

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEODÉSIA  
CURSO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA  
PROJETO CARTOGRÁFICO – GEO05028

Cacio da Silva Iranzo  
Gustavo da Costa Benetti  
Heber Santos de Oliveira

**LEVANTAMENTO TOPOBATIMÉTRICO  
DA FUTURA PATROMORIA DA CAPITANIA FLUVIAL DE PORTO ALEGRE**

Porto Alegre  
2017

Cacio da Silva Iranzo  
Gustavo da Costa Benetti  
Heber Santos de Oliveira

**LEVANTAMENTO TOPOBATIMÉTRICO  
DA FUTURA PATROMORIA DA CAPITANIA FLUVIAL DE PORTO ALEGRE**

Projeto Cartográfico apresentado ao Curso de Engenharia Cartográfica do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para obtenção do grau de Engenheiro Cartógrafo.

Orientador: Prof. Dr. Roosevelt De Lara Santos Jr.

Porto Alegre  
2017

# UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

**Reitor:** Rui Vicente Oppermann

**Vice-Reitor:** Jane Fraga Tutikian

## INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Diretor:** André Sampaio Mexias

**Vice-Diretor:** Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Iranzo, Cacio da Silva

Levantamento topobatimétrico da futura patromoria da capitania fluvial de Porto Alegre. / Cacio da Silva Iranzo; Gustavo da Costa Benetti; Heber Santos de Oliveira - Porto Alegre : IGEO/UFRGS, 2017.

[101 f.] il.

Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Cartográfica. – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2017.

Orientação: Prof. Dr. Roosevelt De Lara Santos Junior

1. Levantamento. 2. Batimetria. 3. Patromoria. 4. Nivelamento. 5. Topográfico. I. Benetti, Gustavo da Costa. II. Oliveira, Heber Santos de. III Título.

---

Catálogo na Publicação  
Biblioteca Geociências - UFRGS  
Renata Cristina Grun CRB10/1113

Cacio da Silva Iranzo  
Gustavo da Costa Benetti  
Heber Santos de Oliveira

**LEVANTAMENTO TOPOBATIMÉTRICO  
DA FUTURA PATROMORIA DA CAPITANIA FLUVIAL DE PORTO ALEGRE**

Este trabalho foi analisado e julgado adequado para a obtenção do grau de Engenheiro Cartógrafo e aprovado em sua forma final pelo professor orientador e pela Banca Examinadora designada pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Aprovado em: 23/01/2018.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Felipe Geremia Nievinski - UFRGS

---

Prof. Dr. Jorge Luiz Barbosa da Silva - UFRGS

---

Prof. Dr. Roosevelt De Lara Santos Jr. - UFRGS (orientador)

## **AGRADECIMENTOS**

Inicialmente agradecemos a Deus, por ter nos dado saúde, proteção e a vontade para a realização deste trabalho.

As esposas Analine (Heber) e Ritchelle (Cacio), pela paciência, carinho, amor e força, por sempre estar apoiando em todo momento a realização dos objetivos e não nos deixar desistir dos propósitos.

Aos pais Manoel e Luciani (Cacio), Ricardo e Dioneia (Gustavo) e Joás e Nairbec (Heber) que estiveram nos incentivando e que acreditam em nosso potencial.

Aos filhos Davi e Gabriel (Heber), que mesmos na sua ausência pelas diversas atividades acadêmicas sempre o incentivou e compreenderam a sua falta em momentos de suas vidas.

Ao professor Dr. Roosevelt De Lara Santos Junior pela orientação, conselhos, incentivo, confiança e apoio durante o desenvolvimento deste projeto, bem como motivação na realização deste trabalho, e que de forma brilhante nos manteve em uma singradura segura, sem que saíssemos do rumo estabelecido.

Ao CMG Amaury, Capitão dos Portos da Capitania Fluvial de Porto Alegre que permitiu a realização deste trabalho na área da futura Patromoria, bem como disponibilização de colaboradores, embarcação e suas instalações para apoio logístico.

Ao Engenheiro Álvaro Mello, Diretor de Hidrovias da Superintendência do Porto de Rio Grande (SUPRG) em Porto Alegre, pela disponibilidade na realização do levantamento batimétrico com o ecobatímetro multifeixe, proporcionando uma experiência ímpar para nós graduandos participando desta atividade com esse equipamento de última geração.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul e IGEO, pela oportunidade e disponibilização dos equipamentos que foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Aos Professores da Engenharia Cartográfica que sempre estiveram dispostos a esclarecer dúvidas e sempre nos apoiando nas diversas atividades ao longo do curso.

Ao Primeiro-Sargento Lacerda da Marinha do Brasil, condutor da embarcação, cuja presteza e perícia em navegação, permitiram a realização das atividades de levantamento com ecobatímetro monofeixe e levantamento por toque utilizando o grave.

Ao CECO pela disponibilidade do ecobatímetro monofeixe, através do nosso orientador, que foi essencial para enriquecer este trabalho.

E a todos aqueles que, de forma direta ou indireta colaboraram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

Um levantamento batimétrico pode ser simplificado em duas tarefas básicas: medir profundidades da superfície da água até o fundo, e localizar a posição em que essas chamadas sondagens foram feitas. A dificuldade nessa tarefa é a incapacidade de visualização da área a ser mapeada, devendo o responsável pela batimetria, sempre que possível, se valer de métodos estatísticos para validar o levantamento. Diversos profissionais utilizam os produtos desses levantamentos para, por exemplo, planejar e monitorar operações de dragagens de portos e rios, bem como para verificar as capacidades de reservatório para controle de inundação e sistemas de fornecimento de água. O método com que é executada a batimetria depende da situação e recursos disponíveis, mas basicamente se divide em métodos diretos e indiretos. Uma área portuária, como a da futura Patromoria da Capitania Fluvial de Porto Alegre, exige a unificação dos referenciais altimétricos, o que acarreta em outras atividades relacionadas ao levantamento batimétrico, como o transporte de altitudes das referências de nível das redondezas até marcos geodésicos implantados no terreno da Patromoria, através de nivelamento geométrico. Os marcos, que serviram de apoio para o levantamento topográfico da parte seca, foram posicionados via GNSS pelo método relativo estático, sendo processados em relação à estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo. O levantamento topográfico efetuado engloba planimetria e altimetria, e serviu para caracterizar o terreno da Patromoria visando o planejamento da obra, sendo gerado nesta etapa, ainda, o memorial descritivo. Após o processamento dos dados proporcionados por essas atividades, a equipe confeccionou as plantas planialtimétrica e topobatimétrica da área da futura Patromoria da Capitania Fluvial de Porto Alegre.

Palavras-chave: Levantamento. Sondagens. Batimetria. Patromoria. Capitania. Nivelamento. Marcos. Topográfico. GNSS. Planimetria. Altimetria. Memorial. Plantas.

## **ABSTRACT**

A bathymetric surveying can be simplified into two tasks: measuring depths of the water surface to the bottom, and locating a position in which these measurements were done. The complication of this is a mapped area can not be seen, so the responsible for bathymetry, whenever possible, use statistical methods to validate the surveying. Engineers use the bathymetrics products to, for example, plan and monitoring drag operations at harbors and rivers, as well as to check how control capabilities for installing water systems. The method by which bathymetry is performed depends on the situation and available resources, but basically it is divided into direct and indirect methods. A harbor area, such as the future vessel parking of CFPA, requires a unification of the altimetric references, which entails other activities related to the bathymetric surveying, such as the transportation of reference heights to geodetic landmarks implanted on the land, through of geometric levelling. The landmarks, which support the topographic surveying of the land, were tracked via GNSS using the static relative method, being processed in relation to stations of the RBMC. The surveying carried out will include planimetry and altimetry, and served to characterize the land for the planning of the work, being generated in this stage, also, the descriptive memorial. After the data processing by activities, a team made the planaltimetric and topobatimetric plants of the area of the future vessel parking of CFPA.

Keywords: Surveying. Measurements. Bathymetry. Levelling. Landmarks. GNSS. Planimetry. Altimetry. Plants.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Jurisdição das Capitânicas, Delegacia e Agência no Rio Grande do Sul	16
Figura 2 - Localização da área de estudo	21
Figura 3 - Desnível entre dois pontos	25
Figura 4 - Nivelamento Geométrico Simples	27
Figura 5 - Nivelamento Geométrico Composto	28
Figura 6 - Movimentos de atitude da embarcação	34
Figura 7 - Ecobatímetro multifeixe SeaBat 7125 – Teledyne RESON Dual Head	41
Figura 8 - Receptor (à esquerda) e transdutor (à direita) do ecobatímetro monofeixe	44
Figura 9 - Grave	44
Figura 10 - Embarcação	46
Figura 11 - Implantação dos marcos geodésicos na Patromoria	49
Figura 12 - Posicionamento dos marcos geodésicos	49
Figura 13 - Localização das RRNN 1788A, 1782Z e 1782X	51
Figura 14 - RN 1788A	52
Figura 15 - Ponto de Segurança PS001 (trilho)	53
Figura 16 - Leitura da RÉGUA	53
Figura 17 - RN 1782Z	54
Figura 18 - Leitura na RN 1782Z	54
Figura 19 - Chegada ao portão norte do Cais Mauá	55
Figura 20 - Trajeto da etapa 4	56
Figura 21 - RN 1782X	56
Figura 22 - Croqui do nivelamento geométrico realizado	57
Figura 23 - Cabeço fundido (esquerda), cabeço avariado (meio) e Contêiner de Explosivos (direita)	60
Figura 24 - Telheiro	60
Figura 25 - Antenas dos receptores GNSS do sistema multifeixe	62
Figura 26 - Levantamento batimétrico por toque utilizando grave	64
Figura 27 - Croqui do possível deslocamento do grave causado pela correnteza	65

