet, de uma rede global de estações de referência, gerando correções para as órbitas e relógios de cada satélite GPS ativo, que retransmite para o usuário através da banda L dos satélites de comunicação INMARSAT. As mensagens são disponibilizadas via mensagens NMEA (RAMOS, 2007).

Segundo Leandro et al (2008) as precisões horizontais e verticais são superiores a 10 cm, ou seja, é da ordem de centímetros a decímetros e oferece dados em tempo real.

Segundo Moreira (2016) este sistema possui correções de refração atmosférica e de órbita para cada satélite ativo das constelações GPS e GLONASS (constelação russa). O autor, aplicando os métodos RTG e NTRIP no levantamento de linhas de costa verificou que o RTG apresentou a mais alta precisão planimétrica média dos levantamentos cinemáticos, com 100% das soluções Diferencial GPS SPS, com valores de 0,0608 e 0,1947 m.

#### 2.3.5. Erros de Posicionamento

As observações envolvem erros sistemáticos, aleatórios e grosseiros. Os erros sistemáticos podem ser parametrizados e reduzidos (MONICO, 2007). Segue abaixo a tabela com as fontes e os erros envolvidos no GNSS:

<b>Fontes</b>	<b>Erros</b>
Satélite	Erro da órbita
	Erro do relógio
	Relatividade
	Atraso entre as duas portadoras no <i>hardware</i> do satélite
	Centro de fase da antena do satélite
	Fase <i>wind-up</i>
Propagação do sinal	Refração troposférica
	Refração ionosférica
	Perdas de ciclos
	Multicaminhamento ou sinais refletidos
	Rotação da Terra
Receptor/Antena	Erro do relógio
	Erro entre os canais
	Centro de fase da antena do receptor
	Atraso entre as duas portadoras no hardware do receptor
	Fase <i>wind-up</i>
Estação (incluem efeitos geodinâmicos)	Erro nas coordenadas
	Multicaminhamento ou sinais refletidos
	Marés terrestres
	Movimento dos polos
	Carga oceânica
	Pressão atmosférica

**Tabela 2: Fontes de Erros GPS (adaptada de MONICO, 2007)**

### 2.3.5.1. Erros Associados ao Satélite

O IGS (*International GNSS Service*) é o Serviço GNSS Internacional, que entre seus produtos, fornece as efemérides precisas. As instituições que fazem parte do IGS estimam as órbitas e o tempo dos satélites, que o IGS combina (calcula uma média ponderada) e disponibiliza. Os erros de órbita podem ser minimizados com a inclusão das efemérides no pós-processamento (MONICO, 2007). Além disso, no processamento relativo, tal erro é corrigido via efemérides transmitidas para linhas de base curta:

Uma precisão de 1 cm sobre uma linha de base de 10Km, implicará em um erro na órbita menor que 25 metros, o que é possível de ser obtido através das próprias efemérides transmitidas. ” (RAMOS, 2007)

Outro erro importante associado ao satélite é o erro de relógio. Os satélites possuem relógios atômicos com mais estabilidade que os relógios dos receptores. Uma diferença de

tempo de  $1\mu\text{s}$ , pode acarretar um erro de 300 m na pseudodistância (RAMOS, 2007). A diferença do tempo entre ele é componente da mensagem de navegação. Assim, os métodos relativos possibilitam eliminar os efeitos causados pela relatividade, e também o erro do relógio através de um modelo matemático que cancela a diferença de tempo entre o relógio do receptor e o relógio do satélite (MONICO, 2007). O atraso das duas portadoras através da eletrônica do equipamento (*hardware*) do satélite e dos receptores é devido aos caminhos diferentes que as portadoras L1 e L2 percorrem. (MONICO, 2007).

O erro de *wind-up* ocorre devido a orientação da antena e pode acarretar em um erro de meio comprimento de onda. Para levantamentos relativos estáticos de base curta, ele não afeta a solução. Para levantamentos de PPP esse efeito não pode ser desprezado (MONICO, 2007).

#### 2.3.5.2. Erros Associados à Propagação do Sinal

O erro de refração troposférica e ionosférica depende do ângulo de elevação do satélite, da densidade da atmosfera, dos parâmetros meteorológicos, temperatura, pressão e umidade relativa. Quanto menor o ângulo de elevação, maior a refração troposférica. O erro da refração ionosférica depende da quantidade total de elétrons livres presente ao longo do caminho. Isso depende da estação do ano, da hora do dia, radiação solar, e do campo geomagnético. Diversos modelos são desenvolvidos para parametrizar o atraso ionosférico. As mensagens de navegação são acompanhadas pelo modelo global da ionosfera (*Klobuchar*), eliminando 50% desses erros. Existem também os modelos fornecidos pelo IGS e o modelo de referência internacional. Os erros de primeira ordem da refração ionosférica podem ser eliminados a partir da combinação de observações de duas frequências de receptores de dupla frequência (MONICO, 2007).

Outro erro associado à propagação do sinal é o erro de Rotação da Terra, quando o sinal chega ao receptor, o receptor já não está na coordenada no momento da emissão do satélite. Esse erro deve ser corrigido rotacionando as coordenadas do satélite no valor equivalente ao produto do tempo de propagação pela velocidade de rotação da Terra (MONICO, 2007).

### 2.3.5.3. Erros Associados ao Receptor

As perdas de ciclo acontecem quando há uma falha temporária no rastreamento do sinal do receptor, assim, se perde o número inteiros de ciclos na fase da onda portadora (MENDONÇA, 2019). Alguns algoritmos são capazes de detectar a perda de ciclo (RAMOS, 2007). O Multicaminhamento normalmente ocorre por obstruções (árvores e construções) nas proximidades do receptor. O sinal reflete nesses objetos e não realiza o caminho direto ao receptor. O ideal é procurar áreas que não contenham essas obstruções e escolher antenas capazes de reduzir essa ocorrência.

O erro devido à variação do centro de fase da antena é devido ao centro da antena não ser o centro matemático estabelecido. Tais erros do centro de fase da antena do satélite também podem ser corrigidos pelas efemérides precisas. (MONICO, 2007). Esses erros são devido aos *hardwares* do receptor e da antena. Ademais, esse centro não é estável. O IGS disponibiliza correções para diversas antenas.

O erro entre os canais é o erro nos receptores que tem múltiplos canais e pode ser corrigido no início de cada levantamento.

### 2.3.5.4. Erros Associados à Estação

O erro das coordenadas das estações será propagado para qualquer ponto medido a partir dele. Inclusive no método relativo, onde é estabelecido o  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$  entre as estações. Assim, um erro na coordenada da estação de referência irá se propagar para a estação móvel (MONICO, 2007).

A maioria dos erros associados a estação tem origem na movimentação da localização da estação, em função das marés terrestres (em geral suaves e desprezíveis), o movimento dos polos, a carga oceânica e a carga atmosférica (esses três últimos considerados apenas para levantamento de alta precisão).

### 2.3.6. Equações de Observação

Diante do conhecimento dos erros é possível obter a formulação para cálculo das observáveis. O cálculo da pseudodistância é feito através da seguinte fórmula (MONICO, 2007):

$$PD_R^S = \rho_R^S + C(dt_r - dt^s) + I_r^s + T_s^r + dm_s^r + \varepsilon_{PD_r}^s$$

Onde:

$PD_R^S$  - pseudodistância do código formada entre a estação e o satélite;

$\rho_R^S$  - distância geométrica formada entre a estação e o satélite;

$C(dt_r - dt^s)$  - erro do relógio, ou seja, velocidade da luz multiplicada pela diferença do erro do relógio do receptor no instante do recebimento do código; e o erro do relógio do satélite no instante da transmissão;

$I_r^s$  - erro da refração ionosférica;

$T_s^r$  - erro da refração troposférica;

$dm_s^r$  - erro devido ao efeito de multicaminho (pseudodistância); e

$\varepsilon_{PD_r}^s$  - ruído da medida da pseudodistância.

O erro, que depende da distância entre a estação base e a estação a ser monitorada, aumenta quanto maior a linha de base (KRUEGER, 2018). O cálculo através da fase da onda portadora segue a seguinte fórmula (MONICO, 2007):

$$\phi_s^r(t) = \rho_R^S + C(dt_r - dt^s) + \lambda N_r^s - I_r^s + T_s^r + dm_s^r + \varepsilon \phi_r^s$$

Onde:

$\phi_s^r(t)$  - fase de batimento da portadora (em metros);

$N_r^s$  - ambiguidades;

$\lambda$  - comprimento da onda portadora

$dm_s^r$  - erro devido ao efeito de multicaminho (fase de batimento da portadora);

$\varepsilon \phi_r^s$  - erro da fase da onda portadora.

Outro fator que impacta a precisão do levantamento é a geometria da constelação dos satélites no momento da observação, parâmetro chamado de diluição da precisão (DOP). O PDOP é utilizado para representar a diluição tridimensional (Monico, 2007). Esse pode ser considerado como o inverso do volume de um tetraedro formado pelas posições do usuário e



dos quatro satélites. A geometria da diluição da precisão (GDOP) altera conforme os satélites se movem em relação ao zênite. O GDOP é constituído pelo o HDOP (horizontal), o VDOP (vertical), e o TDOP (relacionado ao tempo). O GDOP é calculado com a seguinte formula a seguir (Monico, 2007):

$$GDOP = \sqrt{(PDOP)^2 + (TDOP)^2}$$

Ressalta-se que quanto menor o valor dos DOPs, melhor a geometria, portanto, maior a precisão (Monico, 2007).

#### 2.3.7. Efemérides

Para cálculo da posição do receptor é necessário o conhecimento da posição dos satélites, tais informações estão contidas nas efemérides transmitidas. Entretanto, para um levantamento mais acurado é possível utilizar as efemérides precisas (órbitas precisas), produzidas pelo IGS.

Existem três produtos: IGU, IGR e IGS. A IGU, também chamada de efemérides ultrarrápida, é disponibilizada em tempo real, ou com a inclusão das observáveis disponibilizada três horas depois. A IGR é disponibilizada após 17 horas. Por fim, a IGS é um produto disponível 13 dias após a aquisição dos dados e são consideradas as efemérides finais. Esse foi o produto utilizado no processamento. Na tabela 3 são apresentadas as efemérides disponíveis, verifica-se que as efemérides ultrarrápidas observadas possuem precisão melhor do que a obtida com as efemérides ultrarrápidas preditas. Em ambos os casos as precisões são melhores do que as obtidas com as efemérides transmitidas.

Tipos de Efemérides	Precisão	Latência	Atualização	Intervalo de amostra
	Órbita/Relógio			
Transmitidas	~ 160cm/ ~7 ns	Tempo real	---	Diário
Ultra-rápida (parte predita) (IGU)	~ 10 cm/ ~5 ns	Tempo real	4 vezes ao dia	15 min / 15 min
Ultra-rápida (parte observada) (IGU)	<5cm / ~ 0,2 ns	3 horas	4 vezes ao dia	15 min / 15 min
Rápida (IGR)	<5 cm / 0,1 ns	17 horas	diariamente	15 min / 5 min
Final	< 5 cm / < 0,1 ns	~ 13 dias	semanalmente	15 min / 5 min

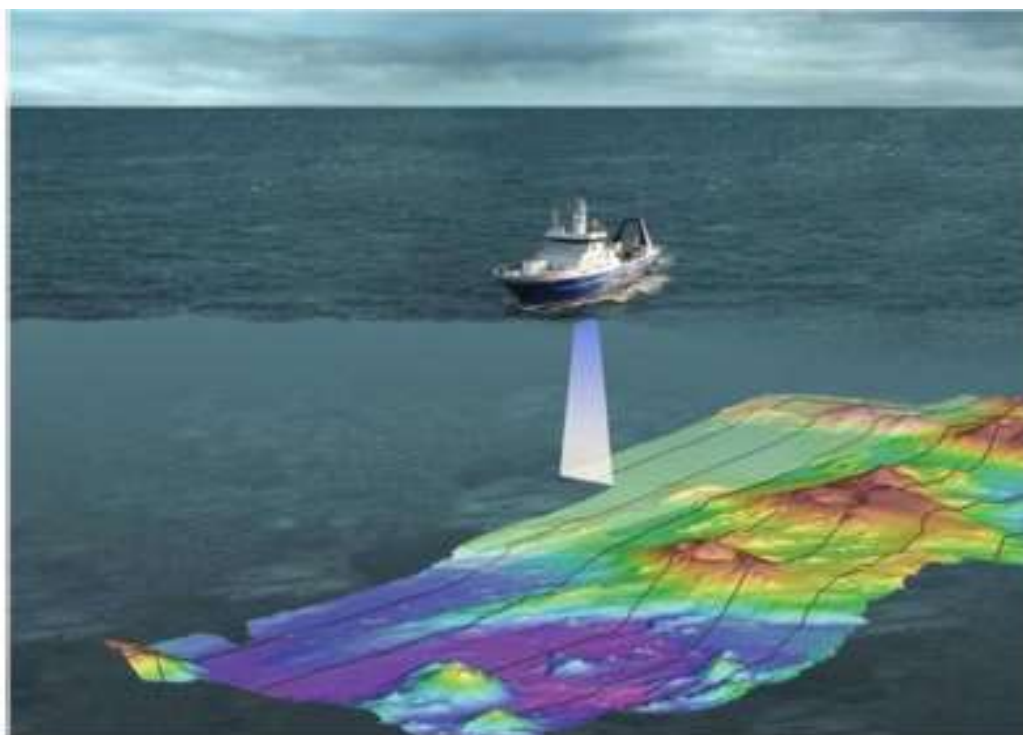
**Tabela 3– Produtos disponíveis no IGS**

Fonte: Adaptado de IGS (<http://igsb.jpl.nasa.gov/components/prods.html>)

## 2.4. Levantamentos Batimétrico Multifeixe

### 2.4.1. Conceitos Básicos

Os levantamentos hidrográficos multifeixe baseiam-se na transmissão de um pulso acústico em forma de leque na direção do fundo. Existem dois transdutores separados, um para transmissão (orientado longitudinalmente) e outro para recepção (orientado transversalmente) do feixe acústico, com projetor e um hidrofone (Figura 5). A partir do perfil da velocidade do som nas camadas d'água, a partir de um raio acústico é possível determinar a profundidade e a distância transversal entre o transdutor e o centro da área ensonificada. Por isso, é fundamental o conhecimento das características da água, da propagação da onda e geometria do feixe (OHI, 2008).



**Figura 5: Esquema do Levantamento Multifeixe (Fonte: aula de processamento batimétrico, UFF 2019)**

#### 2.4.1.1. Propagação da Onda Acústica

De acordo com OHI, 2008, as ondas acústicas são definidas em:

Variações sutis do campo de pressão na água, as partículas de água se movem longitudinalmente, para frente e para trás na direção da propagação da onda, produzindo regiões adjacentes de compressão e expansão

Conhecer em detalhe as propriedades físicas, a velocidade do som e a geometria do feixe é essencial no levantamento batimétrico. Dentre as propriedades físicas a dispersão (pulso se dispersa conforme se afasta da fonte), a absorção (quanto maior a frequência, maior a absorção), a reflexão (quando o pulso não atravessa o obstáculo – no caso, porque encontrou o fundo ou obstrução) e a refração (quando a direção de propagação varia - ou pela mudança de meio, ou pela mudança de velocidade no mesmo meio) fundamentam o entendimento do que acontece na coluna d'água, quando o pulso acústico é propagado (MIGUENS, 2000; OHI, 2005).

O cálculo da profundidade se baseia a partir da velocidade do som. Por isso, o preciso conhecimento dessa velocidade é vital. Como o feixe atravessa a coluna d'água é necessário o

conhecimento do perfil da velocidade do som na água SVP (*Sound Velocity Profile*). No mar a velocidade do som varia de acordo com a salinidade, a temperatura, e a pressão.

Além disso, existem dois fundamentos que afetam a geometria do feixe: frequência (define o alcance do pulso e penetração nos sedimentos); e a abertura do feixe (ângulo de abertura) (OHI, 2008).

Todos esses fatores devem ser considerados no levantamento, para decidir qual melhor frequência utilizar de acordo com a profundidade do local, acompanhar o perfil da velocidade do som na coluna d'água (antes e durante todo o processo de aquisição de sondagens) e definir o ângulo de abertura do feixe.

#### 2.4.1.2. Maré

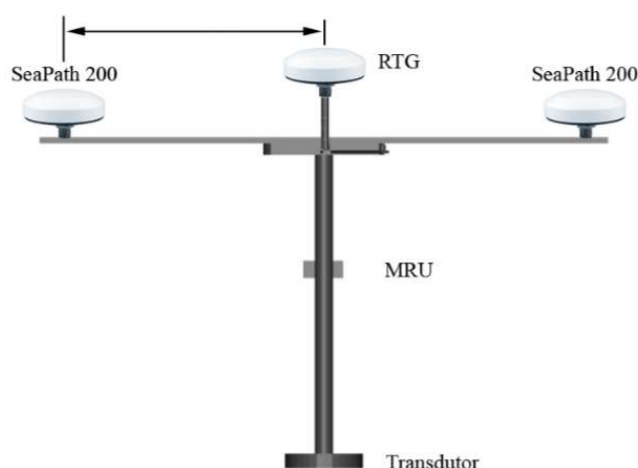
O estudo do sistema de referência vertical é um fator muito importante no levantamento batimétrico. Nas Cartas Náuticas é adotado o sistema local. Se no local existirem estações maregráficas, elas devem ser utilizadas para reduzir a sondagem do referencial local. Caso não existam, é preciso materializar uma estação maregráfica com observações de no mínimo 32 dias. Vale ressaltar, também, que dependendo da área é preciso mais de uma estação para representar a curva de maré na região (SILVA et al., 2014). Não se trata apenas da extensão da área do levantamento, mas das condições locais. Por exemplo, se o mesmo levantamento abrange tanto a entrada de uma baía, quanto uma área mais oceânica, a maré terá comportamentos diferentes em cada setor. Por isso, o estudo de zoneamento preliminar da maré deve ser realizado (SILVA et al., 2014).