Figura 28 - Distribuição de pontos levantados na batimetria com grave	66
Figura 29 - Ecobatímetro monofeixe	67
Figura 30 - Objetos encontrados no rio	67
Figura 31 - Medida do offset da régua linimétrica	68
Figura 32 - Croqui do nivelamento geométrico, desníveis, altitudes ortométricas, distâncias horizontais	72
Figura 33 - Altitude geoidal (N)	73
Figura 34 - Fluxograma do processamento dos dados multifeixe	76
Figura 35 - Pontos de ruído selecionados em amarelo (à esquerda), e eliminados (à direita)	77
Figura 36 - Modelos gerados nas etapas de filtragem dos dados multifeixe	79
Figura 37 - Isóbatas com equidistância de 0,5 m geradas a partir dos dados multifeixe	80
Figura 38 - Reduções altimétricas para o levantamento com grave, a partir da leitura da régua linimétrica	81
Figura 39 - Croqui das reduções altimétricas a partir das irradiações com a estação total	83
Figura 40 - Histograma das discrepâncias das profundidades do levantamento com grave	84
Figura 41 - Isóbatas da superfície gerada pela batimetria com grave	84
Figura 42 - Croqui de reduções altimétricas para o levantamento monofeixe	85
Figura 43 - Fotografias da régua linimétrica para verificação da altura da lâmina d'água	86
Figura 44 - Ecograma dos dados monofeixe com ruídos (à esquerda) e após a exclusão (à direita)	87
Figura 45 - Modelos gerados nas etapas de filtragem dos dados monofeixe	87
Figura 46 - Isóbatas com equidistância de 0,5m geradas a partir dos dados monofeixe	88
Figura 47 - Superfície MONO-MULT	89
Figura 48 - Histograma das discrepâncias entre monofeixe e multifeixe	90

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Erros de fechamento de cada seção de nivelamento	58
Tabela 2 - Tolerância para cada seção de nivelamento	58
Tabela 3 - Tolerância para cada linha de nivelamento	59
Tabela 4 - Tolerância dos desníveis obtidos para cada linha de nivelamento	59
Tabela 5 - Altitudes ortométricas de referência (IBGE)	68
Tabela 6 - Altitudes calculadas para os lances e seções do nivelamento	69
Tabela 7 - Erro de fechamento entre desníveis calculados e desníveis de referência	70
Tabela 8 - Fatores de correção e desníveis corrigidos obtidos	71
Tabela 9 - Desníveis e altitudes corrigidas dos lances e seções do nivelamento	71
Tabela 10 - Altitudes geométricas e ortométricas dos marcos geodésicos implantados	72
Tabela 11 - Altitudes ortométricas obtidas pelo MAPGEO 2015	73
Tabela 12 - Discrepâncias entre as altitudes ortométricas	74
Tabela 13 - Validação dos levantamentos multifeixe e monofeixe	92

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MB	Marinha do Brasil
DPC	Diretoria de Portos e Costas
OM	Organização Militar
AGTRAMANDAÍ	Agência da Capitania dos Portos em Tramandaí
CPRS	Capitania dos Portos de Rio Grande
DELURUG	Delegacia Fluvial de Uruguaiana
CFPA	Capitania Fluvial de Porto Alegre
NPCF-CFPA	Normas e Procedimentos da CFPA
SUPRG	Superintendência do Porto de Rio Grande
SPH	Superintendência de Portos e Hidrovias
NORMAN	Normas da Autoridade Marítima
AJB	Águas Jurisdicionais Brasileiras
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
PS	Ponto de segurança
RN	Referência de nível
RRNN	Plural de RN
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
SIG	Sistema de Informações Geográficas
ECSR	Embarcação de casco semi-rígido
GPS	Global Positioning System
DGPS	Differential Global Positioning System
RTK	Real Time Kinematic
GNSS	Global Navigation Satellite System
RAAP	Rede Altimétrica de Alta Precisão
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
POAL	Estação da RBMC localizada em Porto Alegre
RSPE	Estação da RBMC localizada em Pelotas
RSPF	Estação da RBMC localizada em Passo Fundo

SMAR	Estação da RBMC localizada em Santa Maria
TWTT	Two Way Travel Time
SVP	Sound Velocity Profiler
OHI	Organização Hidrográfica Internacional
NR	Nível de redução
ZR	Zero da régua linimétrica
PTL	Plano Topográfico Local
CECO	Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica
WGS	World Geodetic System
UTM	Universal Transversa de Mercator
PEC	Padrão de Exatidão Cartográfica
MT	Incerteza Vertical Total

## LISTA DE SÍMBOLOS

ppm	Partes por milhão
° C	Graus Celsius
°	Grau de arco
'	Minuto de arco
''	Segundo de arco
hp	horse power
MPH	Milhas por hora
H	Altitude ortométrica
H <sub>CALC</sub>	Altitude ortométrica calculada
H <sub>CORR</sub>	Altitude ortométrica corrigida
h	Altitude geométrica
N	Altitude geoidal
DH	Distância horizontal
ΔH	Desnível
ΔH <sub>N</sub>	Desnível obtido no nivelamento
ΔH <sub>CN</sub>	Desnível obtido no contranivelamento
k	Distância nivelada em quilômetros
L	Leitura na mira
σ	Função semivariograma
Z	Valores experimentais
N <sub>p</sub>	Número de pares experimentais
h <sub>o</sub>	Intervalo que separa os valores experimentais
FATOR <sub>CORR</sub>	Valor de correção para a seção
ERRO <sub>LINHA</sub>	Valor do erro na seção
DH <sub>SEÇÃO</sub>	Distância horizontal da seção
DH <sub>LINHA</sub>	Distância horizontal da linha
ΔH <sub>CALC</sub>	Desnível calculado
ΔH <sub>REF</sub>	Desnível de referência
ΔH <sub>CORR</sub>	Desnível corrigido
v <sub>s</sub>	Velocidade de propagação do som

$d$	Distância entre transdutor e refletor
$\Delta t$	Intervalo de tempo entre o duplo trajeto transdutor/refletor
$P$	Profundidade
$\Delta P$	Diferença de profundidade entre dois pontos
$DC$	Declividade entre dois pontos em %
$P_{inc}$	Profundidade inclinada
$P_v$	Profundidade vertical
$d_H$	Deslocamento horizontal do grave causado pela correnteza
$P_{NR}$	Profundidade ao nível de redução
$P_{OBS}$	Profundidade da leitura no grave
$DI$	Distância inclinada
$z$	Ângulo zenital
$A_i$	Altura do instrumento
$H_M$	Altitude ortométrica do marco geodésico
$E$	Coordenada UTM eixo das abcissas
$N$	Coordenada UTM eixo das ordenadas
$NA$	Distância até o nível d'água
$LR$	Leitura na régua linimétrica da estação fluviométrica
$\Delta_{NR}$	Diferença entre o zero da régua linimétrica e o nível de redução

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>16</b>
<b>1.1 Considerações iniciais</b>	<b>16</b>
<b>1.2 Objetivo geral</b>	<b>19</b>
<b>1.3 Objetivos específicos</b>	<b>19</b>
<b>1.4 Justificativa</b>	<b>19</b>
<b>1.5 Localização da área de estudo</b>	<b>21</b>
<b>1.6 Estrutura do trabalho</b>	<b>22</b>
<b>2 DESENVOLVIMENTO</b>	<b>23</b>
<b>2.1 Fundamentação teórica</b>	<b>23</b>
2.1.1 Apoio topográfico	23
2.1.2 Levantamento topográfico planialtimétrico	29
2.1.3 Batimetria	31
2.1.4 Modelagem de dados	35
<b>2.2 Materiais e métodos</b>	<b>37</b>
2.2.1 Recursos humanos	37
2.2.2 Equipamentos	38
2.2.2.1 <i>Receptores GNSS</i>	38
2.2.2.2 <i>Estação Total</i>	39
2.2.2.3 <i>Nível Digital</i>	40
2.2.2.4 <i>Ecobatímetro multifeixe</i>	41
2.2.2.5 <i>Outros componentes do sistema multifeixe</i>	42
2.2.2.6 <i>Ecobatímetro monofeixe</i>	43
2.2.2.7 <i>Grave</i>	44
2.2.2.8 <i>Embarcação</i>	45
2.2.2.9 <i>Softwares</i>	46
2.2.2.10 <i>Materiais diversos</i>	47
2.2.3 Logística	47
2.2.4 Implantação e posicionamento dos marcos geodésicos	48
2.2.5 Transporte de altitudes	50
2.2.6 Levantamento topográfico planialtimétrico	59
2.2.7 Batimetria	61
2.2.7.1 <i>Batimetria multifeixe</i>	61
2.2.7.2 <i>Batimetria por toque utilizando grave</i>	63
2.2.7.3 <i>Batimetria monofeixe</i>	66
<b>3 RESULTADOS</b>	<b>68</b>
<b>3.1 Transporte de altitudes</b>	<b>68</b>
<b>3.2 Levantamento topográfico planialtimétrico</b>	<b>74</b>



<b>3.3 Batimetria</b>	<b>75</b>
3.3.1 Batimetria multifeixe	75
3.3.2 Batimetria por toque utilizando grave	80
3.3.3 Batimetria monofeixe	85
<b>3.4 Análise estatística</b>	<b>88</b>
<b>3.5 Produtos finais</b>	<b>92</b>
<b>4 CONCLUSÃO</b>	<b>93</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>95</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>97</b>

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Considerações iniciais

A Marinha do Brasil (MB) é a parcela mais antiga das Forças Armadas e que tem como propósito maior manter a soberania do país nas águas marítimas e fluviais. Dentre as diversas atividades relacionadas à MB, estão elencadas contribuir para a segurança do tráfego aquaviário, a prevenção da poluição hídrica e a salvaguarda da vida humana no mar, sendo estas de responsabilidade das Agências, Delegacias e Capitânicas dos Portos sob supervisão da Diretoria de Portos e Costas (DPC) da MB.

O Rio Grande do Sul possui quatro Organizações Militares (OM) responsáveis por este tipo de atividade, distribuídas de forma estratégica (figura 1): a Agência da Capitania dos Portos em Tramandaí (AGTRAMANDAÍ), responsável pela região do litoral norte; a região sul e sudeste do estado à Capitania dos Portos de Rio Grande (CPRS); a área sudoeste à Delegacia Fluvial de Uruguaiana (DELURUG); e a parte central, oeste e norte do estado à Capitania Fluvial de Porto Alegre (CFPA); todas subordinadas ao Comando do 5º Distrito Naval, localizado na cidade de Rio Grande.