A maré é um fator de risco no levantamento batimétrico, pois pode inserir erros que desloquem todo fundo para cima ou para baixo. Tal erro só é possível detectar em campo. Por isso, antes de todo levantamento deve ser realizado o reconhecimento do local para verificar as particularidade e complexidades de cada região. Planejamento é fundamental para qualidade do levantamento

#### 2.4.2. Aquisição de Dados

No levantamento multifeixe são utilizados cinco principais equipamentos: o transdutor (emite e recebe o impulso acústico), a MRU (*Motion Reference Unit* - sensor inercial – é um sensor de movimento, que mede a atitude da embarcação), o sensor de velocidade do som na altura do transdutor (calcula a velocidade do som na saída do pulso acústico - superfície

d'água), o perfilador de velocidade do som (mede a velocidade nas camadas d'água), e o posicionador relativo (na imagem abaixo o RTG – *Seapath*). O posicionador fica orientado longitudinalmente à proa, enquanto as duas antenas têm o objetivo de medir a rotação da embarcação ao redor do eixo vertical, o *heading/yaw*, conforme figura 6(FERREIRA, 2013).



**Figura 6: Esquema dos sensores do Levantamento Multifixe (Fonte: Souza, 2011)**

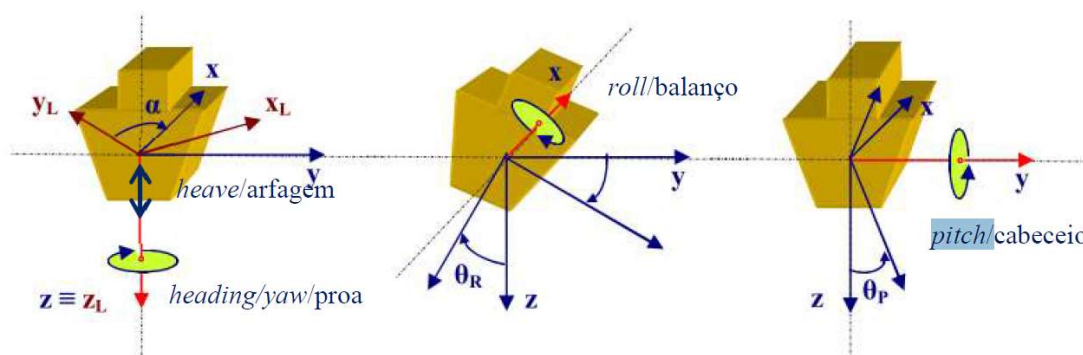
#### 2.4.2.1. Alinhamento

Para garantir a qualidade do levantamento é importante fazer o alinhamento dos sistemas, tanto o alinhamento absoluto quanto o relativo. O alinhamento absoluto concerne à disposição dos sistemas na embarcação. O ideal é que os equipamentos sejam instalados no centro de gravidade da embarcação. Algumas vezes isso não é possível, então é necessário medir as distâncias entre os equipamentos, o chamado *offset*. Essa medição é essencial para controlar a acurácia dos dados. O alinhamento relativo é referente à latência de tempo dos três sistemas de posicionamento: o satelital, o acústico e o inercial (MRU) (RAMOS, 2007). Para maiores informações consultar Nardez et al. (2016).

#### 2.4.2.2. Movimento da Embarcação

Existem ângulos importantes referente ao movimento da embarcação, três referentes à rotação: *roll* (rotação com o eixo longitudinal da embarcação); *pitch* (rotação do eixo transversal da embarcação); *yaw/heading* (rotação sobre eixo vertical da embarcação). Esses representam a atitude da embarcação. Outro movimento que afeta o levantamento é o de translação, o *heave* (a translação do eixo vertical). O *heave*, o *pitch* e o *roll* são medidos pelos

sensores inerciais; e o *yaw* pelas duas antenas (OHI, 2008), conforme figura 7.



**Figura 7: Movimentos da embarcação (Fonte: OHI, 2008).**

Outro fator relevante durante o levantamento é a velocidade da embarcação, alterações bruscas de velocidade e/ou direção podem impactar na qualidade do levantamento. Por isso, se deve manter a embarcação em velocidade constante. A experiência do timoneiro é essencial para manter a qualidade dos dados. Durante o levantamento devem ser adquiridos dados da chamada linha de verificação. É uma linha que corre ortogonalmente na direção do levantamento. Tais linhas possibilitam a detecção de erros grosseiros ou sistemáticos, quando comparadas as linhas de sondagem (NORMAM-25, 2017).

#### 2.4.2.3. Calibração dos Sensores (*PatchTest*)

Antes de realizar o levantamento, é preciso fazer o chamado *PatchTest* (calibração dos sensores). Esse processo é efetuado na embarcação em campo. Durante esse processo, são medidos os desvios do *roll*, *pitch*, *yaw* do transdutor e o tempo de latência dos sistemas. O *PatchTest* deve ser realizado após instalação do sistema ou após grandes períodos de inoperabilidade da embarcação ou ainda devido à alteração no posicionamento dos sensores (MRU, transdutor, posicionador) (OHI, 2008).

### 2.4.3. Processamento dos Dados Batimétricos

#### 2.4.3.1. Incertezas do Levantamento Batimétrico

Para que o levantamento batimétrico possa ser utilizado para atualização da Carta Náutica, seguindo os critérios estabelecidos na *S-44* e NORMAM-25, são necessárias diversas

etapas e diversos procedimentos técnicos para garantir que a incerteza total propagada esteja conforme as normas. Algumas fontes de incerteza contribuem verticalmente e outras horizontalmente (HARE et al, 2011).

As fontes de incerteza individual da profundidade (vertical) reduzida são (FERREIRA et al, 2016)

1) Incerteza devido à medição da velocidade de propagação do som, na saída do transdutor e na coluna d'água. Velocidade do som varia de acordo com salinidade, temperatura e densidade.

2) Incerteza devido à morfologia e ao tipo de fundo.

3) Incerteza devido aos movimentos dinâmicos da embarcação.

4) Incerteza devido à disposição dos equipamentos a bordo.

5) Incerteza devido à largura do feixe acústico emitido pelo transdutor.

6) Incerteza devido à profundidade de imersão do transdutor.

As incertezas individuais associadas com a posição horizontal de um feixe incluem (OHI, 2008):

1) Método de Posicionamento utilizado.

2) O preciso sincronismo entre o sistema de aquisição de dados batimétricos e seus sensores auxiliares.

3) A determinação acurada dos valores de tempo de latência, obtida durante a calibragem dos equipamentos em campo.

#### 2.4.3.2. Ordem dos Levantamentos

Os levantamentos são classificados em ordens, visando a produção de produtos navegacionais para o tráfego seguro das embarcações. Os requisitos variam de acordo com as profundidades e os tipos de navegação. Para cada ordem é definida a incerteza (horizontal e vertical) que o levantamento deve alcançar. A Incerteza Horizontal Total (IHT) está no plano horizontal, ou seja, latitude e longitude. A Incerteza Vertical Total (IVT) é a incerteza na dimensão vertical (profundidade). Existem quatro ordens de levantamentos adotadas para diferentes necessidade de navegação (OHI, 2008). Este trabalho abordará a ordem especial (Tabela 04) e exclusiva (Tabela 05) indicando os valores máximos permitidos. Abaixo a equação da incerteza vertical máxima permitida.

$$\pm \sqrt{a^2 + (b \times d)^2}$$

Onde,

‘*a*’ representa a parcela da incerteza que não varia de acordo com a profundidade.

‘*b*’ é um coeficiente que representa aquela parcela da incerteza que varia de acordo com a profundidade.

‘*d*’ é a profundidade.

Descrições da Área:	Áreas onde a altura livre sob a quilha é de importância crítica
IHT máxima permitida. Nível de confiança 95%:	2 m
IVT máxima permitida. Nível de confiança 95%:	$a = 0,25\text{m}$ $b = 0,0075\text{m}$

**Tabela 4: incertezas Horizontais e Verticais totais (IHT e IVT) da Ordem Especial.**

Alguns países adotam a Ordem Exclusiva:

Descrições da Área:	Áreas onde a altura livre sob a quilha é de importância crítica
IHT máxima permitida. Nível de confiança 95%:	1 m
IVT máxima permitida. Nível de confiança 95%:	$a = 0,15\text{m}$ $b = 0,0075\text{m}$

**Tabela 5: Incerteza Vertical e Horizontal total (IHT e IVT) da Ordem Exclusiva**

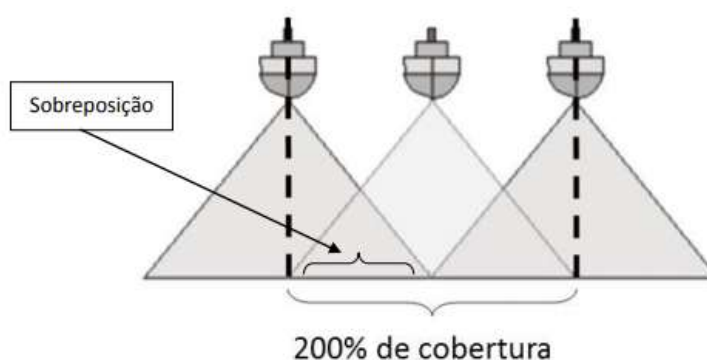
Atendendo a necessidade das autoridades marítimas, os Serviços Hidrográficos tendem a adotar a ordem exclusiva, visando atender a capacidade máxima das embarcações para o transporte de carga. Embora a ordem exclusiva ainda não esteja nem na *S-44*, nem na NORMAM-25, ela já está prevista para próxima revisão da *S-44*, e assim deverá ser incluída na norma brasileira.

#### 2.4.3.3. Análise dos Dados Durante o Processamento

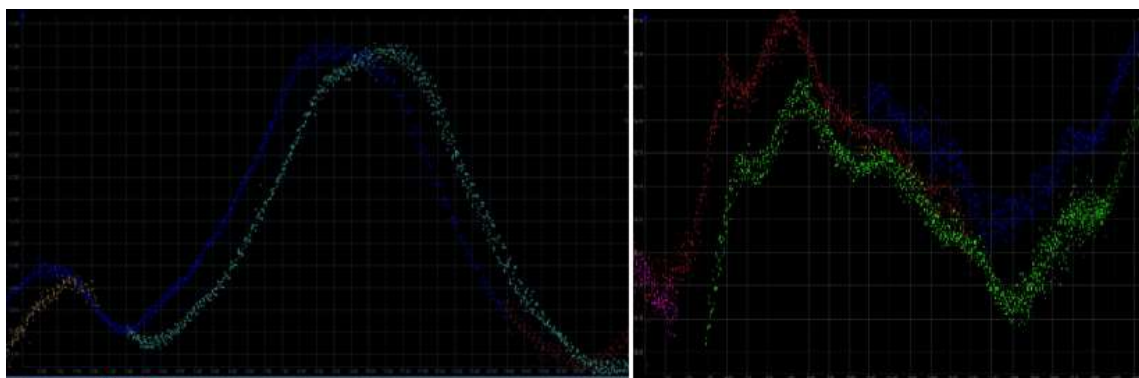
No processamento de dados são carregados os dados de profundidade e de posicionamento. Em seguida, são carregados os dados de maré para as devidas reduções. Depois são analisados o *roll*, *pitch*, *yaw*, *heave* e a *navegação*, cada um em separado. Se essas componentes estiverem satisfatórias de acordo com as recomendações das normas, se inicia o processamento da batimetria. Na fase inicial do processamento são analisados os dados que caracterizam os dados espúrios.



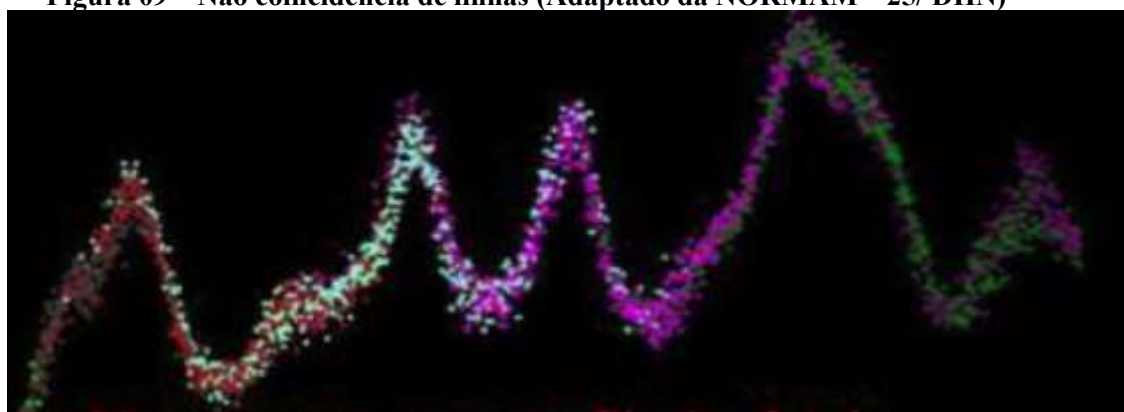
Durante a aquisição dos dados as linhas de sondagens devem ter sobreposição uma com a outra, pois para atender os padrões da NORMAM-25/DHN (2ª revisão), os levantamentos devem ter 200% de recobrimento, isto é, deve haver uma sobreposição entre duas passagens (perfis batimétricos), onde o valor da profundidade irá coincidir. O descasamento das linhas adjacentes tem origem em algum erro durante a aquisição e/ou processamento, conforme figura 9. Por isso durante o processamento deve ser observada a coincidência das linhas conforme a figura 8 (PEREIRA, 2016).



**Figura 08 – Perfil frontal de um corredor de varredura com cobertura de 200% do fundo marinho. (Adaptado da NORMAM – 25/ DHN)**



**Figura 09 – Não coincidência de linhas (Adaptado da NORMAM – 25/ DHN)**



**Figura 10 – Fundo confirmado em todas as linhas (Adaptado da NORMAM – 25/ DHN)**

Portanto, ao ter na mesma coordenada dois valores de profundidades, não se pode concluir qual a posição correta do fundo. Para utilizar um levantamento para Carta Náutica não pode haver dúvidas. O ideal é que seja feito um pré-processamento em campo durante a aquisição. Caso seja percebido um erro, ele pode ser corrigido antes da desmobilização em campo.

#### 2.4.3.4. Ferramentas de Geoprocessamento e Geoestatística

No programa *HIPS and SIPS* é possível utilizar diversas ferramentas de geoprocessamento. A partir da nuvem de pontos, o usuário estabelece o tamanho de cada célula e escolhe um método geoestatístico para gerar uma superfície cuja profundidade estabelecida da célula obtém um valor de acordo com a ferramenta estatística escolhida.

Existem quatro algoritmos no utilizados no programa.

##### **a) *Swath Angle***

Esse algoritmo se baseia na geometria do sensor em três fatores. O primeiro é a variação do raio de influência, ou seja, quanto mais distante do feixe central, menor a acurácia da medição. O segundo é distância do ponto (que é a profundidade mais rasa da região). E por último o *grazing angle*, diminuindo assim a influência dos feixes externos. Por isso, nesse algoritmo o resultado tem como maior peso a profundidade dos feixes centrais (CARIS, 2014).

##### **b) *Shoalest True Position***

A profundidade da célula será a mais rasa dentro da área escolhida.

##### **c) *Uncertainty***

Esse algoritmo se baseia na incerteza vertical e horizontal propagada. É escolhida a ordem requerida no levantamento. Quanto maior precisão requerida, menor será o raio de ação.

##### **d) *CUBE (Combined Uncertainty and Bathymetry Estimator)***

O algoritmo trabalha em torno do elemento chamado nó, que é um ponto local onde, ao final, só pode existir um valor de profundidade. Durante a aquisição em cada localidade foram adquiridos diversos valores de profundidade. A primeira profundidade do nó a ser computada é calculada e atribuída a ela uma incerteza. Esse valor de profundidade definido é considerado a primeira hipótese. Quando se computa um novo valor de profundidade naquele mesmo nó, é verificado se este está de acordo com a hipótese (é preciso estar dentro do

intervalo de quatro vezes o valor do desvio padrão da hipótese). Se estiver dentro da hipótese ela é agregada e recalculada. Se não estiver dentro da primeira hipótese, uma nova hipótese é criada para o mesmo ponto, ou seja, o ponto passa a ter mais de uma hipótese. Enquanto o algoritmo é processado, a incerteza de cada hipótese é calculada individualmente. Quanto mais valores reafirmarem a mesma hipótese, menor será a incerteza dessa hipótese (CALDER; MAYER, 2003).

Alguns pontos vão terminar com mais de uma hipótese, que são escolhidas a partir de três métodos: densidade (a que tiver mais densidades computadas); localidade (a que mais se aproxima da média dos vizinhos, sem ultrapassar o máximo padrão); e densidade e localidade (combinação de ambos). Assim, o algoritmo trabalha mais com a incerteza de cada medição levando em consideração a sua vizinhança.

## 2.5. Conceitos Estatísticos

Por tratar-se de um trabalho que utiliza ferramentas geoestatísticas, no qual inferências são realizadas a partir de dados observados, que podem ser processados com diferentes métodos, o que gera diferentes resultados, os conceitos estatísticos são relevantes para a comparação entre os métodos.

A acurácia define o quão um valor observado se aproxima do valor real. Uma maior acurácia significa uma maior aproximação entre o dado observado e o verdadeiro valor da grandeza. Contudo, esse valor real não é efetivamente conhecido, por não existir uma medição perfeita. Por isso utiliza-se nesse trabalho o conceito de incerteza, que representa a soma de todas as parcelas dos desvios dos equipamentos de medição utilizados.

A análise estatística realizada pelo programa *CARIS HIPS and SIPS* baseia-se na propagação total de erros para o multifeixe (HARE, 2011).

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Diagramas Esquemáticos da Metodologia

A metodologia empregada está ilustrada na figura esquemática (Figura 11) apresentada na sequência:

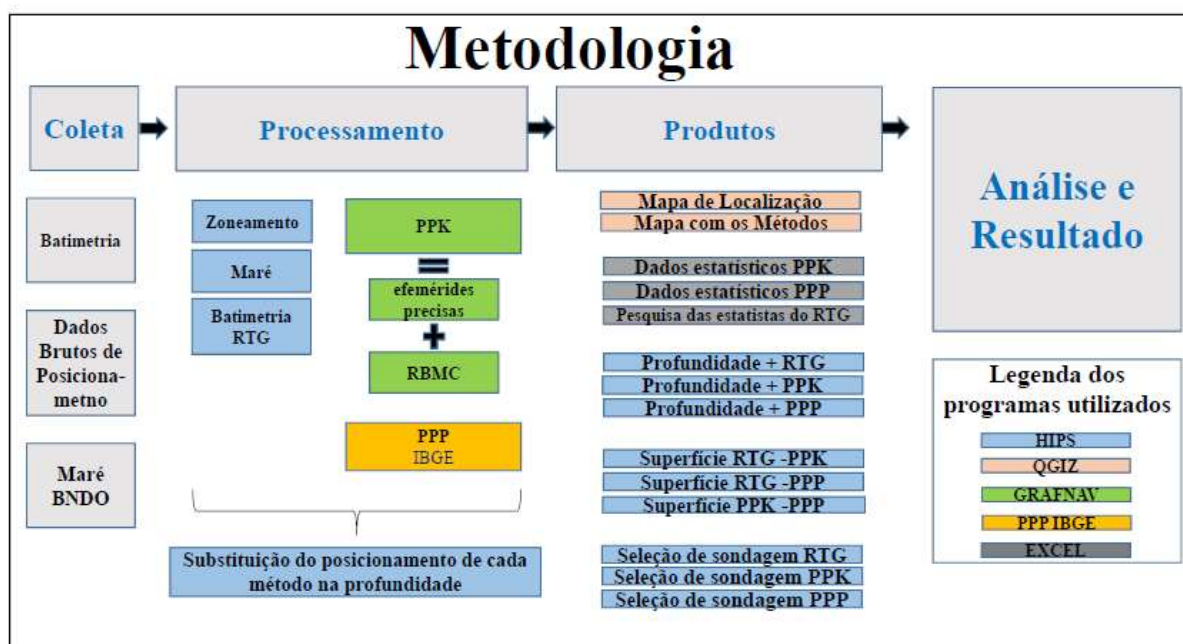


Figura 11 – Esquema da Metodologia.

#### 3.2. Etapas da Metodologia:

##### 3.2.1. Aquisição:

A batimetria foi coletada a bordo da embarcação ACRUX do CHM. Durante a aquisição das profundidades as posições foram determinadas com o RTG em tempo real (seção 2.3.4.3), bem como, os dados brutos de posicionamento da embarcação também foram coletados. Os dados de maré da estação da Ponta da Armação foram solicitados ao Banco de Dados Oceanográficos.

##### 3.2.2. Processamento:

O programa GRAFNAV é um programa de processamento de dados de posicionamento cinemático. Ele foi utilizado para processar os dados do método PPK.

a) A estação da RBMC utilizada como estação base foi a estação NITERÓI – UFF (RJNI) – Anexo C. Esses dados foram lidos no programa GRAFNAV. Os dados da estação base tem intervalo de gravação de 5 em 5s, enquanto os dados da estação móvel eram de 1 em 1s.

b) Foram incluídos os dados de efemérides precisas finais no GRAFNAV;

c) Foi realizado o processamento dos dados brutos da trajetória descrita pela embarcação com os dados da estação RBMC e as efemérides precisas finais.

d) Foi exportado do programa os dados de posicionamento do método PPK e seu relatório estatístico.

O processamento dos dados do método PPP foi feito pelo serviço online PPP-IBGE (seção...) O serviço encaminhou o arquivo \*.pos contendo as coordenadas da trajetória descrita.

No programa de processamento batimétrico, *CARIS HIPS and SIPS Professional*, foi feito o processamento da batimetria nas seguintes etapas:

a) Os dados de maré que foram editados, realizado o zoneamento, e juntados à batimetria, no HIPS *and* SIPS;

b) Foram processados os dados de batimetria.

### 3.2.3 Produtos:

a) Foram geradas as superfícies com a navegação do RTG;

b) Foram substituídos os arquivos originais do posicionamento RTG pelas coordenadas obtidas com o PPK e também com o PPP;

c) Foram criadas as superfícies com os métodos: RTG, PPP, PPK.

d) Foram criadas as superfícies através do algoritmo CUBE de diferenças entre os métodos; e

e) Foram criadas figuras a partir da seleção de batimetria de cada método.

O programa Quantum GIS foi utilizado para produção dos mapas a fim de elucidar a localização

a) Foi gerado o mapa de localização (Anexo A); e

b) Foi gerado o mapa dos métodos de posicionamento (Anexo B).

O programa Excel foi utilizado para gerar os gráficos a partir dos dados estatísticos do método PPK e PPP.

#### 3.2.4. Análise dos resultados:

No Excel foram analisados os dados de desvio padrão, GDOP, PDOP. Enquanto no HIPS foram analisados a qualidade dos dados batimétricos, a superfície do desvio padrão, a seleção de sondagem do alto fundo encontrado, a diferença entre as superfícies CUBE de cada método.

### 3.3. Softwares Utilizados

- CARIS HIPS and SIPS, CARIS, para o processamento dos dados de batimetria;
- GRAFNAV, para o processamento dos dados de posicionamento;
- Quantum GIS para produção dos mapas; e
- EXCEL para a análise estatística dos dados de posicionamento.

Excetuando-se os programas Quantum GIS, que é gratuito, todos os programas foram disponibilizados pela Marinha do Brasil.

### 3.4. Equipamentos Utilizados

- Ecobatímetro multifeixe *Kongsberg* EM-2040, equipamento para aquisição de batimetria;
- MRU 5+, *Kongsberg*, sensor de atitude da embarcação;
- *Smart Sensor* – Micro X, AML, mede a velocidade do som na altura do transdutor;
- EM-2040 *Processing unit*, *Kongsber*, estação de trabalho dos dados multifeixes;
- *Seapath 330*, *Kongsberg*, processa e sincroniza os sinais do GNSS e do sensor de atitude;
- 2 Antenas GPS, *Kongsberg*, receptor dos dados de posicionamento; e
- Receptor GNSS 3050, C-NAV, receptor de posicionamento e dos dados de correção do RTG.

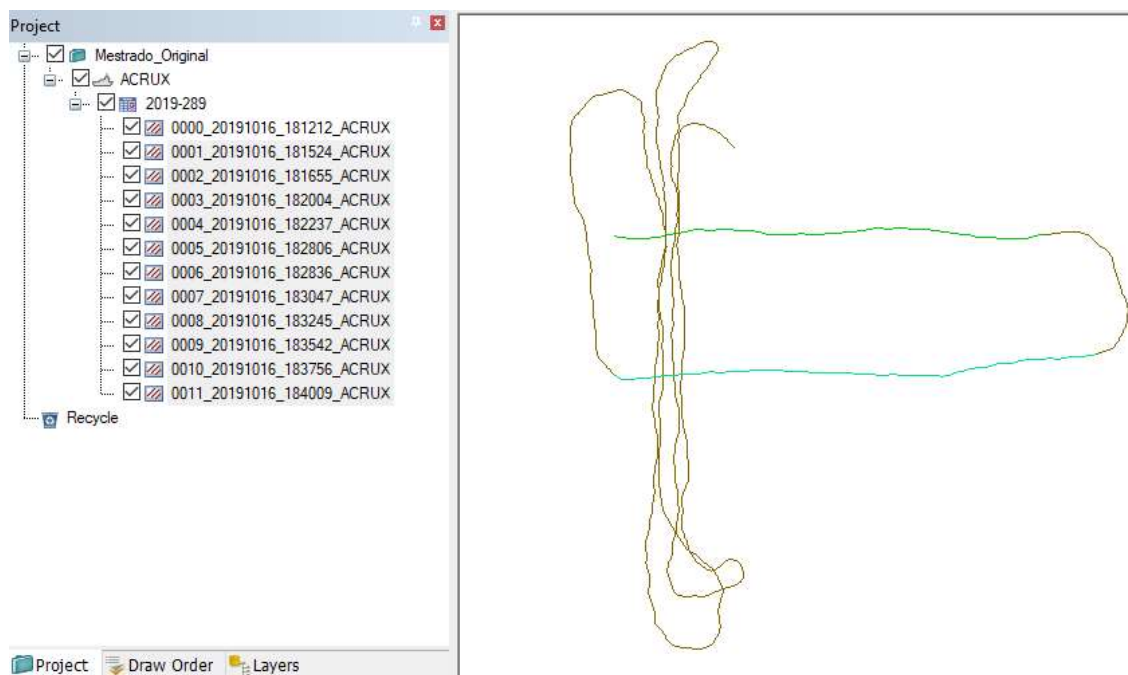
Todos os equipamentos foram disponibilizados pela Marinha do Brasil.

### 3.5. Levantamento dos Dados

A lancha ACRUX da DHN, já se encontrava com os *offsets* definidos e com o *PatchTest* realizado. Os alunos de Curso de Aperfeiçoamento de Hidrografia para Oficiais (CAHO), em outubro de 2019, junto com seus professores realizaram a aquisição dos dados a bordo dessa lancha.

#### 3.5.1. Batimetria

Foram coletadas quatro linhas de sondagem, compostas por 12 arquivos (Figura 12). Além das quatro linhas, foram coletadas mais duas linhas de verificação, ortogonaldmente ao LH. No anexo B também constam as linhas de sondagem.



**Figura 12: Em verde as linhas de verificação e em marrom as linhas de sondagem.**

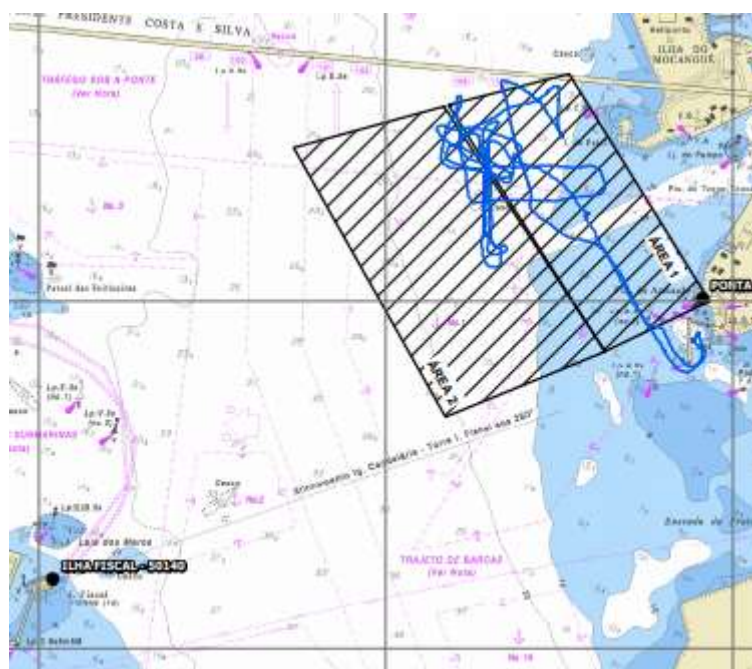
#### 3.5.2. Maré

Foram utilizados os dados de maré observada no dia 16 de outubro de 2019. Conforme o Anexo J da NORMAM-25/DHN (2ª revisão) indica as observações do fundo submerso efetuadas no nível instantâneo do mar devem ser levadas ao Nível de Redução (NR) por meio da maregrafia, sendo inicialmente verificada a necessidade ou não do zoneamento de maré.

Para tal foram utilizados os dados das estações maregráficas da Ponta da Armação e da

Ilha Fiscal, conforme o Anexo D e Anexo E, respectivamente. A partir das fichas das estações maregráficas F41 foi obtido o nível de redução das estações 119,3 e 152,5cm, respectivamente.

A partir desse estudo foi verificado a necessidade do zoneamento de maré. Entre as estações são necessárias quatro zonas. Entretanto, o LH engloba apenas as duas primeiras (Figura13). No anexo A consta o mapa de localização. Cabe ressaltar, que a estação da Ponta da Armação deve estar na metade da primeira área do zoneamento. Nesse sentido, foi criado o arquivo de zoneamento e de maré, posteriormente aplicados ao levantamento. Em seguida foi realizado a junção dos dados.



**Figura 13: Área de zoneamento do LH em preto hachurado, em azul a navegação**

### 3.5.3. Posicionamento

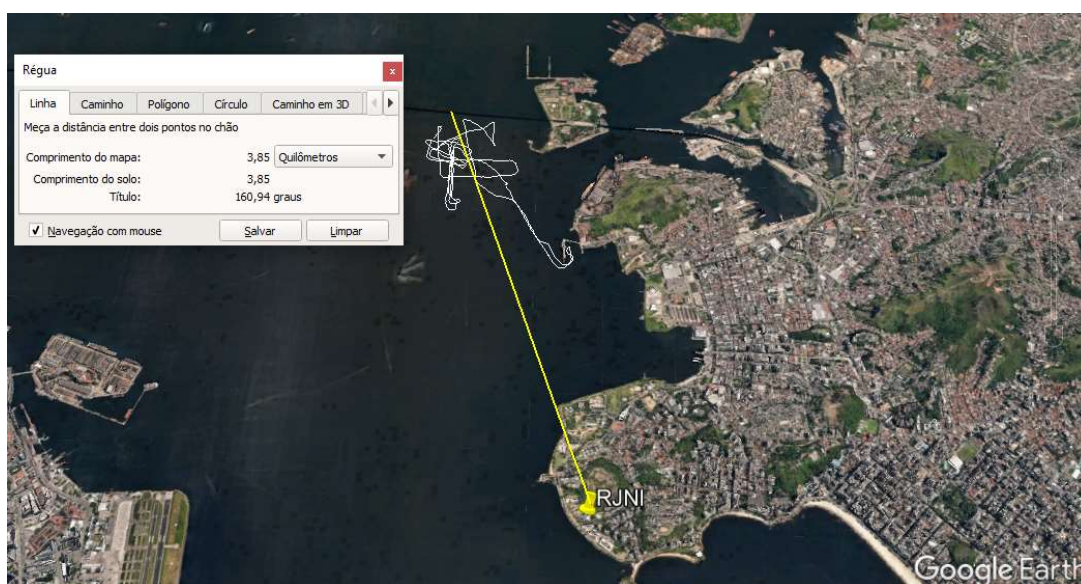
Neste trabalho foram utilizados três métodos de posicionamento (RTG, PPK e PPP), e comparada a incerteza horizontal de cada um deles.

Durante a aquisição dos dados multifeixe, o método de posicionamento utilizado na aquisição da sondagem foi o método RTG. Como os dados da trajetória descrita pela embarcação ficaram associados aos dados de profundidade e os dados brutos foram salvos durante esse processo foi viabilizado um reprocessamento utilizando-se os outros dois



métodos. O método PPK foi o Método Relativo Cinemático com uma linha de base curta e o método PPP foi processado pelo programa *PPP Online* do IBGE.

Para o pós-processamento pelo método PPK foi verificado no site do IBGE, que a estação da RBMC mais próxima à área do levantamento era a estação NITERÓI – UFF (RJNI). Esta fica aproximadamente à 3,85 km de distância, conforme pode ser observado na Figura 14, o que configura uma linha de base curta, menor que 10 km.



**Figura 14: Localização entre a estação base e o levantamento multifeixe.**

Foi realizado o download dos dados da estação RBMC e o download das efemérides precisas finais para a data do LH no site do IGS. Esses dados foram carregados no programa *GRAFNAV* para a realização do pós-processamento dos dados.

Após a análise dos resultados dos 3 métodos de posicionamento, as coordenadas desses foram associadas a profundidade viabilizando a análise do posicionamento na batimetria multifeixe.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme a metodologia apresentada no capítulo anterior, neste capítulo são apresentados os resultados da utilização de três métodos de posicionamento (RTG, PPK e PPP) para o mesmo Levantamento Multifeixe.

A análise dos resultados foi realizada considerando-se o desvio padrão de cada posicionamento, depois de cada superfície gerada pelo software *CARIS HIPS and SIPS*, através do algoritmo CUBE. Por fim foi analisado o resultado final de um alto fundo observado.

### 4.1. Análise da Precisão dos Métodos de Posicionamento

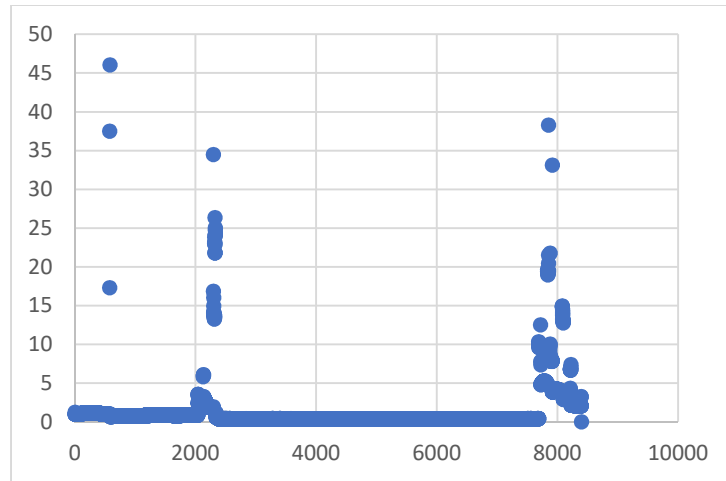
Nesta seção será apresentada uma análise da precisão do posicionamento da embarcação para os diferentes métodos empregados nesta pesquisa, conforme exposto na seção 2.3. Cabe aqui ressaltar que esta análise toma como base as precisões internas fornecidas pelos processamentos.