Figura 1 - Jurisdição das Capitânicas, Delegacia e Agência no Rio Grande do Sul



Fonte: NPCF-CFPA, 2015

A CFPA, possui em sua jurisdição 359 municípios que equivale a 72% dos municípios do Rio Grande do Sul, composta por uma grande malha hidroviária, que engloba os rios Jacuí, Gravataí, Caí, Taquari, Guaíba e Parte da Laguna dos Patos, por onde circulam diversos tipos de embarcações de carga, transporte de passageiros, rebocadores, pesqueiros, lanchas, veleiros, motos-aquáticas, dragas, entre outros.

A CFPA tem como principal finalidade a segurança do tráfego aquaviário, busca e salvamento fluvial, fiscalizar serviços de praticagem, realizar inspeções navais e vistorias, além de instaurar e conduzir inquéritos cabíveis a investigação de atos criminais e fatos relacionados à acidentes de navegação. Possui uma das maiores frotas náuticas do Brasil sob sua jurisdição, com aproximadamente 28.522 embarcações registradas (Relatório Estatístico de Embarcações - CFPA).

Atualmente a CFPA não possui um local específico para guarda das embarcações e dar apoio logístico às atividades que envolvem navegação. Diante desta situação, o Comando do 5º Distrito Naval juntamente com o Capitão dos Portos da CFPA, buscou uma alternativa para solucionar esse problema. Após negociações, envolvendo a antiga Superintendência de Portos e Hidrovias (SPH) atual Superintendência do Porto de Rio Grande (SUPRG), subordinada à Secretaria de Transportes do Estado do Rio Grande do Sul, e a Capitania Fluvial de Porto Alegre, foi assinado em outubro de 2016 o Termo de Cessão de Uso Não Oneroso de uma área no cais do porto de Porto Alegre com aproximadamente 10.000 m<sup>2</sup>.

Com a construção da Patromoria<sup>1</sup> na área supracitada, será proporcionada à CFPA maior capacidade operacional, de logística e estratégia, a fim de melhor cumprir às diversas demandas que competem a esta organização militar. E para realização desta obra atender as necessidades da CFPA, é de fundamental importância ter conhecimento das profundidades nas proximidades da área da Patromoria, com intuito de que as aproximações de embarcações de pequeno ou grande porte ao cais sejam realizadas de forma segura. Entretanto, desenvolver mapeamentos de superfícies submersas é um desafio pelas próprias dificuldades inerentes. No que tange as cartas náuticas muitas tornam-se desatualizadas devido ao dinamismo dos sistemas hídricos,

---

<sup>1</sup> Patromoria é especificamente um departamento da Marinha do Brasil que consiste no local de atracação das embarcações da Capitania e/ou Delegacia dos Portos de determinado estado ou município.

como a ocorrência de processos de erosão e deposição de sedimentos nos leitos de rios, lagos e regiões costeiras.

Para a obtenção das profundidades, deve ser realizado um levantamento batimétrico, para o qual existem diversas técnicas conhecidas, como levantamento por toque utilizando grave e batimetria utilizando vara de prumar, as quais foram as primeiras técnicas de medição direta de profundidade; atualmente utilizando ecobatímetros (monofeixe e multifeixe) e sonares, que permitem uma varredura quase que total do fundo.

Contudo, a integração de dados altimétricos entre a região portuária (altitudes) e a área fluvial (profundidades) é de suma importância do ponto de vista cartográfico. Essa integração altimétrica visa o correto planejamento de obras em áreas fluviais assim como a avaliação correta de risco de enchentes e inundações em regiões portuárias. No Brasil, a integração de dados de altitudes e profundidades, tanto fluvial quanto oceânica, não é satisfatória, tendo em vista a descontinuidade entre os níveis de referência fornecidos pela cartografia terrestre e das profundidades apresentadas na cartografia náutica.

Dessa forma, além do levantamento batimétrico, deve ser feito o transporte das altitudes ortométricas a partir das RRNN da rede fundamental do IBGE para realizar as reduções altimétricas das profundidades obtidas no referido levantamento, bem como a realização de mapeamento da área utilizando técnica convencional de topografia apoiada por GNSS, para se obter uma alta qualidade posicional dos detalhes do terreno da área de interesse.

Com o projeto idealizado, foi realizada uma consulta à CFPA, para saber dos possíveis interesses e disponibilidade de apoio para o desenvolvimento do mesmo. As respostas foram positivas, pois o interesse é de ambas as partes. De posse da resposta favorável da CFPA, consultamos à SUPRG sobre a possibilidade de apoio no levantamento batimétrico utilizando equipamento de sua propriedade (ecobatímetro multifeixe) para realização de parte fundamental do projeto, e mais uma vez o grupo teve êxito.

Desta forma, os trabalhos foram iniciados no mês de agosto, ao início do segundo semestre letivo do ano de 2017, com o propósito de obter os dados necessários para o cumprimento dos objetivos expostos a seguir.

## 1.2 Objetivo geral

Realizar mapeamento planialtimétrico, na parte seca, e mapeamento batimétrico, na parte submersa, na área de estudo, com o intuito de representar, em planta, todas as feições de interesse para o planejamento da construção da futura Patromoria da Capitania Fluvial de Porto Alegre, tais como profundidade das imediações e detalhes existentes no terreno, empregando os conhecimentos adquiridos no decorrer do Curso de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

## 1.3 Objetivos específicos

- Efetuar levantamento batimétrico na área da Patromoria;
- Realizar levantamento topográfico planialtimétrico na área da Patromoria;
- Executar, utilizando o método de nivelamento geométrico, o transporte altimétrico a partir das RRNN do IBGE;
- Confeccionar planta topobatimétrica na escala 1:500;
- Elaborar planta planialtimétrica na escala 1:250; e
- Produzir memorial descritivo do levantamento topográfico.

## 1.4 Justificativa

O trabalho de mapeamento proposto pelo grupo, faz parte de uma das exigências preconizadas na Norma da Autoridade Marítima para Obras, Dragagens, Pesquisas e Lavra de Minerais sob, sobre e às margens das Águas Jurisdicionais

Brasileiras (AJB) da Diretoria de Portos e Costas (DPC), da Marinha do Brasil (NORMAM-11/DPC).

Segundo a NORMAM-11/DPC, as Águas Jurisdicionais Brasileiras:

Compreendem as águas interiores e os espaços marítimos, nos quais o Brasil exerce jurisdição, em algum grau, sobre atividades, pessoas, instalações, embarcações e recursos naturais vivos e não-vivos, encontrados na massa líquida, no leito ou no subsolo marinho, para os fins de controle e fiscalização, dentro dos limites da legislação internacional e nacional. Esses espaços marítimos compreendem a faixa de 200 milhas marítimas contadas a partir das linhas de base, acrescida das águas sobrejacentes à extensão da Plataforma Continental, além das 200 milhas marítimas, onde ela ocorrer (NORMAN-11/DPC, 2017, p.12).

Compete a MB avaliar a execução destas obras, emitindo parecer no que concerne ao ordenamento do espaço aquaviário e segurança da navegação.

Como a Patromoria será construída na área do cais do porto de Porto Alegre, enquadra-se no item 0203 da NORMAM-11/DPC, o qual expõe como exigências para avaliação de execução de obras de pequeno porte de cais, píeres, molhes, trapiches, para clubes, condomínios, marinas e terminais pesqueiros e similares, a apresentação dos seguintes documentos:

- A. Requerimento ao Capitão dos Portos;
- B. Planta de localização;
- C. Planta de situação;
- D. Memorial descritivo;
- E. Documentação fotográfica; e
- F. Apresentação da Anotação de Responsabilidade Técnica (ART).

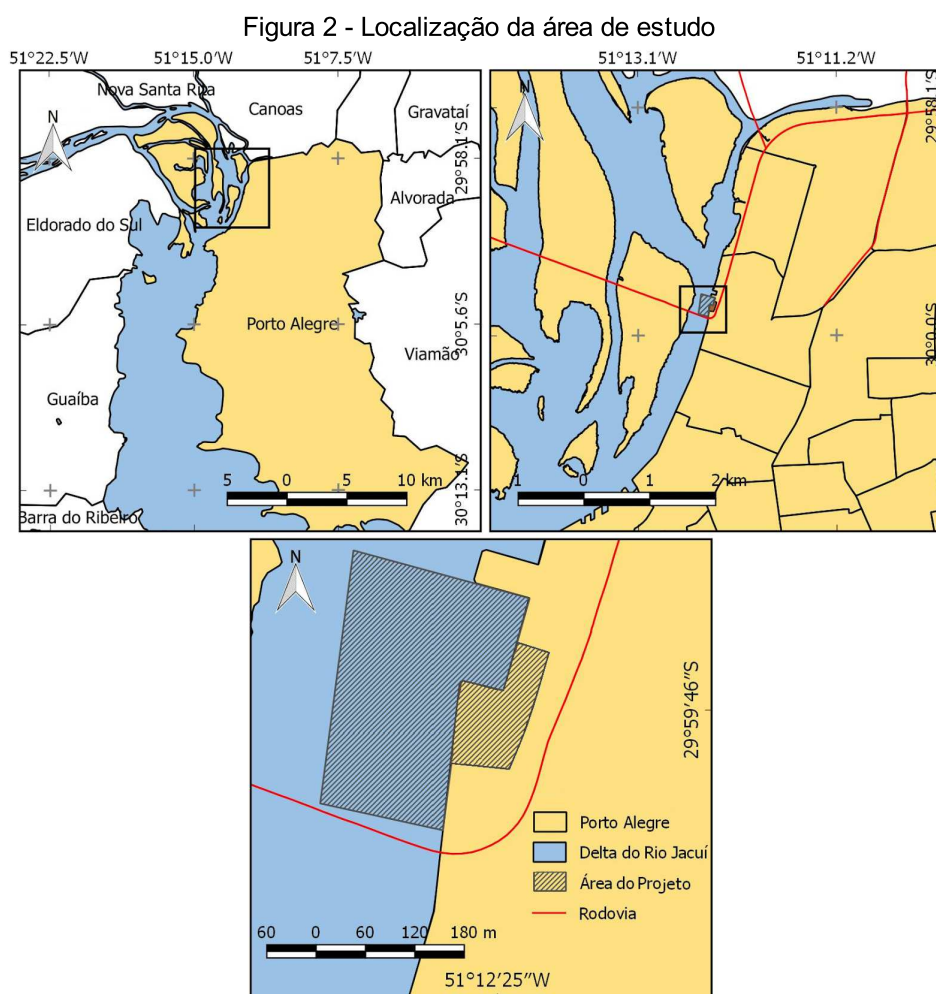
Para este trabalho de conclusão de curso serão contemplados os itens B, C e D, os quais servirão de base para a elaboração dos demais itens acima descritos.