#### 4.1.1 Método de Posicionamento Relativo Cinemático Pós-Processado (PPK)

Com o processamento dos dados coletados pela embarcação e processados com o programa GRAFNAV empregando-se como estação base a estação RJNI da RBMC-IBGE e as efemérides precisas, conforme indicado na seção 3.4.3, obtiveram-se os resultados indicados na sequência.

O desvio padrão das coordenadas horizontais para todo o conjunto de dados (8395 pontos que compõem a trajetória descrita (Figura 16)) variou entre 46,06m e 0,325m. O comportamento ao longo desta trajetória pode ser visualizado na figura 17. Na Tabela 6 se indica as percentagens de pontos classificados em diferentes intervalos de valores de desvio padrão horizontal. Segundo a S-44 a incerteza horizontal para a Ordem Especial deve ser inferior a 2m, logo, percebe-se que 89,17% das coordenadas apresentam este desvio inferior a este valor. E um total de 82,06% das coordenadas tem desvio padrão inferior a 1m, neste caso podendo atender a ordem exclusiva, em função dos demais componentes da incerteza horizontal propagada (seção 2.4.3.1). As maiores percentagens (59,30%) são para as coordenadas cujo desvio padrão está na faixa de 0,5m a 0,325m. Ao se observar a figura 15 verifica-se que a embarcação efetuou algumas manobras durante o levantamento, fato este que

contribuiu para valores elevados no desvio padrão horizontal de algumas coordenadas.

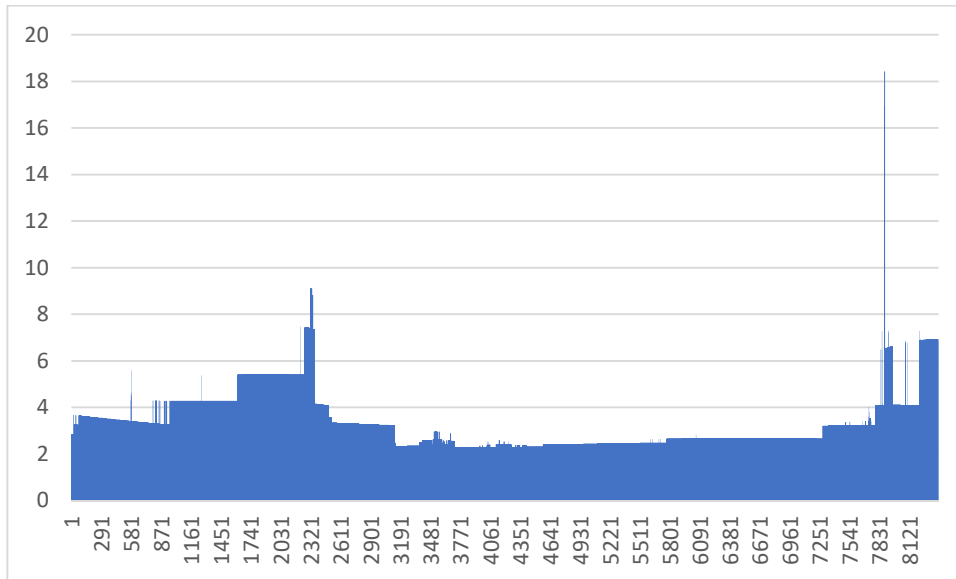


**Figura 15: Desvio Padrão Horizontal para o PPK.**

DESVIO PADRÃO HORIZONTAL	PERCENTAGEM
entre 10m a 46,06m	0,93
entre 5m a 10m	2,13
entre 2m a 5m	7,77
entre 1m a 2m	7,11
0,5m a 1m	22,76
entre 0,5m a 0,325m	59,30

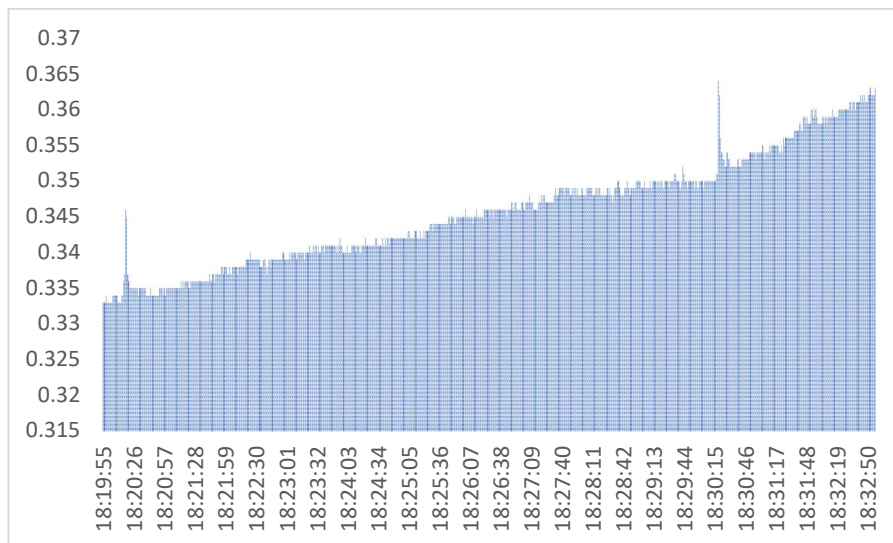
**Tabela 6: Percentagem de Soluções classificadas em diferentes intervalos de Desvio Padrão Horizontal para o PPK.**

Na figura 16 apresentam-se os valores de PDOP (seção 2.3.6) obtidos para este conjunto de dados. Correlacionando-se visualmente as figuras 16 e 17 é possível verificar que nos pontos em que há uma elevação do desvio padrão horizontal há também uma elevação do valor do PDOP, atingindo valores superiores a 6. Cabe também ressaltar que no início de um processamento o programa precisa tentar resolver os inteiros das ambiguidades para gerar soluções precisas, mas a cada manobra da embarcação pode haver a perda desta solução e o programa precisa reiniciar esta busca. Tal fator também contribui para a elevação dos desvios padrão horizontais das soluções.



**Figura 16: Valores de PDOP para a trajetória da embarcação obtida com o PPK.**

Como o interesse desta pesquisa foca em algumas linhas de sondagem então se optou por realizar uma análise mais detalhada dos desvios padrão para este intervalo. Analisando-se as linhas compreendidas entre 18h 19min 55s e 18h 32m 57s foi possível gerar um novo gráfico com a representação dos desvios padrão horizontais (Figura 17). Nessa figura é possível verificar que os desvios padrão horizontais são inferiores a 0,364m e superiores a 0,333m, sendo a maioria deles inferiores a 0,362 m. Desta forma pode-se dizer que as coordenadas obtidas com o processamento relativo cinemático têm um desvio padrão inferior a 0,36m e verificou-se que o PDOP foi inferior a 2,6.

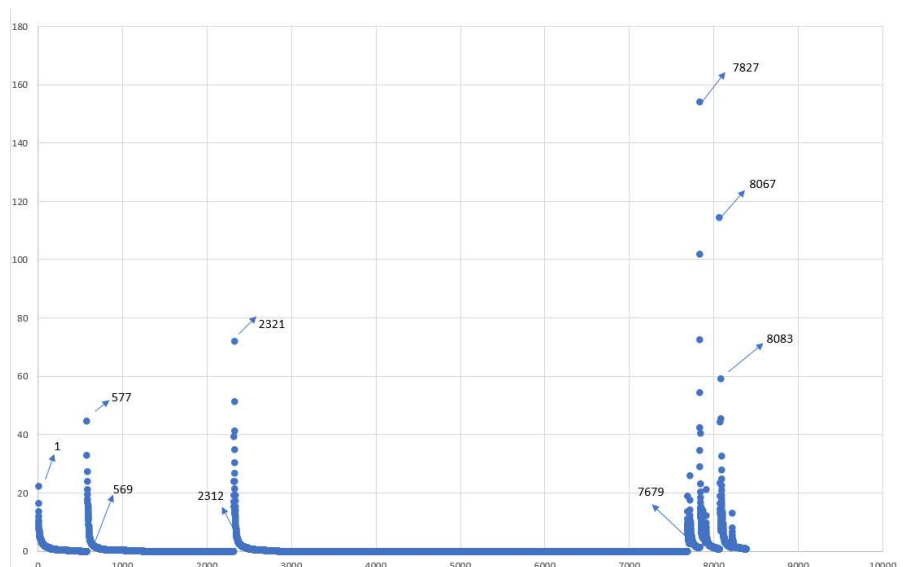


**Figura 17: Desvio Padrão Horizontal para as linhas de sondagem de interesse com o PPK.**

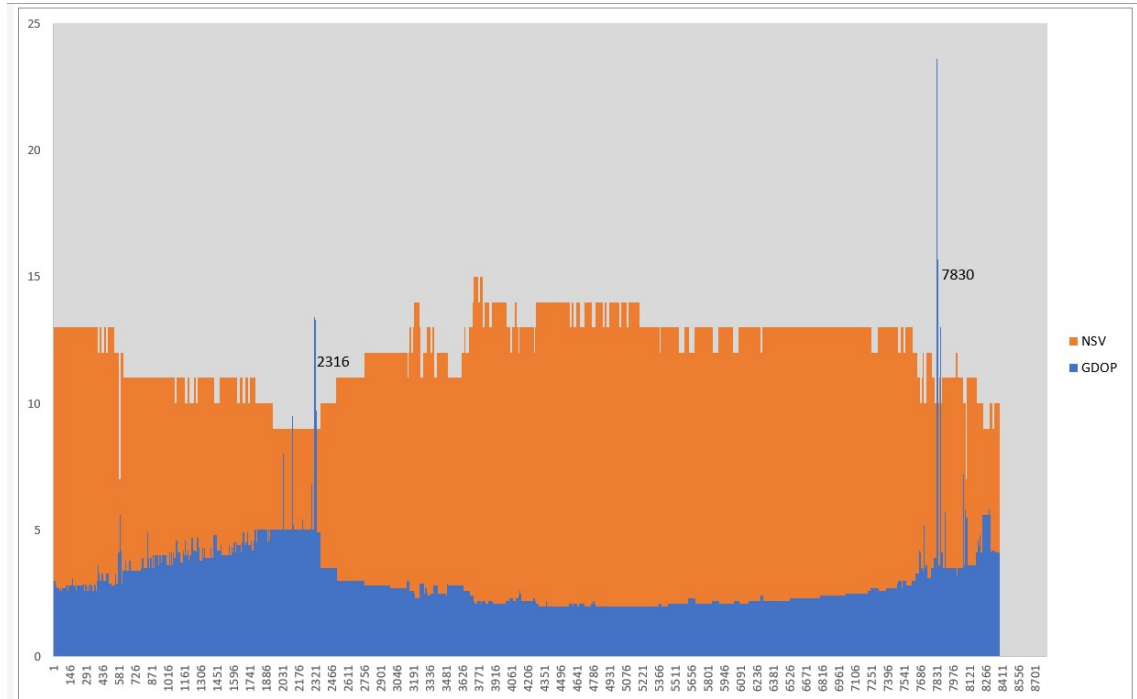
Como a linha de base formada é curta (cerca de quatro quilômetros) esperava-se um desvio padrão horizontal inferior a 0,10 m, o que preconiza a literatura (Seeber,2003). Indica-se o processamento dos dados por meio de outro programa a fim de verificar esses desvios. Outro algoritmo pode proporcionar uma solução melhor.

#### 4.1.2. Método de Posicionamento Por Ponto Preciso Cinemático

Conforme indicado na seção 3.4.3 os dados brutos coletados na embarcação, transformados no formato RINEX e foram enviados ao serviço online IBGE-PPP. Na figura 18 são apresentados os desvios padrão horizontais obtidos após este processamento. Verifica-se que estes valores são inferiores a 160 m. Contudo, visualmente percebe-se que a maioria deles é da ordem de decímetros. As elevações que se verificam no gráfico se referem a algumas épocas, que ao serem confrontadas com a figura 19 indicam que estão correlacionadas com a mudança da geometria dos satélites e consequentemente ao valor do PDOP. Por exemplo na época 2316 (17h 10min 55s), na figura 19 tem-se um GDOP de 13,4 e 6 satélites observados e pela figura 19 o desvio padrão horizontal é de 39,35m. Pode-se ainda analisar a época 7830 (18h 43min 50s) que apresenta 6 satélites observados e um GDOP de 23,8 (Figura 19) e o desvio padrão horizontal é igual a 154,02m (Figura 18). Destaca-se ainda na figura outras épocas com os respectivos desvios padrão horizontais. Os valores de GDOP, anteriormente citados, estão acima do aconselhado pela literatura, conforme exposto anteriormente.



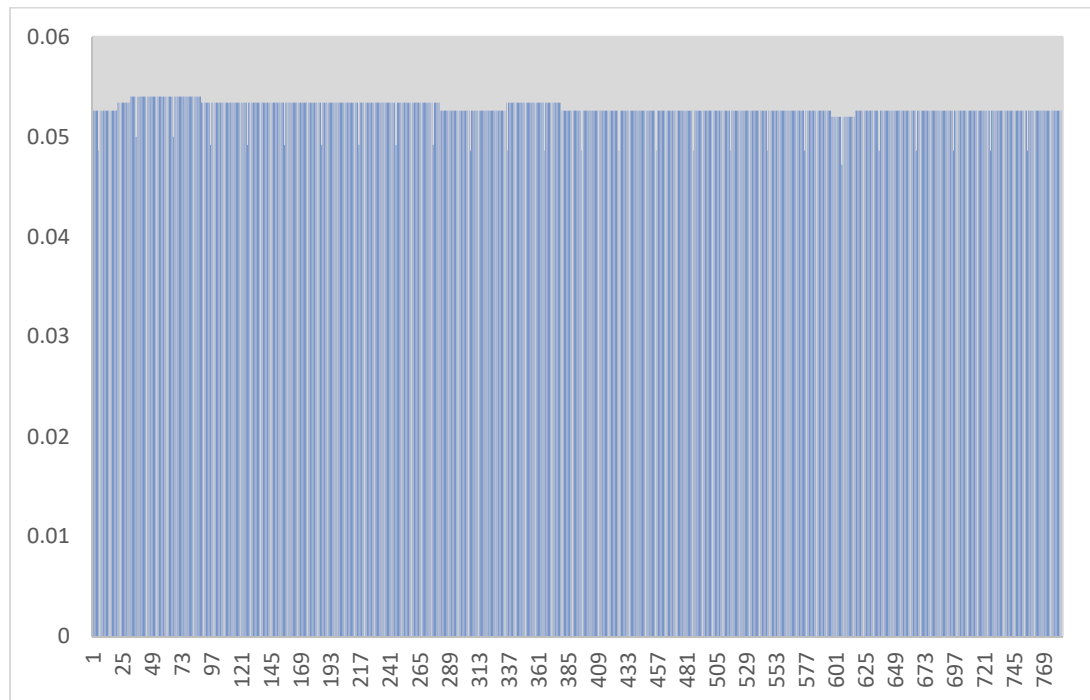
**Figura 18: Desvio Padrão Horizontal para toda a Trajetória Percorrida, PPP cinemático.**



**Figura 19: Número de Satélites Rastreados (NSV) e GDOP ao longo de toda a Trajetória Percorrida PPP cinemático.**

Desvios padrão horizontais elevados pode-se atribuir também as manobras que a embarcação efetuou ao percorrer as linhas de sondagem planejadas, conforme observado na figura 15. Outro fator importante e já explorado pela literatura (NAKAO; KRUEGER, 2017) e que neste método de posicionamento deve-se esperar um tempo após o início do levantamento (período de inicialização) para se obter menores valores para estes desvios padrão.

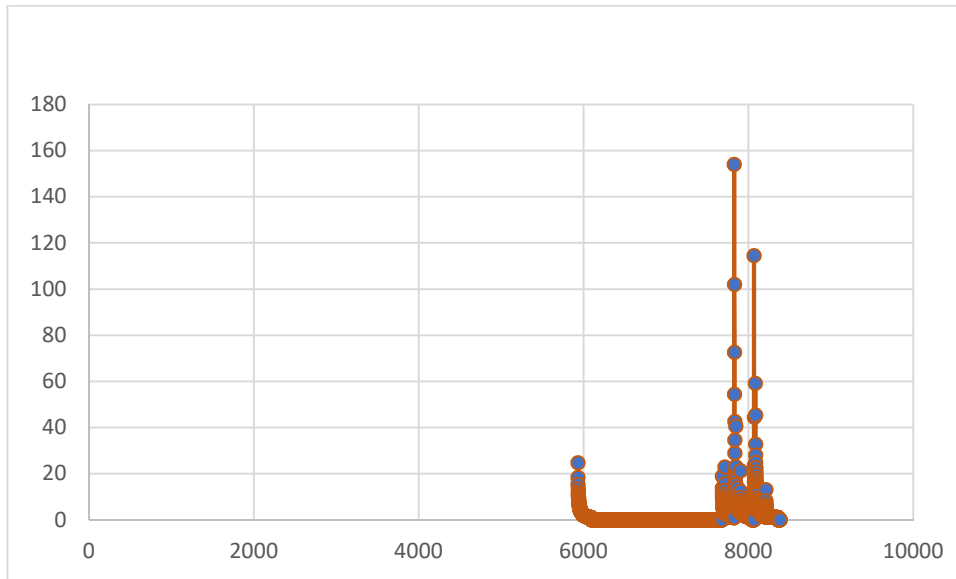
Da mesma forma que efetuado para o PPK, na sequência, serão apresentados e discutidos os resultados obtidos para as linhas de sondagem de interesse (das 18h 19min e 55s, (época 1) as 18h 32min 57s, época 783) e avaliadas. Contudo destaca-se que estas linhas foram processadas no conjunto de dados coletados durante todo o levantamento. Na figura 20 os desvios padrão horizontais estão entre 0,05 e 0,06m. Durante este período houve a presença de 13 satélites e o GDOP ficou entre 2,2 e 2,5. Cabe ressaltar este período está compreendido entre as épocas 6400 e 7200 visualizadas na figura 18.