A execução deste trabalho se justifica, ainda, por uma maior divulgação do curso de Engenharia Cartográfica da UFRGS, além de aproximar a universidade de

instituições como a Marinha do Brasil e Superintendência do Porto de Rio Grande, visando futuros projetos envolvendo os discentes.

### 1.5 Localização da área de estudo

A área da Patromoria está localizada na latitude  $29^{\circ} 57' 21,26''$  S e longitude  $51^{\circ} 12' 20,73''$  O, com acesso pela rua João Moreira Maciel 250/300, Cais do Porto, município de Porto Alegre, paralela a BR-290 na altura do km 96, a 200 metros da Ponte Getúlio Vargas e aproximadamente 5 km do centro de Porto Alegre, compreendendo uma área de  $10.000 \text{ m}^2$ . A localização da Patromoria pode ser visualizada a partir da figura 2.



Fonte: Autores

## 1.6 Estrutura do trabalho

O presente relatório está estruturado de forma com que o seu desenvolvimento forneça, primeiramente, a referencial teórico utilizado como embasamento na realização de cada etapa do trabalho, através do item 2.1 (Fundamentação teórica), e posteriormente, descreva as tarefas necessárias para o cumprimento dos objetivos propostos através dos itens 2.2.4 (Implantação e posicionamento dos marcos geodésicos) a 2.2.7 (Batimetria), especificando a cada método os equipamentos utilizados. Os detalhes sobre os equipamentos são expostos separadamente no item 2.2.2 (Equipamentos), incluindo *softwares* e materiais diversos utilizados. Ao final, no capítulo 3 (Resultados), serão apresentados e discutidos os resultados obtidos, assim como os produtos gerados. Por último, no capítulo 4 (Conclusões), o grupo expõe suas considerações finais sobre o projeto executado. Os anexos mencionados durante o trabalho estão disponíveis em um CD-ROM incluso à este relatório.



## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Fundamentação teórica

#### 2.1.1 Apoio topográfico

De acordo com a versão preliminar da NBR 13.133 (2016, p. 4), que versa sobre a execução de levantamento topográfico, apoio topográfico é um “conjunto de pontos referenciados planimétricos, altimétricos ou planialtimétricos, que servem de base ao levantamento topográfico.” Tais pontos devem ser materializados no terreno conforme seu grau de importância e durabilidade.

Segundo a Norma de Serviço nº 001, de Padronização de Marcos Geodésicos, publicada pelo IBGE em agosto de 2008, que trata das etapas de construção, manutenção e reparo de estação, a materialização das estações geodésicas pode ser realizada das seguintes formas:

- Chapa cravada em superfície estável já existente no local;
- Marco ou pilar de concreto com chapa incrustada no seu topo; ou
- Pilar de concreto com dispositivo de centragem forçada incrustado no topo e chapa cravada na lateral.

Em todas as formas acima citadas, a identificação deve ser feita através de legendas gravadas na chapa.

A Norma preceitua ainda, que em sua implantação, sempre que possível se deve escolher locais observando os seguintes critérios:

- evitar locais próximos a estações de transmissão de microondas, radares, antenas de rádio, repetidoras e linhas de transmissão de alta voltagem, por representarem fontes de interferência para os sinais GNSS;
- o horizonte deve estar desobstruído acima de 15°; em relação ao ponto de referência que materializa a estação;

- a área situada a 100 metros da estação deve estar livre de estruturas artificiais, particularmente paredes metálicas, de alvenaria ou superfícies naturais, como paredões rochosos;
- o local de implantação deve ser estável, sem qualquer influência de vibrações ou trepidações;
- evitar localidades próximas a espelhos d'água, como rios, lagos, etc.; e
- evitar localidades próximas a árvores e vegetação densa.

Obedecendo aos preceitos supracitados, as coordenadas dos marcos implantados na Patromoria serão determinadas pela técnica satelital de posicionamento via GNSS utilizando o método relativo estático, sobre o qual Monico (2007) expõe o seguinte:

(...) no método de posicionamento relativo estático o período de ocupação é relativamente longo, apenas as diferenças de fase da onda portadora são em geral incluídas como observáveis. Como a precisão da fase da onda portadora é muito superior à da pseudodistância, a participação desta última não melhora os resultados de forma significativa. Mesmo assim, as pseudodistâncias devem estar disponíveis, pois elas são empregadas no pré-processamento para estimar o erro do relógio do receptor, ou calcular o instante aproximado de transmissão do sinal pelo satélite. Trata-se de método muito adotado em posicionamento geodésico, em particular em *softwares* comerciais (MONICO, 2007, p. 334).

Ao término desta etapa, os marcos implantados na Patromoria serão os pontos de apoio<sup>2</sup> para o restante do trabalho. No entanto, vale ressaltar que as altitudes obtidas no rastreamento dos marcos terão caráter geométrico, vinculados ao elipsóide, que é a superfície de referência com tratamento matemático que mais se aproxima do geóide<sup>3</sup>. Todavia, para o presente projeto é de interesse que se tenha as altitudes ortométricas dos referidos marcos, ou seja, suas distâncias em relação ao geóide.

---

<sup>2</sup> Pontos convenientemente distribuídos, que vinculam o terreno ao levantamento topográfico e, por isso, são materializados com, por exemplo, piquetes, marcos de concreto, pinos de metal ou tinta, dependendo da sua importância e permanência (Versão preliminar da NBR 13.133, 2016, p. 8).

<sup>3</sup> Superfície equipotencial do campo de gravidade: aquela que mais se aproxima do nível médio dos mares (GEMAEL, 2012, p. 16).

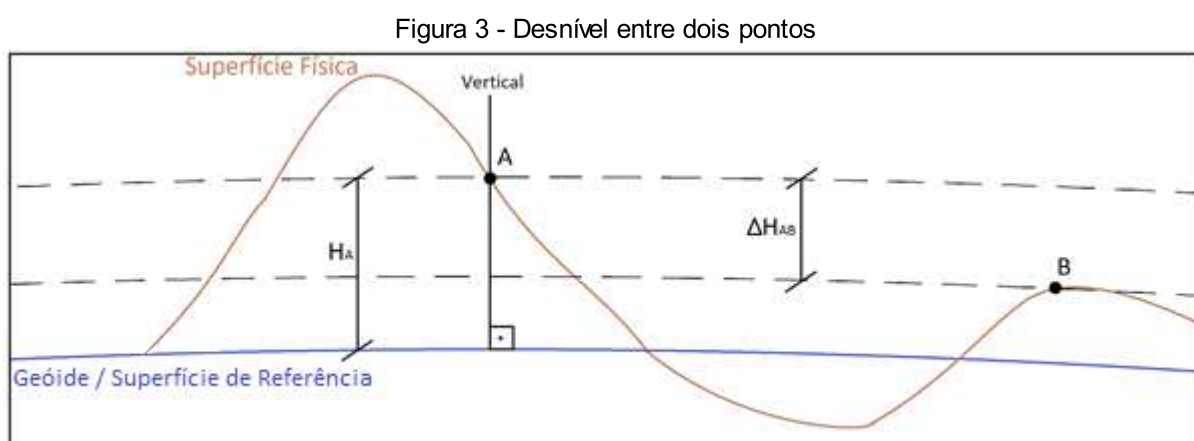
O nível médio do mar é conduzido para o interior dos continentes através de trabalhos de nivelamento de alta precisão, onde são colocadas marcas de referência de nível (RN) para que outros trabalhos se baseiem nelas.

(...) o plano horizontal de referência para os trabalhos de nivelamento é o do nível do mar, isto é, o plano horizontal local que guarda a mesma distância do nível do mar ao centro da Terra. O nível do mar fica então sendo o plano de referência para todos os trabalhos de altimetria (...) (BORGES, 2013, p. 153).

Ainda de acordo com Borges (2013), “sempre que necessitarmos nivelamentos que serão utilizados em projetos de importância, eles devem se referir ao nível do mar (...)”.

Para se obter o valor da altitude ortométrica se utiliza métodos que permitem conhecer o desnível entre pontos. As operações topográficas que visam determinar desníveis, ou diferenças de nível, entre dois pontos, possibilitando o cálculo das suas altitudes, são realizadas pela técnica de nivelamento (GONÇALVES; MADEIRA; SOUSA, 2012).

O nivelamento tem como orientações iniciais um plano horizontal de referência arbitrário ou o geóide, independentemente da referência, existirá uma diferença de nível entre dois pontos ( $\Delta H_{AB}$ ) conforme ilustra a figura 3 abaixo.



Fonte: Autores

Para a determinação de altitudes existem quatro métodos mais comuns de nivelamento:

- Nivelamento geométrico: método de obtenção de desníveis mais preciso (ordem milimétrica), utilizando o instrumento denominado nível para realização de visadas perfeitamente horizontais;
- Nivelamento trigonométrico: método menos rigoroso que o geométrico (ordem centimétrica), porém mais rápido, no qual a diferença de nível é calculada através da trigonometria, mediante os ângulos e distâncias medidos, podendo ser realizado utilizando Estação Total ou Teodolito e trena;
- Nivelamento por satélite: método que utiliza as altitudes geométricas obtidas no rastreamento via GNSS convertendo-as em altitudes ortométricas, através das altitudes geoidais<sup>4</sup> (precisão de ordem decimétrica); e
- Nivelamento barométrico: método que utiliza a relação entre pressão atmosférica e altitude, menos preciso que os outros (ordem métrica). Utiliza-se o aneróide para realizar as medidas de pressão dos pontos e a partir da diferença de pressão medida, se determinar o desnível entre os pontos.

Na realização deste trabalho, utilizamos o método de nivelamento geométrico para obter a altitude ortométrica dos marcos geodésicos (pontos de apoio) implantados na área da Patromoria. A conversão das altitudes geométricas, obtidas no rastreamento dos marcos, em altitudes ortométricas, será abordada posteriormente no capítulo de resultados, onde será feita uma comparação com as altitudes ortométricas determinadas através do nivelamento geométrico.

Podemos definir nivelamento geométrico como sendo o tipo de nivelamento que visa obter desníveis, e conseqüentemente altitudes, com grande rigor, usando aparelhos topográficos chamados níveis. Baseia-se na execução de visadas horizontais, utilizando o referido equipamento instalado em um tripé, sobre réguas, denominadas miras, colocadas verticalmente nos pontos em questão (GONÇALVES; MADEIRA; SOUSA, 2012, p. 98).

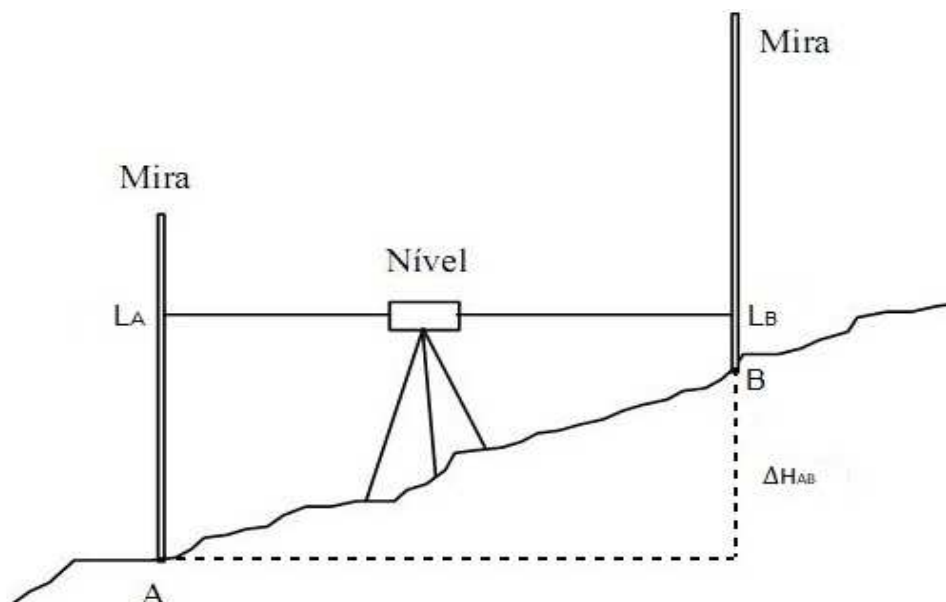
Divide-se em dois métodos, nivelamento geométrico simples e composto, onde o primeiro ocorre quando a determinação do desnível entre dois pontos é realizada

---

<sup>4</sup> Altitude geoidal (N) é distância contada sobre a normal, entre as superfícies geoidal e elipsoidal.

utilizando uma única estação, colocando o nível em uma única posição entre os dois pontos, a fim de se fazer as leituras nas miras, conforme ilustrado na figura 4.

Figura 4 - Nivelamento Geométrico Simples



Fonte: Autores

Desta forma o desnível entre os dois pontos será obtido pela equação (1).

$$\Delta H_{AB} = L_A - L_B \quad (1)$$

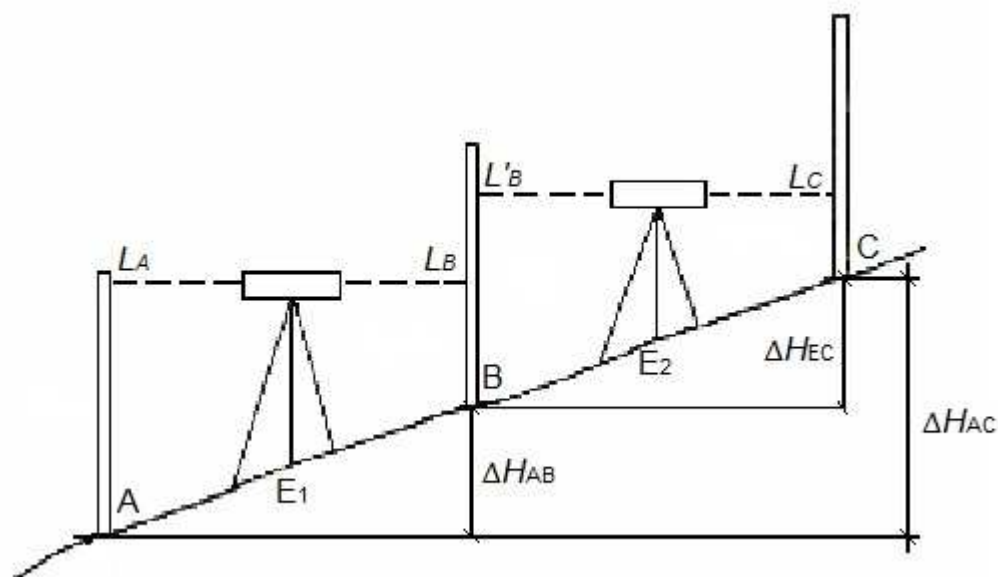
Sabendo-se a altitude do ponto A, para a determinação da altitude do ponto B se aplica a equação (2):

$$H_B = H_A + \Delta H_{AB} \quad (2)$$

O nivelamento geométrico composto ocorre quando há a utilização de mais de uma estação, sendo útil em situações onde existam desníveis acentuados, longas distâncias e existência de obstáculos. O nivelamento geométrico composto é uma sucessão de diversos nivelamentos simples, cuja única condição exigida é a continuidade, ou seja, a ligação do nivelamento, fazendo com que o último ponto a ser visado de uma estação seja o primeiro a ser visado a partir da próxima estação

(GONÇALVES; MADEIRA; SOUSA, 2012, p. 108). Para se determinar o desnível entre os pontos A e C, como mostra a figura 5, deverá ser efetuada a soma dos desníveis parciais, que corresponde ao desnível calculado de cada estação.

Figura 5 - Nivelamento Geométrico Composto



Fonte: Autores

$$\Delta H_{AC} = \Delta H_{AB} + \Delta H_{BC} = (L_A - L_B) + (L'_B - L_C)$$

$$\Delta H_{AC} = (L_A + L'_B) - (L_B + L_C)$$

$$\Delta H_{AC} = \Sigma \text{visadas a ré} - \Sigma \text{visadas a vante} \quad (3)$$

A partir da altitude do ponto A, é possível a determinação da altitude dos outros pontos aplicando a equação (2):

$$H_B = H_A + \Delta H_{AB} \quad (4)$$

$$H_C = H_B + \Delta H_{BC} \quad (5)$$

Algo importante a ser levado em conta no nivelamento geométrico, é que o nível seja instalado de maneira que as medidas das visadas de ré e vante sejam equidistantes, ou seja, balanceadas. A equidistância das visadas de ré e vante eliminará erros ocasionados por falta de ajuste do instrumento e efeitos combinados

da curvatura da Terra e da refração (GHILANI; WOLF, 2013, p. 92). Sobre o assunto, a versão preliminar da NBR 13.133 (2016, p. 20) diz que “as visadas máximas de medidas nas miras não podem ultrapassar os 80 m e não podem ser feitas leituras onde as visadas passem a menos de 30 cm de uma superfície, para se evitar o efeito da refração.”

O nivelamento geométrico foi conduzido neste trabalho sem levar em conta variações gravimétricas. De acordo com Gemael (2012), o geóide apresenta suaves ondulações que se devem a variação de densidades dos diversos materiais que compõem a crosta no interior da Terra, entretanto, o nivelamento puramente geométrico não é capaz de detectar estas variações, tornando a altitude ortométrica obtida sem gravimetria apenas uma aproximação, também denominada de pseudo-ortométrica. Devido a estas variações de densidade, as superfícies equipotenciais da gravidade não são paralelas, fazendo com que os desníveis medidos no nivelamento geométrico dependam do percurso realizado, ou seja, é possível obter desníveis diferentes entre dois pontos se o nivelamento for realizado seguindo dois percursos distintos. No entanto, abdicar das variações gravimétricas não traz perdas substanciais a este trabalho, já que as linhas de nivelamento executadas são relativamente pequenas, não havendo mudanças de densidade na formação geomorfológica ao longo da área de estudo.

### 2.1.2 Levantamento topográfico planialtimétrico

O levantamento topográfico consiste no conjunto de métodos e técnicas que, através de medições de ângulos e distâncias, utilizando instrumentos topográficos adequados ao rigor pretendido, possibilita a representação geométrica de uma parcela da superfície terrestre, com rigor e aproximação necessários (GONÇALVES; MADEIRA; SOUSA, 2012, p. 179).

Para áreas pequenas e grandes escalas, como é o caso do presente trabalho, se utiliza o método clássico de levantamento topográfico, ou seja, efetua-se as

medidas *in loco*, sobre o terreno, usando equipamentos topográficos, como, por exemplo, estações totais.

A versão preliminar da NBR 13.133 define levantamento topográfico como:

Emprego de métodos para determinar as coordenadas topográficas de pontos, relacionando-os com os detalhes, visando sua representação planimétrica em escala predeterminada e sua representação altimétrica por intermédio de curvas de nível<sup>5</sup>, com equidistância também predeterminada e/ou pontos cotados (Versão preliminar da NBR 13.133, 2016, p. 6).

A fase de levantamentos dos detalhes visa à determinação das posições planimétrica e altimétrica dos pontos de interesse, utilizando métodos que podem, inclusive, conduzir simultaneamente a obtenção da planimetria e altimetria do terreno em questão.

No levantamento topográfico executado pelo grupo as etapas de planimetria e altimetria serão realizadas concomitantemente, sendo que, para a altimetria, o método escolhido foi o nivelamento trigonométrico, devido à conveniência de utilizar o mesmo equipamento da etapa de planimetria, a Estação Total. Segundo a versão preliminar da NBR 13.133 (2016) o nivelamento trigonométrico é o “método que realiza a medição da diferença de altura entre pontos do terreno a partir da leitura do ângulo vertical gerado pela linha de visada ao alvo. Essa medição considera a altura do instrumento e do alvo sobre o terreno (mira vertical ou prisma).”

De acordo com Ghilani e Wolf (2013)

(...) as altitudes derivadas de um levantamento de Estação Total são de precisão suficiente para muitas aplicações, como para o mapeamento topográfico e para o trabalho de ordem mais baixa (GHILANI; WOLF, 2013, p. 183).

A representação da planimetria nas plantas será feita, sempre que possível, através de símbolos constantes nas convenções cartográficas existentes, e a altimetria do terreno será representada por meio de curvas de nível.

---

<sup>5</sup> Curvas de nível são linhas de igual altitude num [sic] determinado *datum* vertical (GONÇALVES; MADEIRA; SOUSA, 2012, p. 190).