**Figura 20: Desvio Padrão Horizontal para as linhas de sondagem de interesse com o PPP cinemático.**

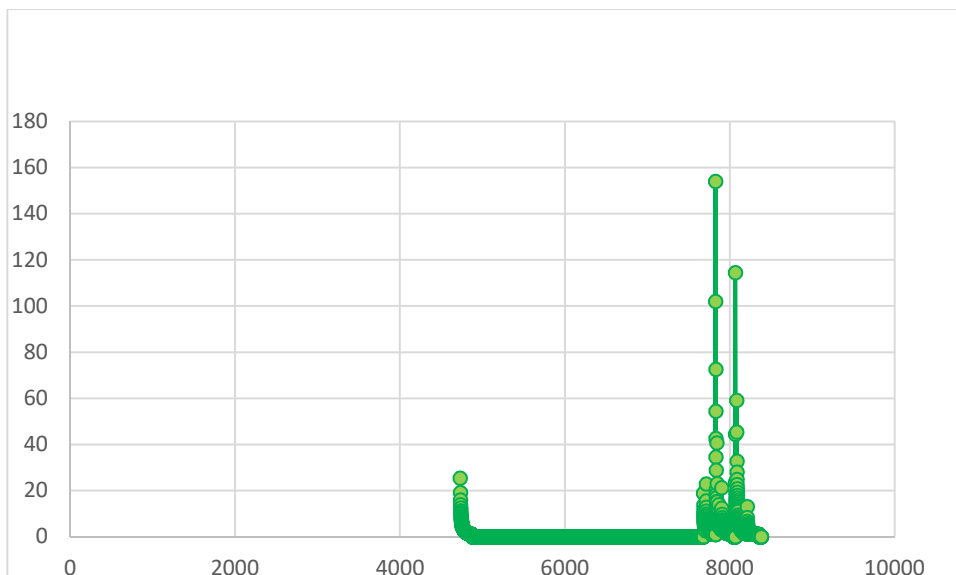
Visando mostrar a importância em se efetuar um período de inicialização antes da execução de qualquer posicionamento cinemático optou-se por cortar os dados RINEX da embarcação. Um dos arquivos contém apenas as informações de posicionamento da embarcação durante o levantamento em estudo (Figura 21) e o segundo contém essas informações tendo o início da gravação de dados 20 minutos antes.

O primeiro arquivo enviado ao PPP continha apenas as linhas que estão sendo analisadas, ou seja, das 18h 19min e 55s (época 1) as 18h 32min 57s (época 783). Na figura 21 observa-se que nas primeiras épocas estes valores iniciam em cerca de 30 metros e necessitam de 163 épocas para convergir para valores inferiores a 1 metro.



**Figura 21: Desvio Padrão Horizontal para as linhas de sondagem de interesse com o PPP cinemático sem qualquer período de inicialização.**

O segundo arquivo enviado ao PPP continha dados que se iniciavam cerca de 20 minutos antes (período de inicialização) das linhas que estão sendo analisadas. Na figura 22 observa-se que nas primeiras épocas estes valores iniciam em cerca de 25 metros e necessitam de 143 épocas para convergir para valores inferiores a 1 metro.



**Figura 22: Desvio Padrão Horizontal para as linhas de sondagem de interesse com o PPP cinemático com 20 minutos de inicialização antes das linhas de interesse.**

Contudo ressalta-se que este são apenas valores de desvio padrão das soluções não significando que as soluções são igualmente acuradas. Todas as soluções geradas (Figuras 19,



22 e 23) apresentaram a partir da época 7683 desvios padrão com valores de metros.

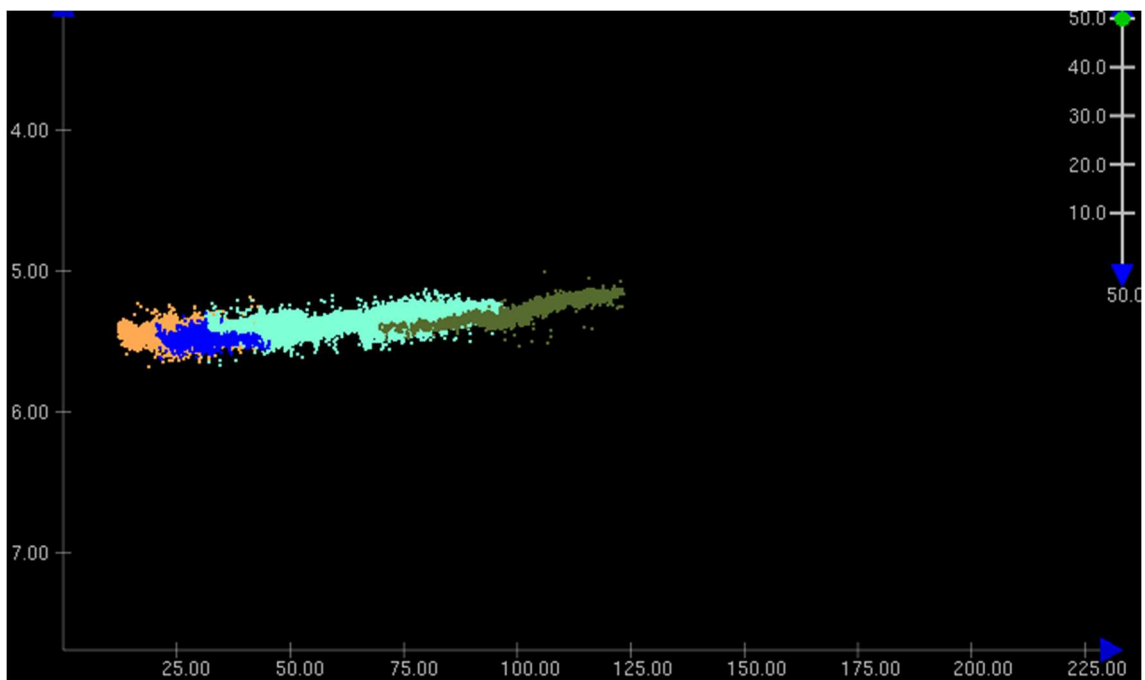
#### 4.1.3. Método de Posicionamento RTG

Este foi o posicionamento efetuado em campo durante a sondagem tendo sido armazenadas as coordenadas que compõem a trajetória descrita, em tempo real, durante a sondagem. Desta forma não foi possível armazenar outros arquivos que auxiliariam na análise da precisão deste método de posicionamento. Contudo para associar uma precisão a este método será adota um valor com base nas literaturas pesquisadas. Segundo Moreira (2016) o RTG, em posicionamento cinemático em tempo real apresentou uma precisão planimétrica de 0,0608 e 0,1947 m, média de 0,1277m.

Resumidamente, analisando o desvio padrão horizontal, ou seja, a precisão interna do posicionamento horizontal, pode-se indicar que o PPK tem valores inferiores a 0,362m; o PPP valores inferiores a 0,06m e para o RTG admitiu-se valores inferiores a 0,13135 m

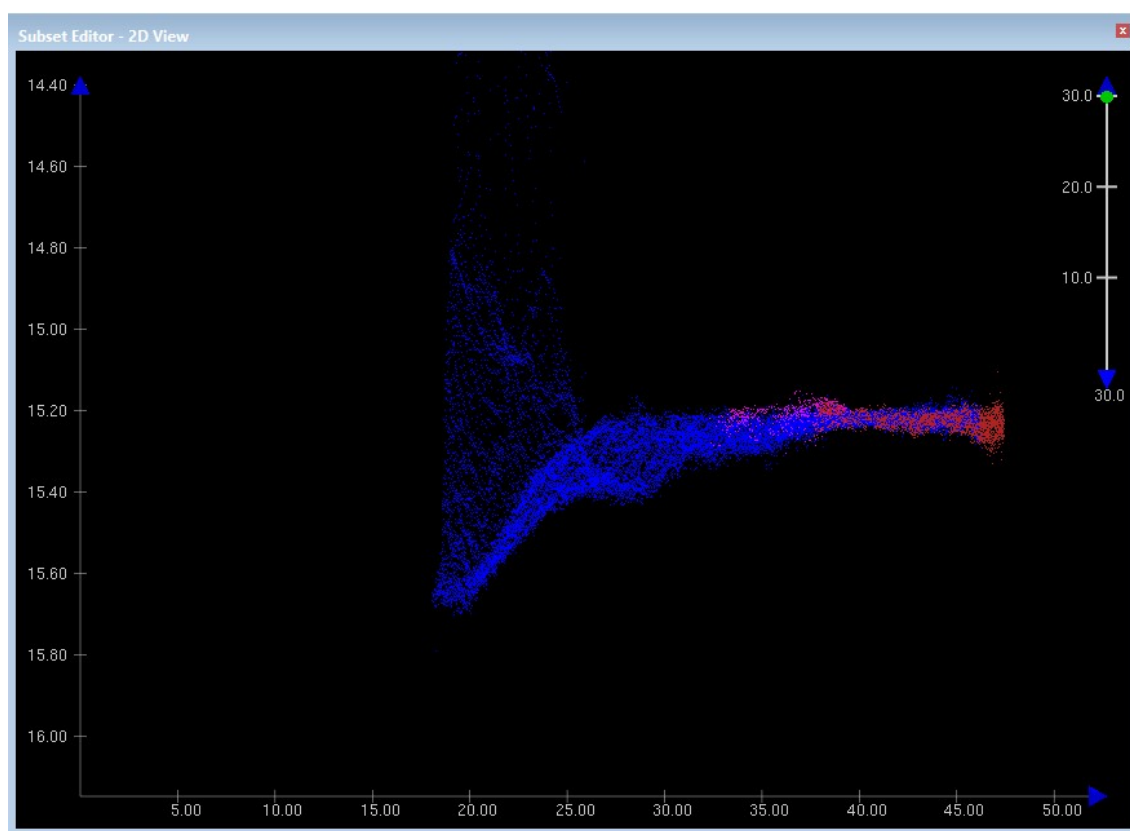
## 4.2. Processamento do Multifeixe

Os dados de batimetria multifeixe foram processados no *software CARIS HIPS and SIPS*. Foram aplicados aos dados de maré de acordo com o zoneamento apresentado no item 4.2.1 e realizada a limpeza de dados espúrios dos dados. Como é possível observar na figura 23, as linhas do levantamento tiveram uma excelente sobreposição, demonstrando a qualidade dos dados. Como dito anteriormente, a dispersão dos pontos de sondagem deve ser da mesma linha. Na figura 23 observa-se, que mesmo com exagero vertical de 50, as linhas têm sobreposição entre elas.



**Figura 23: Sobreposição entre linhas.**

Durante o processamento dos dados batimétricos foi possível observar, um alto fundo com aproximadamente 1 m de relevo relativo na área (Figura 24), que foi designado e analisado nos outros dois métodos de posicionamento.



**Figura 24: Alto Fundo detectado durante o processamento batimétrico**

Para cada método de posicionamento foi gerada uma superfície, através do algoritmo CUBE. Tal algoritmo permite, não apenas a análise da possibilidade, como a análise do desvio padrão de cada célula. O tamanho da célula adotada para geração das superfícies foi de 0,5m.

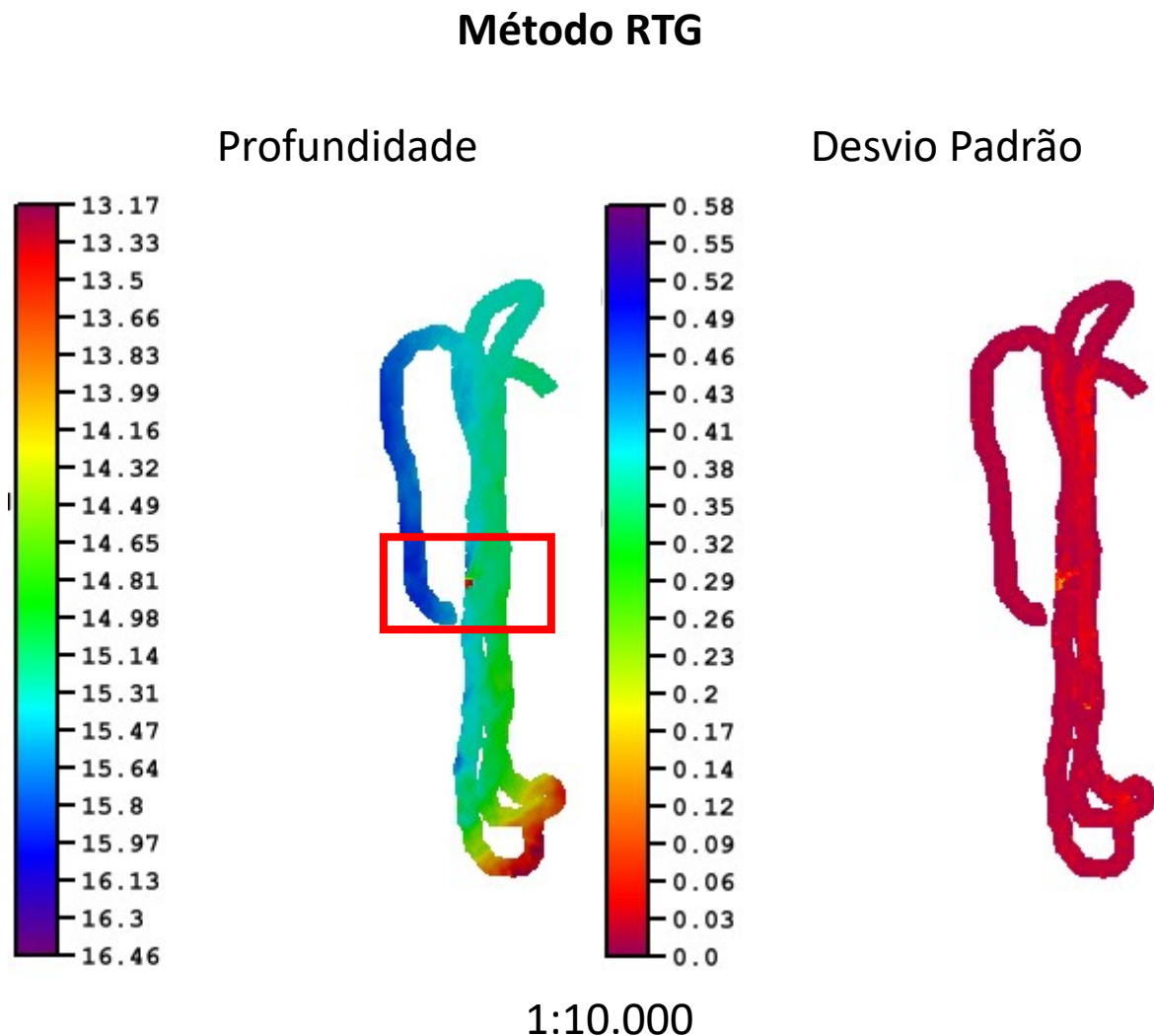
Na superfície desvio padrão, a coloração representa o desvio. Quanto mais próximo da cor vermelha, menor o desvio padrão.

#### 4.2.1. Análise do Método RTG no Multifixe

Conforme dito anteriormente não foi possível armazenar outros arquivos que auxiliariam na análise da precisão deste método de posicionamento. Os dados da trajetória descrita pela embarcação utilizados já estavam salvos juntos com os arquivos brutos das linhas de sondagem.

#### 4.2.1.1. Superfície Shoal e Superfície Desvio Padrão do Método RTG

A superfície *shoal* representa a superfície com a profundidade mais rasa de cada nó. A fim de manter a segurança da navegação, essa superfície é a utilizada na Carta Náutica. A superfície *shoal* do método RTG foi gerada e analisada com a superfície equivalente de seu desvio padrão (Figura 25).

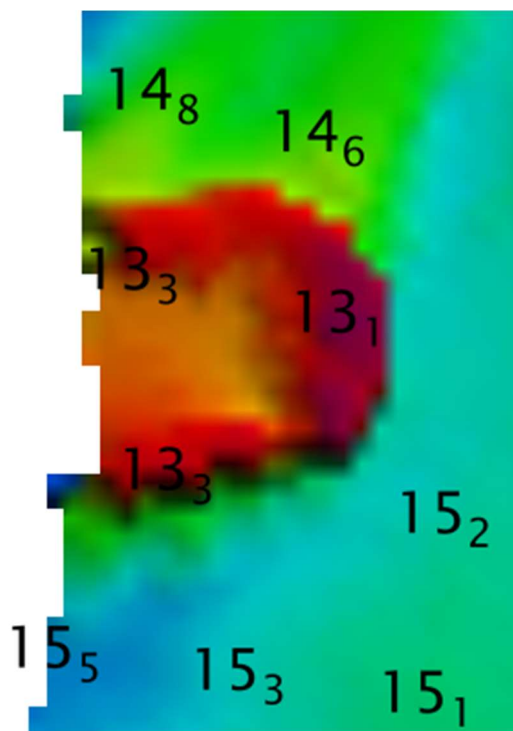


**Figura 25: Superfície *shoal* e superfície do desvio padrão do RTG**

Foram 279620 células das quais apenas 35 apresentaram desvio maior que 0,2m. Tal fato demonstra a consistência da superfície, com 99,9% do desvio padrão abaixo de 0,2m. Ademais, o maior valor encontrado de desvio padrão foi de 0,6m. Tal desvio também atende a ordem especial e exclusiva da S-44.

#### 4.2.1.2. Seleção do Alto Fundo no Método RTG

Na superfície batimétrica foi observado o alto fundo (Figura 26).



**Figura 26: Alto Fundo RTG**

Observa-se que a menor profundidade encontrada na região do alto fundo, utilizando-se o método RTG, é 13,1 m.