### 2.1.3 Batimetria

As Normas da Autoridade Marítima para Levantamentos Hidrográficos trazem a seguinte definição para Levantamento Hidrográfico:

(...) conjunto de atividades executadas na obtenção de dados batimétricos, geológicos, maregráficos, fluviométricos, topogeodésicos, oceanográficos e geofísicos, em áreas marítimas, fluviais, lacustres e em canais naturais ou artificiais, navegáveis ou não, que não tenham como finalidade a pesquisa pura e a investigação científica, assuntos tratados pelo Decreto nº 96.000, de 2 de maio de 1988 (NORMAN-25/DHN REV.2, 2017, p.12).

O presente trabalho abrange uma das partes inerentes ao Engenheiro Cartógrafo, a obtenção de dados batimétricos, que, conforme visto anteriormente, é a fração de um Levantamento Hidrográfico. Em uma abordagem simplificada, a batimetria compreende em determinar a posição da embarcação onde está instalado o equipamento e a obtenção da respectiva profundidade. De acordo com Krueger (2005) a medição das profundidades se faz necessária para a representação das isóbatas<sup>6</sup>, possibilitando a visualização da topografia submersa. As formas de obtenção da posição e profundidade variam conforme a precisão exigida, do tipo de equipamento a ser usado e recursos humanos disponíveis.

Os ecobatímetros são equipamentos que utilizam uma metodologia indireta de levantamento batimétrico, produzindo um ou mais feixes de ondas sonoras transmitidas verticalmente para baixo através de um transdutor, instalado na embarcação de sondagem. Este feixe atravessa o meio líquido até atingir o fundo submerso, onde é refletido. O sinal então retorna à superfície, sendo detectado por um receptor. Com isso, tem-se o tempo decorrido desde a emissão até a recepção do sinal (*TWTT - Two Way Travel Time*), e como a velocidade de propagação do som na água é conhecida (aproximadamente 1500 m/s), torna-se possível conhecer a profundidade do local.

---

<sup>6</sup> Linha que representa, em mapas de corpos d'água (rios, lagoas, mares, oceanos..), pontos de mesma profundidade.

Conforme dito anteriormente, o princípio básico de medida da profundidade, para a maioria dos sistemas acústicos, está associado à medida de tempo de ida e volta em que uma onda sonora leva para atingir um determinado alvo. O tempo calculado é transformado em unidade de distância tendo como base o perfil vertical da velocidade do som medido a partir de perfiladores associados ao sistema acústico. Diferenças entre massas de águas atuam como se fossem lentes que refratam o caminho que o feixe sonoro percorre. Por esta razão é exigido que se faça da melhor forma possível a coleta do perfil vertical da velocidade do som na área de operação, levando em conta que o equipamento deverá ser colocado na água durante cerca de 15 minutos antes de se efetuar o perfil, para estabilização térmica.

O perfilador de velocidade do som (*SVP - Sound Velocity Profiler*) é um componente que possui um sensor de pressão para medir a profundidade e um par transdutor/refletor separados por uma distância fixa. A velocidade de propagação do som, então, é calculada conforme a seguinte equação:

$$v_s = \frac{2d}{\Delta t} \quad (6)$$

Onde,

$v_s$  = velocidade de propagação do som;

$d$  = distância entre transdutor e refletor; e

$\Delta t$  = intervalo de tempo entre o duplo trajeto transdutor/refletor.

Com isso, percebe-se que o princípio de funcionamento do *SVP* é similar à medição de profundidades pelos ecobatímetros, sendo, no entanto, outra variável a ser determinada.

Segundo o Manual de Hidrografia da Organização Hidrográfica Internacional (OHI), alguns fatores devem ser considerados a respeito da propagação do som na água e que, por conseguinte, influenciam nas medições de profundidade. A variação de temperatura é fator dominante na variação da velocidade de propagação do som na água, sendo que, a variação de 1° C na temperatura traduz-se numa variação de aproximadamente 4,5 m/s na velocidade de propagação do som. A salinidade, que é

uma medida da quantidade de sais e outros minerais dissolvidos na água do mar, também influencia na velocidade de propagação do som, onde uma variação de 1% na salinidade significa uma variação de 1,3 m/s na velocidade de propagação do som no referido meio.

A pressão também afeta consideravelmente a variação da velocidade de propagação do som na água, e como a pressão é uma função da profundidade, possui maior influência em grandes profundidades. A variação da velocidade de propagação do som, no caso da pressão, é de 1,6 m/s para aproximadamente 100 de profundidade.

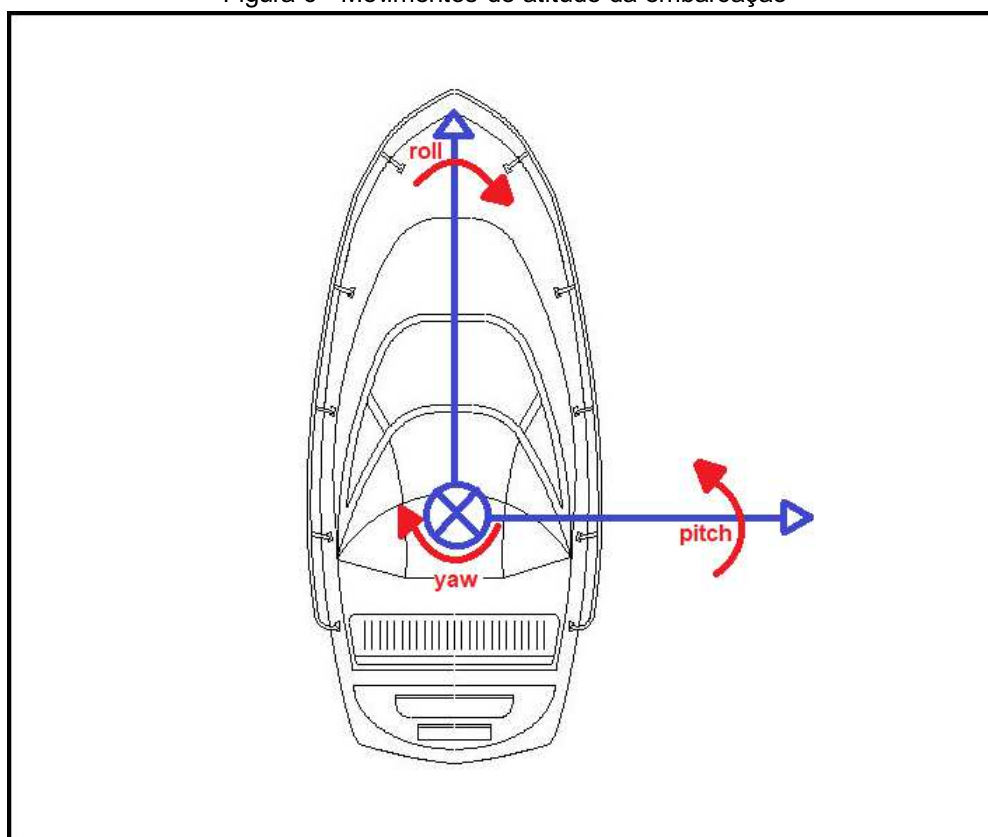
O funcionamento dos ecobatímetros multifeixe demanda uma maior complexidade, envolvendo variáveis técnicas e custos mais elevados do que para levantamentos realizados com ecobatímetros monofeixe, sendo diretamente relacionado à atuação de sensores auxiliares que são integrados ao sistema. Os ecobatímetros multifeixe são, em sua maioria, compostos pelos componentes descritos a seguir:

- Receptor GNSS: determina o posicionamento da embarcação de sondagem em tempo real;
- Sensor de proa: responsável por informar ao sistema, em tempo real, qual o rumo verdadeiro da embarcação de sondagem;
- Sensor inercial associado ao receptor GNSS: transfere em tempo real para o sistema multifeixe a atitude<sup>7</sup> (figura 6) da embarcação (*roll*, *pitch*, *yaw*);
- Sensores de velocidade do som na superfície do transdutor: responsável pela correta orientação eletrônica na recepção dos feixes; e
- Perfiladores verticais de velocidade do som: utilizado para corrigir os efeitos de refração do sinal acústico ao se propagar na coluna d'água.

---

<sup>7</sup> A atitude da embarcação consiste em deslocamentos angulares em três eixos ortogonais. O balanço (*roll*) transversalmente e no eixo x; o cabeceio (*pitch*) longitudinalmente e no eixo y; e a proa (*yaw*) horizontalmente e no eixo z (Manual de Hidrografia, 2005, p. 187).

Figura 6 - Movimentos de atitude da embarcação



Fonte: Autores

A correta integração desses equipamentos garante a precisão, a consistência e a confiabilidade necessárias aos dados coletados em campo. Vale ressaltar que a escolha adequada dos ecobatímetros, com especificações técnicas coerentes com a área de sondagem também devem ser levadas em consideração. Nesse sentido, deve-se utilizar ecobatímetros de alta frequência para águas rasas e de baixa frequência para águas profundas. Sobre o assunto, o Manual de Hidrografia da OHI expõe o seguinte:

- Frequências superiores a 200 kHz para profundidades inferiores a 100 m;
- Frequência entre 50 e 200 kHz para profundidades inferiores a 1500 m; e
- Frequência entre 12 e 50 kHz para profundidades superiores a 1500 m.

As medições de profundidade também podem ser feitas utilizando metodologias diretas, tal como o levantamento batimétrico por toque utilizando grave, sendo, no entanto, inviáveis para grandes áreas ou águas muito profundas. A

vantagem desses sistemas mecânicos é que os mesmos não são sensíveis às características da água, eliminando também a possibilidade de erros grosseiros devido à reflexões na coluna de água. Ainda assim, existe a dificuldade no controle da posição da embarcação no momento da sondagem além de erros induzidos pelo movimento da correnteza, mas, levando-se em conta sua simplicidade e baixo custo, ainda é possível utilizar tais métodos como alternativa.

#### 2.1.4 Modelagem de dados

A representação de uma área só é possível após a obtenção de informações planialtimétricas da mesma a partir de operações topográficas. Por causa da limitação de fatores como recursos e tempo, a coleta desses dados geralmente é realizada em um número limitado de pontos, denominada amostra. A interpolação espacial é o processo que se utiliza dos valores coletados na amostra para estimar os valores nos outros pontos, gerando modelos que cobrem toda a área de interesse, podendo, então, ser utilizados para análises.

Apesar de existirem diversos métodos de interpolação, os utilizados neste trabalho foram Krigagem e triangulação com interpolação linear. Praticamente todos os *softwares* de SIG apresentam esses chamados métodos geoestatísticos.

A Krigagem parte do princípio que pontos próximos no espaço tendem a ter valores mais parecidos do que pontos mais afastados, assumindo que os dados recolhidos de uma determinada população se encontram correlacionados no espaço.

De acordo com Landim e Sturaro (2002), a Krigagem

(...) trata-se de um processo de estimação por médias móveis, de valores de variáveis distribuídas no espaço a partir de valores adjacentes, enquanto considerados como interdependentes por uma função denominada semivariograma (LANDIM; STURARO, 2002, p. 3).

O semivariograma é uma função da variância espacial, onde, para uma dada distância, a função variograma é igual à média das diferenças ao quadrado. Segundo Clark (1979, apud STURARO, 2015):

O semivariograma constitui-se no gráfico das semivariâncias das diferenças dos valores experimentais situados a intervalos regulares. Em condições estacionárias, o valor médio esperado é constante ou zero, o que reduz o semivariograma à média quadrática das diferenças dos valores experimentais (CLARK, 1979, apud STURARO, 2015, p. 13).

A expressão abaixo define o semivariograma:

$$\sigma(h_o) = \frac{1}{2.N_p(h_o)} \sum_{i=1}^{N_p(h_o)} [Z(x_i) - Z(x_i + h_o)]^2 \quad (7)$$

Onde,

$Z(x_i)$  e  $Z(x_i + h_o)$  = conjunto de valores experimentais;

$N_p(h_o)$  = Número de pares experimentais; e

$h_o$  = intervalo regular que separa  $Z(x_i)$  e  $Z(x_i + h_o)$ .

Ainda de acordo com Sturaro (2015), “após a confecção dos semivariogramas dos valores experimentais, procura-se ajustar um modelo matemático que represente o mais próximo possível a configuração dos mesmos.”

As informações geradas no semivariograma e que a Krigagem usa para encontrar os melhores pesos, para então estimar os pontos desconhecidos, são:

- Amplitude: que indica a distância a partir da qual as amostras passam a não possuir correlação espacial e a relação entre elas torna-se aleatória;
- Patamar: que indica o valor segundo o qual a função estabiliza-se no campo aleatório, mostrando a variabilidade máxima entre pares de valores;
- Continuidade: através da forma do semivariograma, devendo os dados serem coletados a intervalos suficientes; e

- Anisotropia: quando os semivariogramas mostram parâmetros diferentes para diferentes direções de amostragem.

A triangulação por interpolação linear consiste na aproximação da superfície utilizando pontos que pertencem ao conjunto das amostras, sendo ideais, por exemplo, para representar regiões mais acidentadas. Pelo mesmo motivo, tal método é útil para detecção de dados espúrios em um banco de dados. Segundo Landim (2000), a triangulação

(...) conecta pontos amostrados através de triângulos e interpola os valores entre eles; são considerados métodos de estimação diretos, pois os contornos derivam do padrão original dos dados; não permite a extrapolação, as estimativas limitam-se estritamente à área amostrada (LANDIM, 2000, p.4).

Conforme pode-se observar, os métodos de interpolação citados possuem características diferentes, cabendo ao usuário identificar a ocasião ideal para aplicar cada um. No presente trabalho o grupo utilizou o método de triangulação por interpolação linear para realizar a filtragem de dados espúrios, e a Krigagem para gerar, de maneira suavizada, as superfícies finais.

## **2.2 Materiais e métodos**

### **2.2.1 Recursos humanos**

Para a execução de um trabalho com uma qualidade técnica elevada é fundamental que o pessoal envolvido esteja bem capacitado para a sua execução. Para a realização do presente projeto a equipe foi composta pelos seguintes profissionais:

- um Engenheiro Cartógrafo para auxílio no planejamento do projeto, orientando as diversas etapas de levantamentos, posicionamento por GNSS, batimetria, nivelamento geométrico, taqueometria e levantamento de feições;
- um Engenheiro Civil para planejamento e execução da batimetria multifeixe;
- uma Engenheira Hídrica para execução da batimetria multifeixe;
- três graduandos em Engenharia Cartográfica responsáveis pelo planejamento e execução do projeto;
- dois marinheiros fluviais para conduzir a embarcação que realizou as batimetrias monofeixe e de toque com grave; e
- Colaboradores para auxílio nas atividades de levantamento topográfico.

No entanto, cabe ressaltar que a equipe engajada no projeto teve a composição supracitada em virtude de as etapas envolvidas necessitarem da colaboração de mais de uma instituição e, conseqüentemente, dos seus profissionais. O grupo entende que uma equipe ideal para os trabalhos executados, além dos condutores das embarcações, seria composta de:

- um Engenheiro Cartógrafo, para planejamento do projeto, orientando as diversas etapas de levantamentos, posicionamento por GNSS, batimetria, nivelamento geométrico, taqueometria e levantamento de feições;
- um topógrafo, para execução dos trabalhos de campo; e
- dois auxiliares de topografia, para auxílio nos trabalhos de campo.

## 2.2.2 Equipamentos

### 2.2.2.1 Receptores GNSS

Para execução do posicionamento por GNSS foi utilizado um par de receptores Topcon *Hiper Lite* + (L1/L2), equipados com tripé, base niveladora, trena, bastão, bipé e maleta para transporte. Seguem abaixo suas principais características:



- Sinais Rastreados: GPS/GLONASS, L1/L2 C/A e P-Code;
- Modo de Levantamento: Estático, Cinemático (Contínuo, *Stop&Go*), RTK (*Real Time Kinematic*) e DGPS (*Differential GPS*);
- Receptor GNSS de 40 canais;
- Precisão: estático  $\pm(3\text{mm} + 0,5 \text{ ppm} \times \text{comprimento da linha-base})$  horizontal e  $\pm(5\text{mm} + 0,5 \text{ ppm} \times \text{comprimento da linha-base})$  vertical; RTK/*Kinematic*  $\pm(10\text{mm} + 1 \text{ ppm} \times \text{comprimento da linha-base})$  horizontal e  $\pm(15\text{mm} + 1 \text{ ppm} \times \text{comprimento da linha-base})$  vertical; DGPS melhor que  $\pm 0,25\text{m}$  no modo pós processado e pior que  $\pm 0,50\text{m}$  em tempo real.

#### 2.2.2.2 Estação Total

Para execução das atividades de levantamento topográfico utilizamos a Estação Total RUIDE RTS 862R, a qual possui como principais características:

- Precisão angular de  $\pm 2''$ ;
- Precisão linear com prisma de até  $\pm(2\text{mm} + 2\text{ppm})$  e sem prisma de até  $\pm(3\text{mm} + 2\text{ppm})$ ;
- Duplo *display* colorido com resolução de 240 x 320 pixels;
- Correção automática de pressão e temperatura;
- Compensador automático nos dois eixos;
- Prumo laser;
- Alcance sem prisma de até 400m (com laser visível classe 3R) em ótimas condições;
- Alcance com 1 prisma de até 5.000m e 3 prismas de até 7.000m;
- Impermeabilidade contra água e poeira – IP66;
- Memória interna para mais de 100.000 pontos de armazenamento;
- Campo de visão de  $1^{\circ}30'$ ;

- Foco de distância mínima de 1 m;
- Luneta com aumento de 30 vezes; e
- Autonomia de baterias até 12 horas.

O grupo efetuou a verificação da precisão da Estação Total, cujo resultado pode ser consultado no anexo A deste trabalho.

### 2.2.2.3 Nível Digital

Seguem as principais especificações técnicas do Nível Digital RUIDE DL-201, utilizado no transporte altimétrico através de nivelamento geométrico:

- Precisão altimétrica:  $\pm 1\text{mm}$  (leitura digital, mira de invar),  $\pm 2\text{mm}$  (leitura ótica, mira de invar),  $\pm 2\text{mm}$  (leitura digital, mira de fibra),  $\pm 4\text{mm}$  (leitura ótica, mira de fibra);
- Precisão na distância:  $D < 10\text{m}$ :  $\pm 10\text{mm}$ ;  $D > 10\text{m}$ :  $\pm D \cdot 0,001$  (leitura digital);
- Alcance: 1,5m ~ 105m (leitura digital);
- Tempo de medição: 3s em condições normais;
- Luneta telescópica: ampliação: 32x; poder de resolução: 3"; campo de visão:  $1^{\circ}20'$ ;
- Compensador: magnético-amortecido,  $> \pm 12'$  (alcance), 0,30" / 1' (precisão);
- Armazenamento interno: 16 MB;
- Gravação externa: *SD card*; e
- Graduação do limbo horizontal:  $1^{\circ}$ .

No anexo B deste relatório encontra-se o resultado da verificação da precisão do referido Nível Digital.

#### 2.2.2.4 Ecobatímetro multifeixe

Para a execução da batimetria foi utilizado o ecobatímetro Multifeixe *SeaBat 7125 – Teledyne RESON Dual Head* (figura 7), que tem como principais especificações:

- Largura de Pulso: 30 $\mu$ s – 300 $\mu$ s CW; 300 $\mu$ s – 20ms FM (*X-Range*);
- Número de feixes: 512EA/ED a 400kHz, 256EA/ED a 200kHz;
- Largura de ângulo máxima: 140° em Modo Equidistante; 165° em modo Equiangular;
- Profundidade Típica: 0.5m a 150m com 400kHz, 0.5m a 400m com 200kHz;
- Profundidade Máxima: > 175m a 400kHz; 450m a 200kHz;
- Resolução da Profundidade: 6mm;
- Temperatura: -2° a +35°C;
- Frequência para Dupla Cabeça: 400 KHz para ROV/AUV.

Figura 7 - Ecobatímetro multifeixe *SeaBat 7125 – Teledyne RESON Dual Head*



Fonte: *SeaBat 7125 Operator's Manual*

### 2.2.2.5 Outros componentes do sistema multifeixe

Um dos equipamentos utilizados juntamente com o ecobatímetro multifeixe, fornecendo as coordenadas dos pontos levantados, foi o receptor *Trimble* SPS461, que possui como especificações mais relevantes:

Para posicionamento utilizando correções DGPS:

- Precisão horizontal:  $\pm(0,25 \text{ m} + 1 \text{ ppm})$  RMS; e
- Precisão vertical:  $\pm(0,50 \text{ m} + 1 \text{ ppm})$  RMS.