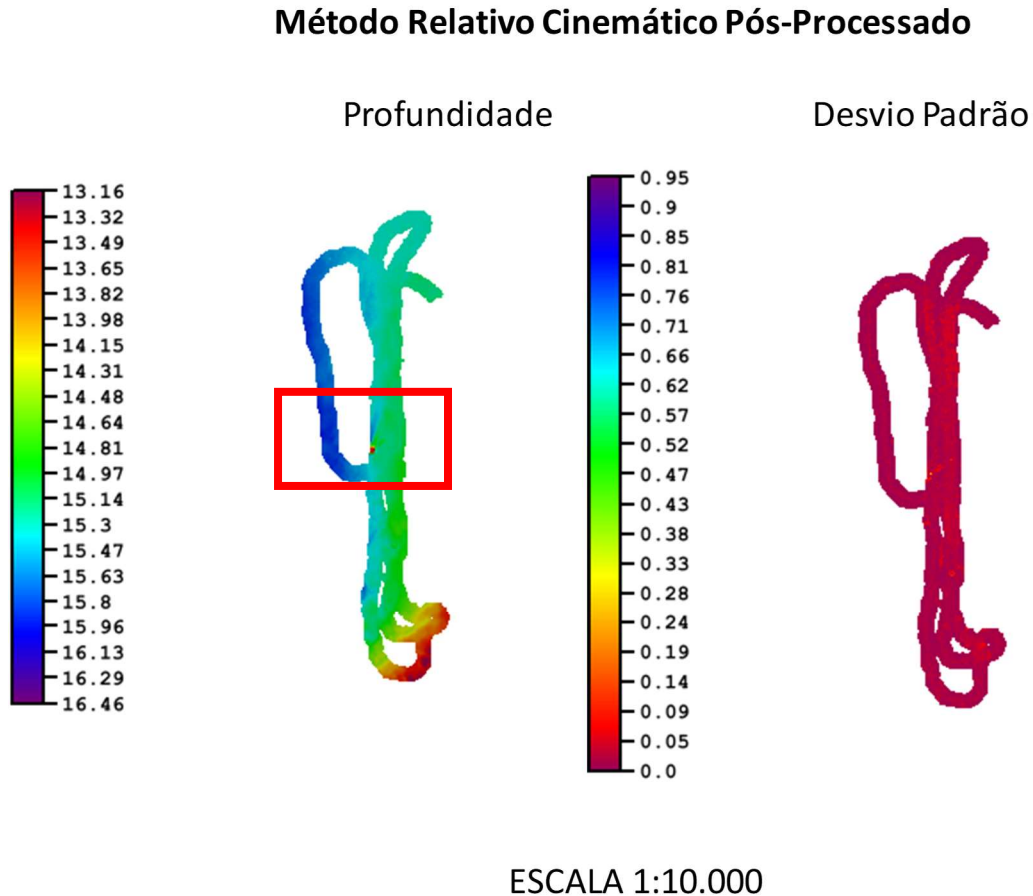
#### *4.2.2. Análise do Método PPK no Multifeixe*

A partir dos arquivos ASCII do posicionamento da embarcação pós-processado, o arquivo foi editado em data, hora, minuto, segundo, coordenadas. Um arquivo de extensão *.info* foi criado, que descreve como esse arquivo o foi organizado. Assim, através da ferramenta *import>auxiliary data*, o posicionamento da embarcação foi correlacionado à profundidade através da hora. Em seguida foi realizada a junção e analisado o desvio padrão da superfície.

##### 4.2.2.1. Superfície Shoal e Superfície Desvio Padrão do Método PPK

A superfície gerada apresentou o alto fundo na mesma região do RTG. Foi analisada

tanto a camada *shoal*, quanto a camada do desvio padrão (Figura 27).

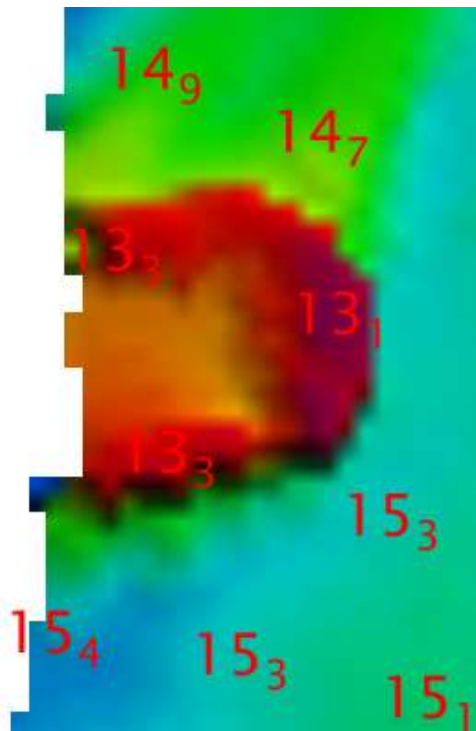


**Figura 27: Superfície *Shoal* e Superfície Desvio Padrão do PPK**

Das 279620 células apenas 45 apresentaram desvio maior que 0,2m. Tal fato demonstra a consistência da superfície, com 99,9% do desvio padrão abaixo de 0,2m. Ademais, o maior valor encontrado de desvio padrão foi de 0,9 m. Apesar de apresentar menor precisão do que o método RTG, esse método também atende a ordem especial e exclusiva da S-44. Sugere-se fazer o processamento em outro programa de pós-processamento para analisar.

#### 4.2.2.2. Seleção do Alto Fundo no Método PPK

O alto fundo encontrado na batimetria com o método PPK apresentou a profundidade equivalente ao alto fundo na profundidade com o método RTG (13,1 m) (Figura 28).



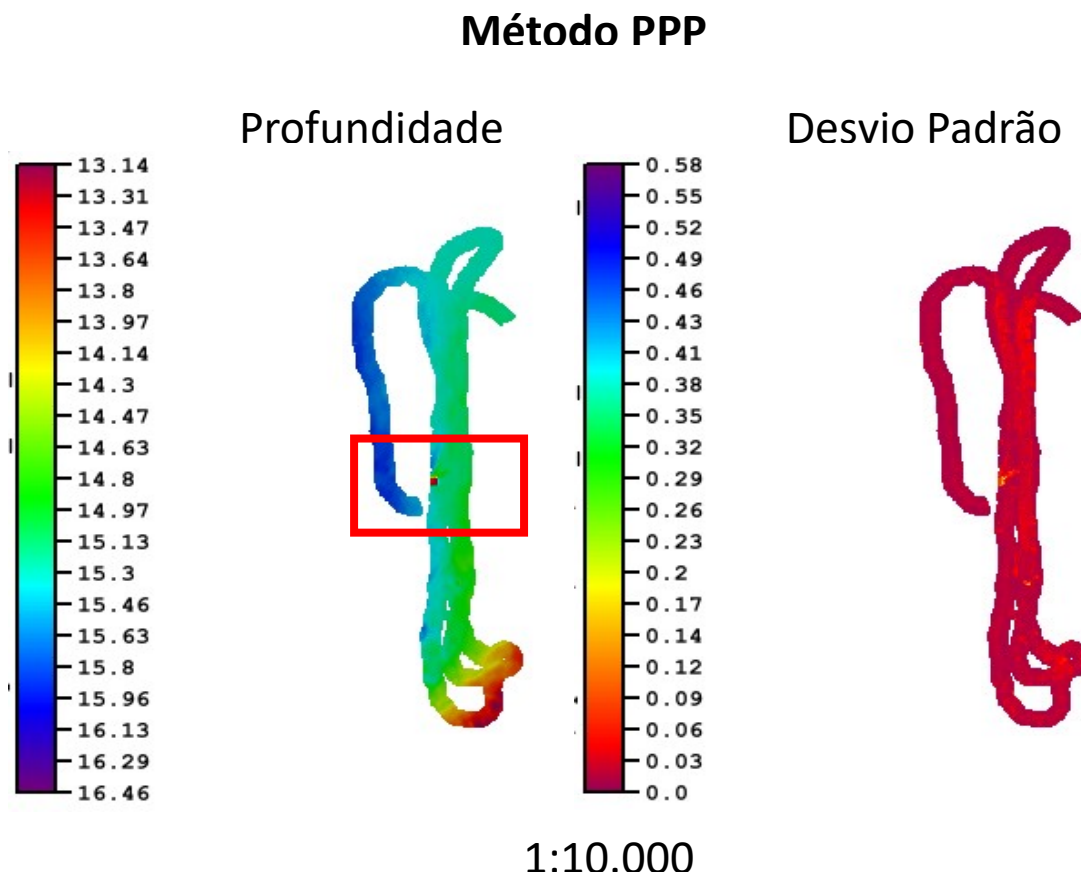
**Figura 28: Alto fundo PPK.**

#### 4.2.3. Análise do Método PPP no Multifixe

O mesmo procedimento aplicado com o PPK para a inserção do posicionamento foi realizado com o arquivo ASCII, utilizando-se o resultado do processamento do *PPP Online* do IBGE.

##### 4.2.3.1. Superfície Shoal e Superfície Desvio Padrão do Método PPP

A figura da superfície batimétrica e da superfície do desvio padrão da incerteza vertical foram gerados também pelo método PPP (Figura 20)



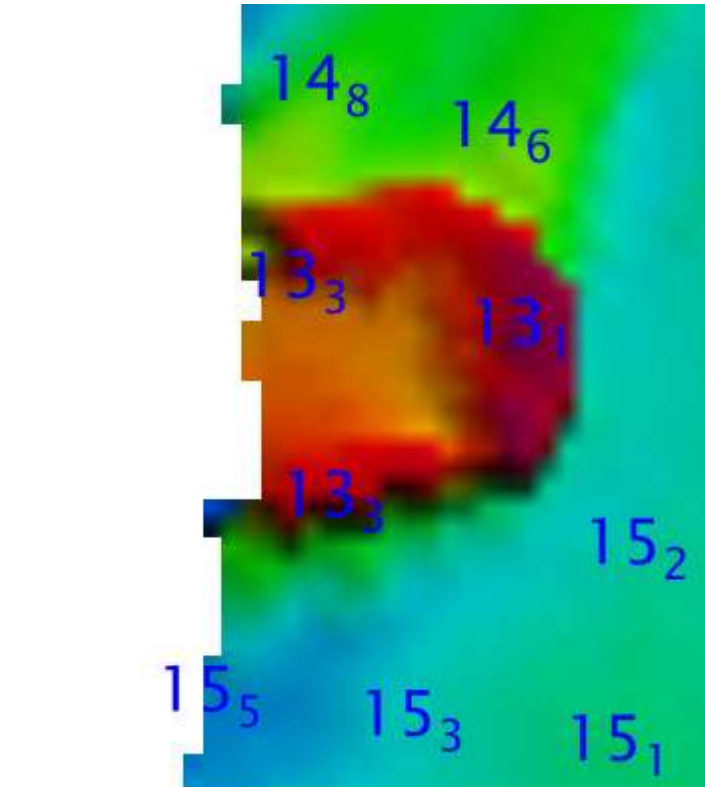
**Figura 29: Superfície *Shoal* e Superfície Desvio Padrão do PPP**

No método de posicionamento PPP também foram geradas 279620 células das quais somente 1 apresentou desvio maior que 0,2m, sendo igual a 0,3m. Assim, a análise da figura 29 demonstra consistência da superfície, com 99,9% do desvio padrão abaixo de 0,2m, como demais métodos. Entretanto, ressalta-se que esse método apresenta o menor valor máximo de desvio padrão. Tal fato, é consistente com a análise da precisão encontrada dos arquivos de posicionamento dos 3 métodos, o qual o PPP apresentou menor desvio padrão.

#### 4.2.3.2. Seleção do Alto Fundo no Método PPP

Na superfície batimétrica foi observado o alto fundo (Figura 30).





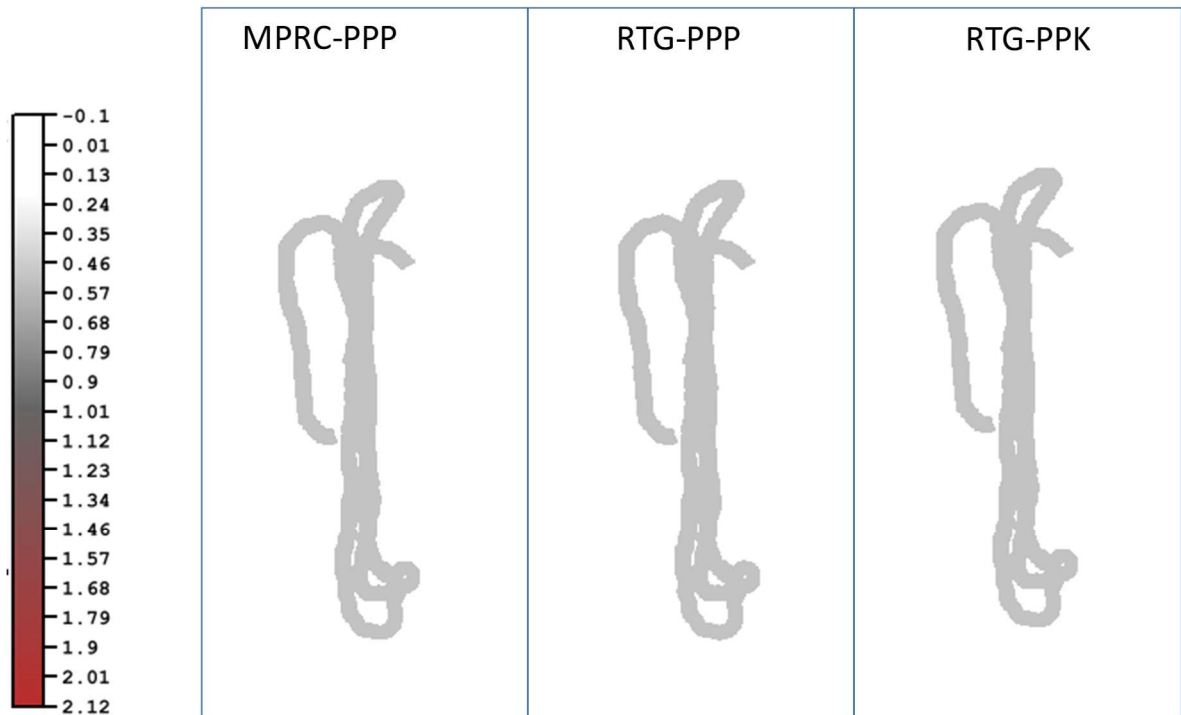
**Figura 30: Alto fundo obtido com o método PPP.**

Observa-se que a menor profundidade encontrada no alto fundo, utilizando-se o método PPP, é 13,1 m, assim como o do método RTG.

#### **4.3. Análise da Diferença entre as Superfícies e as Seleções de Sondagem**

A fim de comparar os resultados dos três métodos utilizados, foi computada, par a par, a diferença entre as superfícies geradas com cada método (Figura 31).

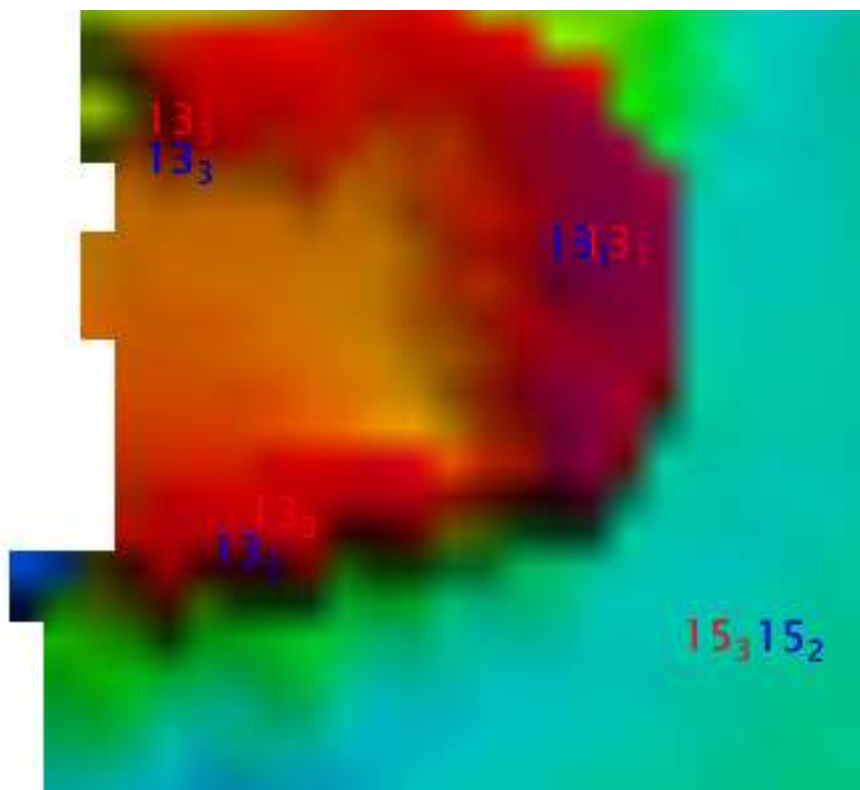
### Comparação entre os Métodos de Posicionamento



ESCALA 1:10.000

**Figura 31: Diferença entre os métodos na superfície**

Na figura 31, observa-se que não houve diferenças de profundidade predominantes. Entretanto, há diferenças na região do alto fundo, conforme visto na figura 32.



ESCALA 1:150

**Figura 32: Valores de Profundidade com os métodos RTG (vermelho), PPK (azul), e PPP (preto).**

Pode-se observar que não houve diferença entre o método PPP e RTG, por isso as profundidades do PPP não aparecem na figura 32, pois elas estão na mesma posição. Mas, ambos (PPP e RTG) apresentaram pequena diferença de posição do alto-fundo comparado ao método PPK, diferença aproximada de 0,83m. As profundidades na área do alto fundo não apresentaram valores diferentes, embora seja possível observar que a profundidade de 15,2m ficou mais rasa que a profundidade 15,3m.

Isso demonstra que apesar dos métodos de posicionamento serem diferentes, não houve impacto significativo no produto final da superfície batimétrica, considerando as ferramentas geoestatísticas do software utilizado. As menores profundidades no alto fundo nos três métodos apresentam o mesmo valor. Além disso, essa diferença do PPK e do RTG e PPP foi na ordem da casa decimal da profundidade.

Ao comparar os resultados obtidos com os três métodos, observa-se que apesar da

incerteza horizontal ser independente da incerteza vertical, a diferença horizontal entre as superfícies (armazenadas no banco de dados batimétrico) seriam diferentes. Vale ressaltar a importância que seja investigado o porquê no produto final (superfícies) as incertezas horizontais causaram diferença na profundidade.

Conforme observado no estudo de Mchugh et al, 2015, era esperado que o método PPP e PPK produzissem os melhores resultados. O método PPP apresentou o resultado com o menor desvio padrão. Devido a diferença na frequência entre a estação de referência e o receptor da embarcação, sugere-se para estudo futuros realizar o método PPK com uma estação de referência que colete na mesma frequência do receptor da embarcação.

## 5. CONCLUSÃO

Inicialmente pode-se verificar que o objetivo geral foi alcançado, ou seja, foi possível avaliar o impacto da qualidade de diferentes métodos de posicionamento por satélites Posicionamento por Ponto Preciso (PPP), cinemático em rede em tempo real (Real-Time GYPSY - RTG) e Posicionamento Relativo Cinemático pós-processado (PPK) na incerteza horizontal propagada do levantamento multifeixe, à luz dos critérios de Segurança da Navegação.

Da mesma forma os objetivos específicos foram contemplados com o desenvolvimento desta pesquisa.

Constatou-se, mediante a análise do desvio padrão horizontal, ou seja, da precisão interna do posicionamento horizontal, que os métodos empregados nesta pesquisa tiveram valores inferiores a 0,362m para o PPK; 0,06m para o PPP e para o RTG foi admitido 0,195 m. Vale ressaltar que o PPP só possibilita esses valores se houver um período de inicialização da coleta do posicionamento.

Constatou-se que a diferença de precisão entre os métodos de posicionamento empregados é muito pequena. Entretanto, o armazenamento em banco de dados somados à constante necessidade de aproveitar o máximo da capacidade tecnológica requer que os dados sejam armazenados com a maior quantidade de metadados possível. Assim, o método de posicionamento utilizado e as informações acerca da incerteza horizontal devem ser salvas nos bancos de dados.

Entretanto, para atestar qual é o mais preciso entre os métodos, seria necessário maior controle das fontes de incerteza individuais associadas com a posição. Isso não foi possível, pois não foram armazenados os arquivos, que auxiliariam na análise da precisão do método RTG, sugere-se para trabalhos futuros que tais arquivos sejam armazenados. Além disso, análises de outras regiões poderiam ser efetuadas, bem como, o emprego de diferentes softwares no processamento do posicionamento PPK. Haja vista que o estudo de HARE, 1995 constata matematicamente que a incerteza horizontal é independente da vertical, sugere-se o estudo da aplicação de diferentes algoritmos para geração da superfície para que seja investigado o porquê ocorreu a diferença nas profundidades entre as superfícies batimétricas geradas para cada método, ou seja para se investigar o impacto dos diferentes métodos na incerteza vertical.

Para levantamentos hidrográficos empregando os levantamentos com os

posicionamentos PPK, PPP e RTG atenderam tanto a ordem especial, como a ordem exclusiva. Contudo destaca-se nas regiões sondadas próximas a linha de costa, onde existem estações RBMC, o PPK e PPP seriam os mais recomendados, visto que, o RTG é um serviço pago. O que possibilitaria uma economia de recursos ao levantamento efetuado.

Recomenda-se ainda que as linhas de sondagem da área de estudo sejam avaliadas em função das linhas de verificação, fato este que não pode ser efetuado neste momento em face das condições logísticas. Desta forma ter-se-ia uma nova avaliação do desvio padrão de cada conjunto de dados.

Ressalta-se, que o PPP, além de ter precisão que atende às normas nacionais, é um método que além de gratuito, não demanda tempo de processamento. Tal fato notabiliza o método PPP como uma solução gratuita, ágil e eficiente para a aquisição e processamento de dados multifeixes.

## 6 REFERÊNCIAS

- Antaq, Agência Nacional de Transportes Aquaviários. Disponível em :<<http://web.antaq.gov.br/Anuario/>>. Acesso:15 dezembro 2019.
- BRASIL, Decreto-Lei n. 243, de 28 de fevereiro de 1967. Fixa as Diretrizes e Bases da Cartografia Brasileira e dá outras providências. Diário Oficial da União, DF, 1967.
- Briones, A. B. Análise do posicionamento DGPS baseado nas ERDGPS implantadas no litoral brasileiro. PPGCG/UFPR. Dissertação de mestrado em Ciências Geodésicas - Universidade Federal do Paraná, 1999.
- Calder, B. R. Automatic Statistical Processing of Multibeam Echosounder Data. International Hydrographic Review. 980, 2003.
- Canadian Hydrographic Service (CHS), Canadian Hydrographic Service - STANDARDS FOR HYDROGRAPHIC SURVEYS. 2nd Edition. 2013. 17 p.
- \_\_\_\_\_. Caris Training Module Multibeam data Processing with CUBE, 2014. 220p.
- Collischonn, E. M. de Lima et al. Posicionamento GNSS: Comparação entre coordenadas oficiais de estações da RBMC e as obtidas por PPP e posicionamento relativo e ajustamento. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, UFRGS Porto Alegre - RS, Brasil, 2015.
- Dalazoana, R. Aspectos Gerais da Geodésia – Introdução – Geodésia na Atualidade. Acessado em 10 de dezembro de 2019 na página [http://www.cartografica.ufpr.br/portal/wp-content/uploads/2011/10/Cap1\\_Aspectos-gerais-da-Geodesia\\_Introducao.pdf](http://www.cartografica.ufpr.br/portal/wp-content/uploads/2011/10/Cap1_Aspectos-gerais-da-Geodesia_Introducao.pdf)
- Eddy, H. Post processing of multiple GPS receivers to enhance baseline accuracy. Trinklein Michigan Technological University, Michigan USA, 2011.
- Ferreira, I.O. Coleta, Processamento e análise de dados batimétricos visando a representação computacional do Relevo Submerso utilizando interpoladores determinísticos e probabilísticos para sondadores de Feixe Simples. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa, MG, 2013.
- Ferreira, I.O. et al. Modelo de Incerteza para sondadores de Feixe Simples. Revista Brasileira de Cartográfica, Nr 68/5, pág. 863-881, 2016.
- Gemael, C.; Andrade, J. B. Geodésia Celeste. Curitiba: Editora UFPR, 389p., 2004.
- Hare, R. Depth and position error budgets for multibeam echosounding. The International Hydrographic Review, 1995.
- Hare, R. et al. Modelling Bathymetric Uncertainty. The International Hydrographic Review, 2011.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em :<<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso: 15 janeiro 2020.

IBGE. Manual do Usuário Aplicativo Online IBGE-PPP Versão: abril 2017. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/servicos-para-posicionamento-geodesico/16334-servico-online-para-pos-processamento-de-dados-gnss-ibge-ppp.html?=&t=processar-os-dados>>. Acesso: 15 de janeiro de 2020.

Krueger, C. P. Métodos de Posicionamento. Parte IV. 9a edição. Setembro de 2018. Acessado em 15 de janeiro de 2020 na página [www.lage.ufpr.br/downloads.html](http://www.lage.ufpr.br/downloads.html)

Krueger, C.P. Investigações sobre Aplicações de Alta Precisão do GPS no Âmbito Marinho. Tese de doutorado em Ciências Geodésicas - Universidade Federal do Paraná, 1996.

Leandro, D. et al. M. Análise da qualidade do posicionamento de uma embarcação em um levantamento hidrográfico. Revista Anais Hidrográficos. Rio de Janeiro, p.75-85, 2008.

Marinha do Brasil, Disponível em :< <https://www.marinha.mil.br/dhn/?q=pt-br/node/33>>. Acesso: 10 dezembro 2019.

Moreira, L. A. Análise da acurácia e da precisão de alguns métodos de posicionamento em tempo real. Dissertação de mestrado, PPGCG, 2016.

Mchugh, C. R. et al. Comparison of horizontal and vertical resolvable resolution between repetitive multi-beam surveys using different kinematic GNSS methods. The International Hydrographic Review, 2015.

Medina, I. Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS | IBGE, 2018.

Mendonça, C. H. C., Detecção e Correção de Perdas de Ciclos para Dados GPS de Tripla Frequência. Dissertação de Mestrado em Ciências Cartográficas, Universidade Estadual Paulista, 2019.

Miguens, A. P. Navegação e Arte v.3 - Navegação eletrônica em condições especiais. Rio de Janeiro: DHN, 2000.

Monico, J. F.G. Posicionamento pelo GNSS. Presidente Prudente: Editora UNESP, 476p.,2007.

Norden, M. F. et al. Hydrographic Surveys to IHO Standards Without Shore Station Using Real-Time GIPSY (RTG) Global Positioning System. U.S. Hydrographic Conference, Us Hydro 2005, San Diego, 2005.

Nardez, N. de N. et al. Determinação dos Afastamentos (Offsets) entre Sensores numa Embarcação Hidrográfica. Revista Brasileira de Cartografia, Vol 68, No 5, 2016.

Nakao, L. T. H.; Krueger, C. P. Análise dos Métodos de Posicionamento e Dos Parâmetros Definidores da Qualidade de um Levantamento Batimétrico. Bulletin of Geodetic Sciences, vol. 23 (3), 419-433, 2017.



\_\_\_\_\_. Normas da Autoridade Marítima para Levantamento Hidrográficos – NORMAM-25/DHN. 2ª Revisão, 2017.

ORGANIZAÇÃO HIDROGRÁFICA INTERNACIONAL (OHI). Especificação da OHI para Levantamentos Hidrográficos: Publicação Especial N° 44 (S-44). Trad. Peter Esteves. Niterói - RJ: DHN, 2008. 32p. Tradução de *IHO Standards for Hydrographic Surveys: Special Publication N° 44 (S-44)*. Principauté de Monaco: International Hydrographic Bureau. 2008.28p.

\_\_\_\_\_. Manual de Hidrografia: Publicação C-13. Trad. Instituto Hidrográfico. Lisboa, Portugal: Instituto Hidrográfico, 2005 (correções até 2010). 548p. Tradução de Manual on Hydrography. Principauté de Monaco: International Hydrographic Bureau.

Pereira, D. L. S. Incerteza e Controle de Qualidade na Medição de Profundidades por meio de Ecobatímetros Multifeixe. Anais Hidrográficos, Rio de Janeiro, p.54-66, 2016.

Ramos A. M., Aplicação, investigação e análise da metodologia de reduções batimétricas através do método GPS diferencial preciso, Dissertação de mestrado. UFPR, 2007.

Seeber, G. “Satellite Geodesy”, Hannover, Alemanha, 2003.

Silva G. N.et al. Zoneamento de Maré. Anais Hidrográficos, Rio de Janeiro, p.108-124, 2014.

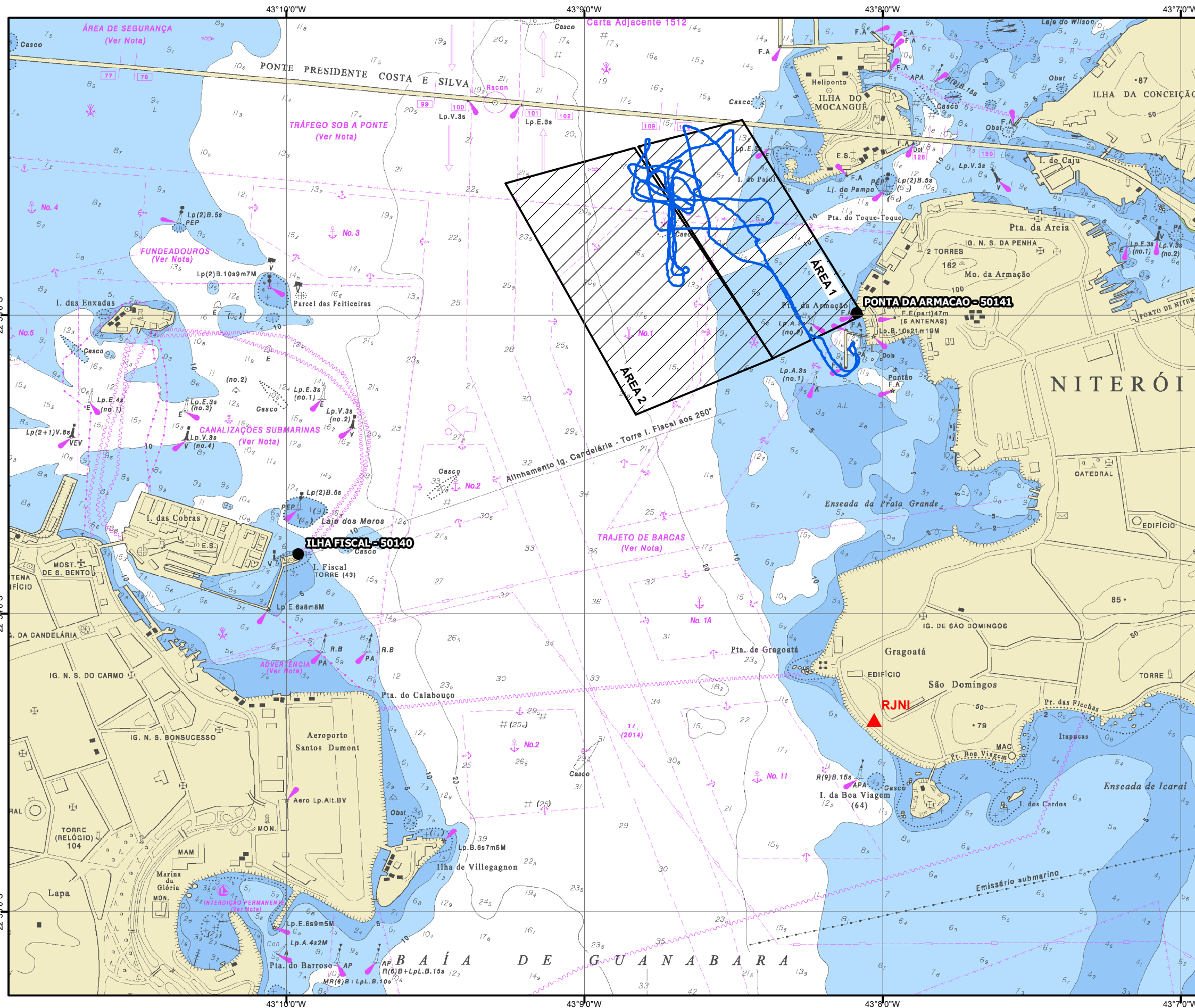
Souza, A. V., Análise dos Parâmetros que Compõem a Equação da Incerteza Vertical Propagada da Profundidade Reduzida, Dissertação UFPR, 2011

Wells D., et al. Prospects for Extended-Range Marine PPK, The International Navigation Conference MELAHA, Cairo, Egypt, 2004.

Willgalis, S.et. al. V.M.C. A real time GPS reference network for cadastral surveys in Recife, Brazil. REVISTA BRASILEIRA DE CARTOGRAFIA. v.55, p.01 - 10, 2003.

**ANEXOS**

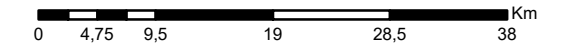
# MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA PESQUISA



## LOCALIZAÇÃO DO LH



ESCALA: 1:25.000



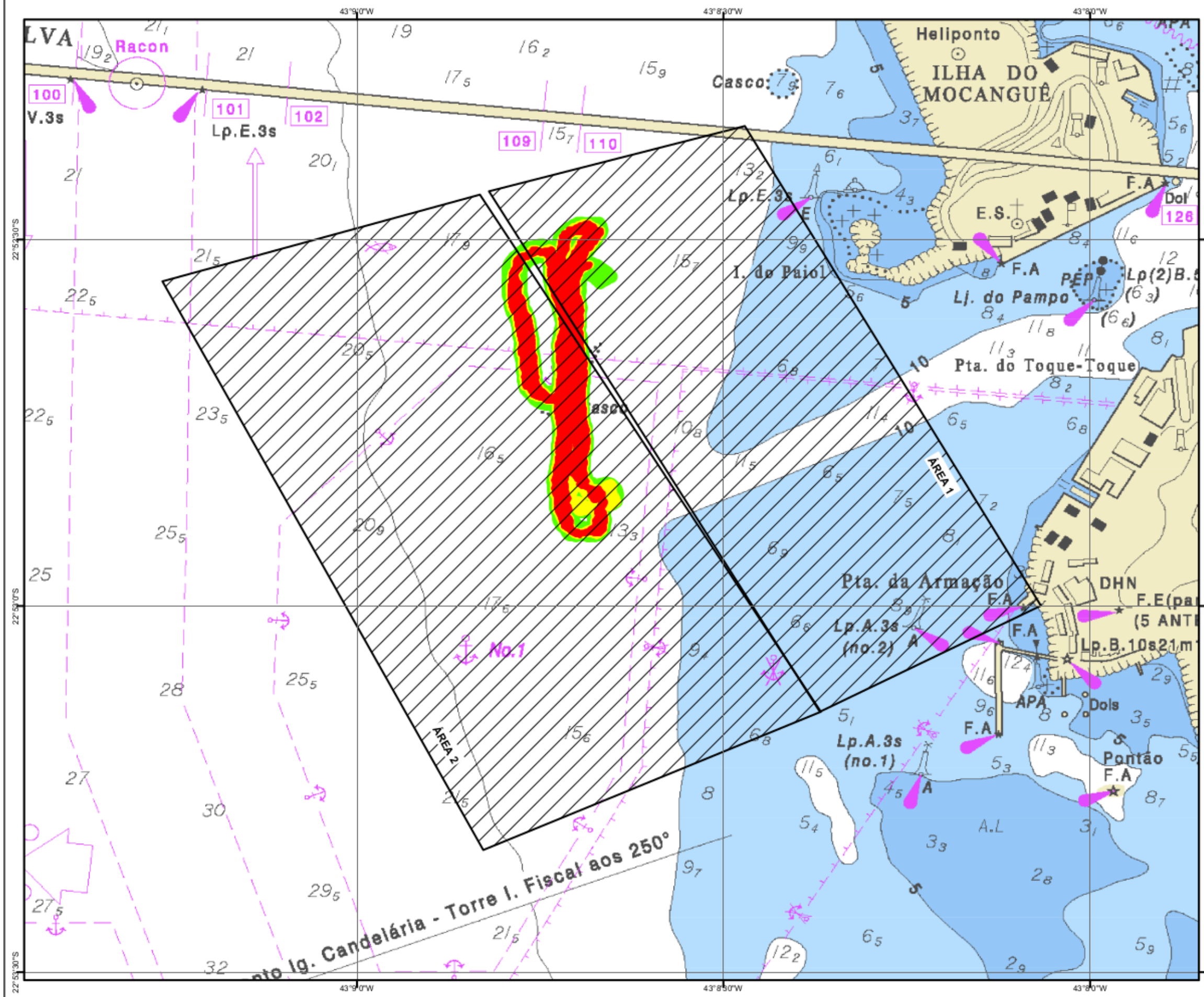
Sistema de Coordenadas Geográficas  
Datum Horizontal: SIRGAS 2000

### LEGENDA

- ▲ Estação RBMC
- Estação Maregráfica
- Localização da área
- ▨ Área de Zonamento

Fonte:  
Marinha do Brasil, 2019: Carta Náutica 1506  
Marinha do Brasil, 2020: Estações Maregráficas  
IBGE, 2020: Estações RBMC





# MAPA DOS MÉTODOS DE POSICIONAMENTO



## LOCALIZAÇÃO DO LH



ESCALA: 1:10.000  
 0 0,075 0,15 0,3 0,45 0,6 Km  
 Sistema de Coordenadas Geográficas  
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000

- LEGENDA**
-  Área de Zoneamento
  - Métodos de Posicionamento**
  -  Método PPK
  -  Método PPP
  -  Método RTG

Fonte:  
 Marinha do Brasil, 2019: Carta Náutica 1506  
 Marinha do Brasil, 2019: Métodos de Posicionamento

## 0. Formulário

Preparado por: Centro de Controle Eng. Kátia Duarte Pereira - RBMC

Data: 14/06/2019

Atualização: 03/01/2020 - Atualização de Firmware

## 1. Identificação da estação GPS

Nome da Estação: NITEROI - UFF

Ident. da Estação: RJNI

Código SAT: [96361](#)

Código Internacional: 48104M001

## 2. Informação sobre a localização

Cidade: Niterói

Estado: Rio de Janeiro

Informações Adicionais: Pilar cilíndrico de concreto com diâmetro de 0,30 m; base de 0,50 x 0,34 x 0,07 m, altura do topo em relação à base de 1,15 m; possui no topo um dispositivo de centragem forçada. Na Universidade Federal Fluminense - UFF, Instituto de Geociências - IGEO, Av. Gal. Milton Tavares de Souza, s/nº, Campus da Praia Vermelha, Boa Viagem.

## 3. Coordenadas oficiais

### 3.1. SIRGAS2000 (Época 2000.4)

Coordenadas Geodésicas			
Latitude:	- 22° 54' 21,36876"	Sigma:	0,001 m
Longitude:	- 43° 08' 1,69433"	Sigma:	0,001 m
Alt. Elip.:	22,439 m	Sigma:	0,003 m
Coordenadas Cartesianas			
X:	4.289.663,4011 m	Sigma:	0,002 m
Y:	-4.018.945,7498 m	Sigma:	0,002 m
Z:	-2.467.135,8382 m	Sigma:	0,001 m
Coordenadas Planas (UTM)			
UTM (N):	7.465.679,499 m		
UTM (E):	691.406,634 m		
MC:	-45		

## 4. Informações do equipamento GNSS

### 4.1. Receptor

4.1.1 Tipo do Receptor - TRIMBLE NETR9  
Número de Série - 5750R51585  
Versão do Firmware - 5.44 (Principal)  
Atualização do Firmware - 03/01/2020 às 13:48 UTC

4.1.2 Tipo do Receptor - TRIMBLE NETR9  
Número de Série - 5750R51585  
Versão do Firmware - 5.43 (Principal)  
Atualização do Firmware - 24/10/2019 às 17:40 UTC

4.1.3 Tipo do Receptor - TRIMBLE NETR9  
Número de Série - 5750R51585  
Versão do Firmware - 5.42 (Principal)  
Atualização do Firmware - 03/09/2019 às 18:40 UTC

---

4.1.4 Tipo do Receptor - TRIMBLE NETR9  
Número de Série - 5750R51585  
Versão do Firmware - 5.37 (Principal)  
Data de Instalação - 14/06/2019 às 00:00 UTC

#### 4.2. Antena

4.2.1 Tipo de Antena - ZEPHYR 3 GEODETIC (TRM115000.00)  
URL imagem - <ftp://ftp.igs.org/pub/station/general/antenna.gra>  
Número de Série - 1551129599  
Altura da Antena (m) - 0,0080 (distância vertical do topo do dispositivo de centragem forçada à base da antena)  
Data de Instalação - 14/06/2019 às 00:00 UTC

---

## 5. Informações Complementares


### 5.1. Para informações técnicas contatar:

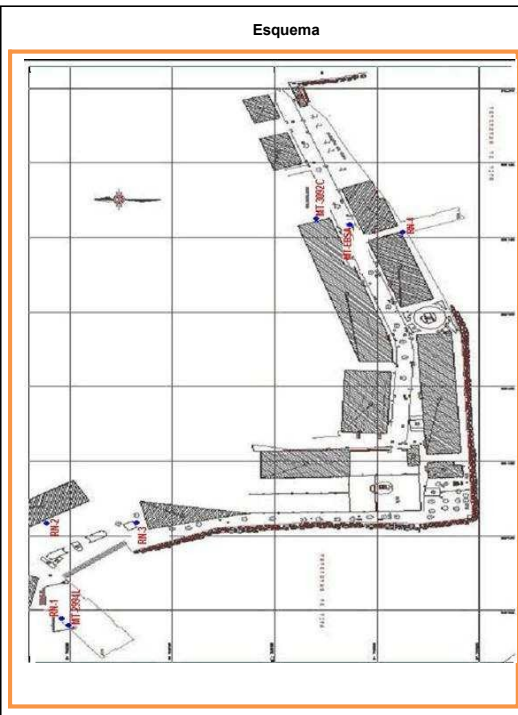
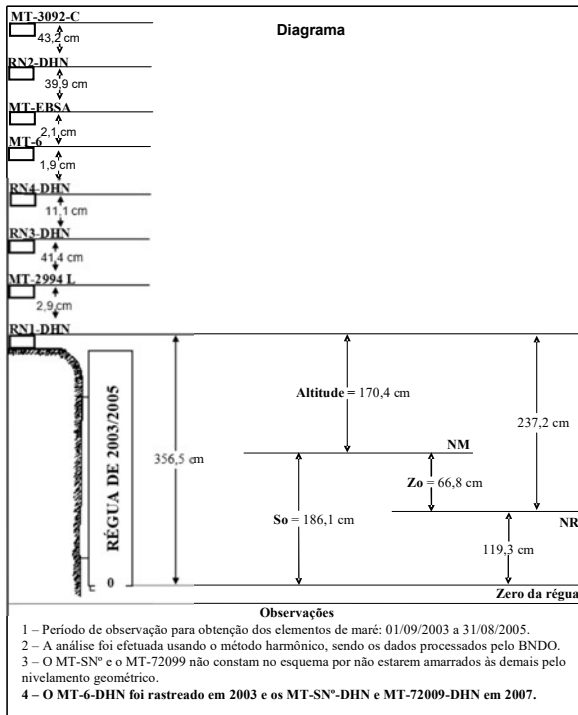
Nome: IBGE/DGC/Coordenação de Geodésia  
Endereço: Av. República do Chile, 500 - 4º andar, Centro - Rio de Janeiro. CEP - 20031-170  
Telefone: (21) 2142-4935  
Home Page: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)

### 5.2. Para informações sobre comercialização e aquisição de dados contatar:

Nome: Centro de Documentação e Disseminação de Informações - CDDI/IBGE  
Endereço: Rua General Canabarro, 706, CEP 20271-201, Rio de Janeiro, RJ  
Telefone: 0800-721-8181  
Contato: [ibge@ibge.gov.br](mailto:ibge@ibge.gov.br)


# Anexo D

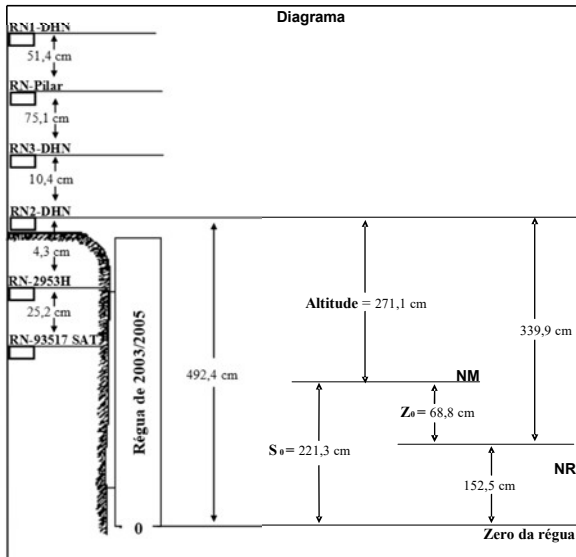
 <b>50141</b> <b>F - 41</b>		<b>F-41 - Padrão - Ponta da Armação - 50141 - Versão 1/2010</b>	
		<b>F-41 - 1515 - 001/03</b>	
<b>DESCRIÇÃO DE ESTAÇÃO MAREGRÁFICA</b>			
<b>Estação</b> Ponta da Armação	<b>Estado</b> RJ	<b>Localidade</b> Niterói	
<b>LH</b> Carta N°. 1515 - Baía de Guanabara - Ilha do Mocanguê e Proximidades	<b>Navio</b> NOC ANTARES	<b>Ano</b> 2003	
<b>Coordenadas geográficas</b>	<b>O nível de redução está <u>119,3</u> centímetros acima do zero da régua de 2003/2005.</b>		
<b>Lat</b> 22° 53' 0 S <b>Long</b> 043° 08' 1 W <b>Datum</b>	<b>Fonte de informação:</b> Análise estatística e harmônica de 731 dias de observação de maré.		
<b>Fuso</b> + 3	<b>Tipo de marégrafo:</b> Hidrologia Diário - Esc: 1:20		
	<b>Zero do marégrafo:</b> coincide com o zero da régua.		
<b>Descrição da régua de marés</b>		<b>Descrição das referências de nível</b>	
<p>Régua de madeira com 3,80 m, fixada ao cais, junto ao abrigo do marégrafo. Os parafusos de fixação da régua estão na altura de 3,60m e 2,50m.</p> <p><b>Esta ficha foi compilada das F-41-1501-001/83, F-41-1501-001/88, F-41-1515-001/07 e da F-41-1515-002/07. Atualizada em 10/11/2010.</b></p>		<p><b>RN1-DHN</b> - Encravada no degrau superior da escada ao lado do marégrafo. Implantada em 1983.  <b>RN2-DHN</b> - Encravada na soleira da porta principal do prédio da antiga Praça D'Armas. Implantada em 1983.  <b>RN3-DHN</b> - Encravada na base do Monumento (Face "N") aos Mortos do "CAM". Implantada em 1983.  <b>RN4-DHN</b> - Encravada no canto da parede, junto ao paiol de material da lancharia "Prócion", próximo ao cais "S". Implantada em 1983.  <b>MT-2994-L</b> - Marco testemunho padrão IBGE, encravado no lado oposto dos degraus da escada da RN1-DHN, abaixo do nível do chão e protegido por uma tampa. Implantada em 1995.  <b>MT-EBSA</b> - Marco com a inscrição "EBSA Corner Monument", localizada na calçada da Praça do Coqueiro. Citado a partir de 2007.  <b>MT-3092-C</b> - Marco testemunho padrão IBGE, localizado atrás do prédio do posto de vendas. Implantada em 2006.  <b>MT-6</b> - Marco testemunho padrão DHN, situado no piso do cais, em frente ao cabeço nº 6. Lat: 22° 52' 59", 9893 S - Long: 043° 08' 05", 8586 W - (F-21-1515-002/03). Citado a partir de 2007.  <b>MT-SN*</b> - Localizado a aproximadamente 70 metros do farol, no pier novo da DHN. Lat: 22° 53' 03", 9999 S - Long: 043° 08' 03", 9825 W - (F-21-1515-002/07). Citado a partir de 2010.  <b>MT-72099</b> - Padrão DHN, localizado na extremidade "S" do pier novo da DHN. Lat: 22° 53' 10", 5052 S - Long: 043° 08' 07", 5571 W - (F-21-1515-003/07). Citado a partir de 2010.</p>	
<b>DHN-6016-A</b>	<b>Arquivo Técnico a ser preenchida no CHM</b>	<b>Pessoal que tomou parte na</b>	
	<b>Recebida em:</b>	<b>Equipe de 2003:</b> CC Marco Antonio F. Rosa 3° SG-HN Eduardo - 3° SG-HN Kleber CB-HN Ahnert	<b>Equipe de 2007:</b> CB-HN Davi CB-HN Erion SC Venceslau FC Priscila (FEMAR)
	<b>Documento de referência:</b> RA-167-03	<b>Chefe da equipe:</b> Fernando A.G. Costa	<b>Chefe da equipe:</b> SO-HN-ME Cardoso





# Anexo E

		<b>50 140</b> <b>F-41</b>	<b>TÁBUAS DAS MARÉS</b>	<b>F - 41 - Padrão - Ilha Fiscal - 50140 - Versão 1/2010</b>		
<b>DESCRIÇÃO DE ESTAÇÃO MAREGRÁFICA</b>		<b>F - 41 - 1515 - 001/05</b>				
<b>Estação</b> Ilha Fiscal		<b>Estado</b> RJ		<b>Localidade</b> Ilha Fiscal		
<b>LH</b>	<b>Carta N.º</b> 1515 – Baía de Guanabara - Ilha do Mocanguê e Proximidades	<b>Navio</b> CHM-31	<b>Ano</b> 2005			
<b>Coordenadas geográficas</b> <b>Lat</b> 22° 53' 8 S <b>Long</b> 043° 10' 0 W <b>Datum</b>  <b>Fuso</b> + 3	<b>O nível de redução está</b> 152,5 <b>centímetros acima do zero da régua de 2003/2005.</b>  <b>Fonte de informação:</b> Análise estatística e harmônica de 731 dias de observação da maré.  <b>Tipo de marégrafo:</b> Hidrologia Diário Esc. 1:20  <b>Zero do marégrafo:</b> Coincide <b>com o zero da régua.</b>					
<b>Descrição das réguas de marés</b>  Composta de 5 réguas de alumínio HIDROMEC, com seções de 1 metro e comprimento total de 5 metros, fixada ao lado do acesso ao abrigo do marégrafo.  <b>Esta ficha foi compilada do Modelo DHN-5503-4/1946 e das F-41-1512-001/99, F-41-1512-001/05 e F-41-1515-001/10. Atualizada em 01/09/2010.</b>		<b>Descrição das referências de nível</b>  <b>RN1-DHN</b> – Marco de metal encravado na parede interna do torreão, acima da RN2-DHN. Implantada em 1946. <b>RN2-DHN</b> – Marco de metal, encravado no chão, abaixo da RN1-DHN. Implantada em 1946. <b>RN3-DHN</b> – Situada no batente da calçada do prédio principal, aproximadamente, 20m a oeste da estação maregráfica. Implantada em 2003. <b>RN-IBGE-2953H</b> – Marco de metal circular, com a inscrição 2953H, ao lado esquerdo da escada de acesso à faxinaria e aproximadamente, a 16m da estação maregráfica. Citada a partir de 1999. <b>RN-IBGE-93517 SAT</b> – Marco de metal circular, com a inscrição 93517 SAT, do lado esquerdo do pilar de observação magnetométrica a aproximadamente 1 m deste. Citada a partir de 2004. <b>RN-PILAR</b> – Marco de metal, encravado no topo de um pilar de observação magnetométrica, situado à esquerda da entrada, a cerca de 3,0m da estação maregráfica. Citada a partir de 1999.				
<b>DHN-6016-A</b>	<b>Arquivo Técnico a ser preenchido no CHM</b>  <b>Recebida em:</b>  <b>Documento de referência:</b> RA-059/04	<b>Pessoal que tomou parte na montagem</b>  <table border="1"> <tr> <td> <b>Equipe de 2005:</b>            Engenheiro Sandro Paixão            Geógrafo Dencs (IEAP)            SG-HN Ribeiro, SG-HN Jesus  <b>Chefe da equipe:</b> SO-HN (Ref.) Cardoso         </td> <td> <b>Equipe de 2010:</b>            SG-HN Monteiro Lima            SC-FEMAR – Neide Araújo   <b>Chefe da equipe:</b> SO HN (Ref.) Cardoso         </td> </tr> </table>			<b>Equipe de 2005:</b> Engenheiro Sandro Paixão Geógrafo Dencs (IEAP) SG-HN Ribeiro, SG-HN Jesus <b>Chefe da equipe:</b> SO-HN (Ref.) Cardoso	<b>Equipe de 2010:</b> SG-HN Monteiro Lima SC-FEMAR – Neide Araújo  <b>Chefe da equipe:</b> SO HN (Ref.) Cardoso
<b>Equipe de 2005:</b> Engenheiro Sandro Paixão Geógrafo Dencs (IEAP) SG-HN Ribeiro, SG-HN Jesus <b>Chefe da equipe:</b> SO-HN (Ref.) Cardoso	<b>Equipe de 2010:</b> SG-HN Monteiro Lima SC-FEMAR – Neide Araújo  <b>Chefe da equipe:</b> SO HN (Ref.) Cardoso					



**Observações**

1. Período de observação para obtenção dos elementos de maré: 01/09/2003 a 31/08/2005.
2. A análise foi efetuada utilizando o método harmônico, sendo os dados processados pelo BNDO.