Para posicionamento utilizando correções *OmniSTAR*:

- VBS service - Precisão horizontal: melhor que  $\pm 1 \text{ m}$ ;
- XP service - Precisão horizontal:  $\pm 0,2 \text{ m}$ , vertical  $\pm 0,3 \text{ m}$ ; e
- HP service - Precisão horizontal:  $\pm 0,1 \text{ m}$ , vertical  $\pm 0,15 \text{ m}$ .

O Inercial *Applanix* POS MV é outro equipamento que compõe o sistema de batimetria multifeixe, realizando as devidas correções dos movimentos de atitude da embarcação. Tem as seguintes especificações:

Com correções DGPS:

- Movimentos *roll* e *pitch* (precisão):  $\pm 0,03^\circ$  (1 sigma com GNSS ou DGPS),  $\pm 0,02^\circ$  (1 sigma com RTK);
- Movimento *yaw* (precisão):  $\pm 5 \text{ cm}$  ou 5% (o que for maior) para período de até 20s;
- Precisão para posicionamento RTK - horizontal:  $\pm(10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm} \times \text{comprimento da linha-base})$ , vertical:  $\pm(20 \text{ mm} + 1 \text{ ppm} \times \text{comprimento da linha-base})$ ;
- Precisão para posicionamento DGPS: 0,5 - 2 m (1 sigma), dependendo da qualidade das correções diferenciais; e
- Precisão da velocidade:  $\pm 0,05 \text{ m/s}$  horizontal.

Durante interrupções de sinal:

- Movimentos *roll* e *pitch* (precisão):  $\pm 0,04^\circ$  (1 sigma);
- Movimento *yaw* (precisão):  $\pm 5$  cm ou 5% (o que for maior) para períodos de até 18s; e
- Precisão da posição:  $\pm 3$  m (1 sigma) para 30s de interrupção,  $< 10$  m (1 sigma) para 60s de interrupção.

#### 2.2.2.6 Ecobatímetro monofeixe

O ecobatímetro monofeixe utilizado foi o *Humminbird 798ci HD SI Combo* (figura 8), de propriedade da UFRGS, que possui as seguintes especificações:

- Tamanho da tela: 5";
- Matriz de pixels do visor: 640V x 640H;
- Visor: 256 cores (escala de cinza);
- Cobertura *sonar* padrão: 20°, 60° e 180°;
- Frequência *sonar* padrão: 200/83/455 kHz;
- Separação do alvo: 2.5";
- Potência RMS: 500 W;
- Potência de pico: 4000 W;
- Capacidade detecção de profundidade: 30,5m (SIDI), 457,2m;
- Modelo do transdutor: XNT 9 SI 180 T;
- Montagem do transdutor: tração;
- Entrada de energia: 10,8 - 20 V DC;
- Consumo de energia: 615 mA; e
- GPS de navegação: receptor GPS Humminbird AS GRP, precisão horizontal de  $\pm 2,5$  m.

Figura 8 - Receptor (à esquerda) e transdutor (à direita) do ecobatímetro monofeixe



Fonte: Autores

#### 2.2.2.7 Grave

Equipamento montado de forma artesanal, composto de uma trena de fibra de vidro de 20 metros de comprimento, graduada a cada centímetro, na qual foi fixado em sua extremidade um artefato de metal fundido de 3 kg, conforme figura 9.

Figura 9 - Grave



Fonte: Autores

### 2.2.2.8 Embarcação

A Embarcação de Casco Semi-Rígido (ECSR), figura 10, pertencente à CFPA e que foi utilizada para realizar as batimetrias monofeixe e de toque utilizando grave, tem as seguintes características:

- Comprimento total externo: 6,20 m;
- Largura total externa (boca): 2,56 m;
- Comprimento interno: 5,25 m;
- Largura interna: 1,50 m;
- Diâmetro dos flutuadores: 0,42 m na proa e 0,52 m na popa;
- Pontal moldado: 0,96 m;
- Calado moldado carregado: 0,42 m;
- Calado moldado leve: 0,34 m;
- Número de pessoas: 9, sendo 8 passageiros e 1 tripulante;
- Capacidade total de carga: 1600 kg;
- Capacidade do tanque de combustível: 200 litros;
- Capacidade do tanque de água doce roto-moldado: 55 litros;
- Peso (sem motor, acessórios, combustível e água doce): 900 kg;
- 5 câmaras de ar independentes;
- Motorização: 1 motor de Centro Rabeta de 220 hp; e
- Velocidade de tope entre 37 e 50 MPH, dependendo da motorização.

Figura 10 - Embarcação



Fonte: Autores

#### 2.2.2.9 Softwares

Para o processamento dos dados das diversas atividades realizadas no trabalho, foram utilizados os seguintes *softwares*:

- DataGeosis, licença Educacional, versão 7.5.10.0;
- *Microsoft Excel 2010*, versão 14.0.4760.1000 (32 bits), licença *Office Professional Plus*;
- QGIS 2.8.2, *software* livre;
- *Surfer 15*, versão *trial*;
- MAPGEO 2015, versão 1.0;
- *Topcon Link*, versão 8.2.3; e
- *Topcon Tools*, versão 8.2.3.



### 2.2.2.10 Materiais diversos

Nas diversas etapas do presente projeto, desde o planejamento até a finalização dos produtos finais, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- 2 bipés;
- 1 caixa térmica;
- 4 celulares;
- 3 chapas de identificação dos marcos;
- computadores;
- 1 marreta;
- 6 embalagens de massa epóxi 50g;
- 2 miras de código de barra;
- 12 pilhas AAA;
- 1 ponteiro;
- 2 prismas;
- 4 rádios comunicadores;
- 2 sapatas;
- 1 talhadeira;
- 1 trena convencional de 5 m;
- 1 trena laser;
- 2 tripés; e
- 1 veículo para deslocamentos em equipe.

### 2.2.3 Logística

Durante as atividades de campo, o deslocamento ocorreu no veículo particular de um dos integrantes do grupo, efetuando o trajeto do Campus do Vale da UFRGS até a área da Patromoria para transporte dos equipamentos, percurso de aproximadamente 15 km, com tempo médio de deslocamento de 30 minutos. Foram

realizadas nove visitas à área do projeto com as atividades iniciando por volta das 7 horas e encerrando em torno de 18 horas de cada dia.

Os intervalos para almoço foram planejados em horários estratégicos de maneira que não prejudicasse o andamento do trabalho, contando com o apoio da CFPA, que forneceu as refeições aos integrantes do grupo e orientador. A Capitania localiza-se a apenas 5 km da Patromoria, e os deslocamentos para as refeições, em geral, eram realizados em carro particular do orientador. Devido à proximidade, os intervalos costumavam ser breves para garantir uma otimização do tempo, de forma a exigir o mínimo possível de revisitas para realização de levantamentos. Em algumas ocasiões, integrantes da CFPA deslocaram-se até a Patromoria para levar as refeições.

Para as atividades de batimetria junto à SUPRG todos os integrantes se deslocaram individualmente até à sede da SUPRG, com o deslocamento até a região da Patromoria realizado por meio da embarcação utilizada no levantamento batimétrico multifeixe.

#### 2.2.4 Implantação e posicionamento dos marcos geodésicos

Para a implantação dos marcos geodésicos, foram escolhidos locais estáveis, bem distribuídos ao longo da área da Patromoria e que proporcionassem boa visibilidade dos marcos entre si. Houve também a precaução de escolher um local para a materialização que não houvesse obstruções e/ou obstáculos na recepção dos sinais das constelações GNSS. Desta forma, como haverá uma obra de engenharia, foi necessário implantá-los em locais nos quais não sofrerão influência da obra, sendo assim, um dos marcos foi implantado na estrutura de bloco de granito do cais (M001), e os outros dois nas sapatas de concreto onde estão fixados os cabeços de amarração<sup>8</sup>, conforme mostra a figura 11.

---

<sup>8</sup> Poste vertical normalmente fundido, instalado no cais ou molhe (ou no convés do navio), para segurar os cabos, servindo para amarração do navio (RIBEIRO, 2011, p. 27).

Figura 11 - Implantação dos marcos geodésicos na Patromoria



Fonte: Autores

Para os levantamentos geodésicos foram utilizados dois receptores GNSS da marca Topcon modelo *Hiper Lite Lite +*, uma controladora modelo FC-250 da Topcon, um tripé, bipé com bastões de 2 metros de altura, trena, duas bases nivelantes e maletas para transporte. A coletora fez comunicação com os receptores através do *software* TopSURV 7, que permite realizar a configuração (método de posicionamento, altura da antena, tempo de rastreamento e taxa de gravação) dos receptores via *Bluetooth*.

Enquanto um dos receptores estava posicionado no ponto M003, onde permaneceu durante 7 horas, o outro foi utilizado para posicionar os marcos restantes (M001 e M002), permanecendo 2 horas em cada um dos pontos. A figura 12 abaixo ilustra o posicionamento dos marcos geodésicos na Patromoria.

Figura 12 - Posicionamento dos marcos geodésicos



Fonte: Autores

Para o realizar retirada dos dados dos receptores GNSS foi utilizado o *software* Topcon Link, após receber os dados do receptor via cabo USB, três arquivos no formato .TPS, referentes aos pontos rastreados, os dados foram processados no *software* Topcon Tools.

Primeiramente o foram determinadas as coordenadas do ponto M003 em relação às estações RSPE, RSPF e SMAR da RBMC. Após isso o ponto M003 teve suas coordenadas determinadas somente em relação a estação POAL à estação POAL. Após comparar os dois resultados, não encontrando nenhuma inconsistência, foram utilizadas as coordenadas obtidas em relação à POAL, em virtude da menor distância em relação ao marco implantado.

Os pontos M001 e M002 foram calculados, então, em relação ao M003 e à estação POAL. Os três marcos geodésicos implantados, posteriormente, serviram de base para fazer o georreferenciamento de todo o levantamento. Os relatórios de informações das estações da RBMC supracitadas, encontram-se nos anexos C a F do presente trabalho.

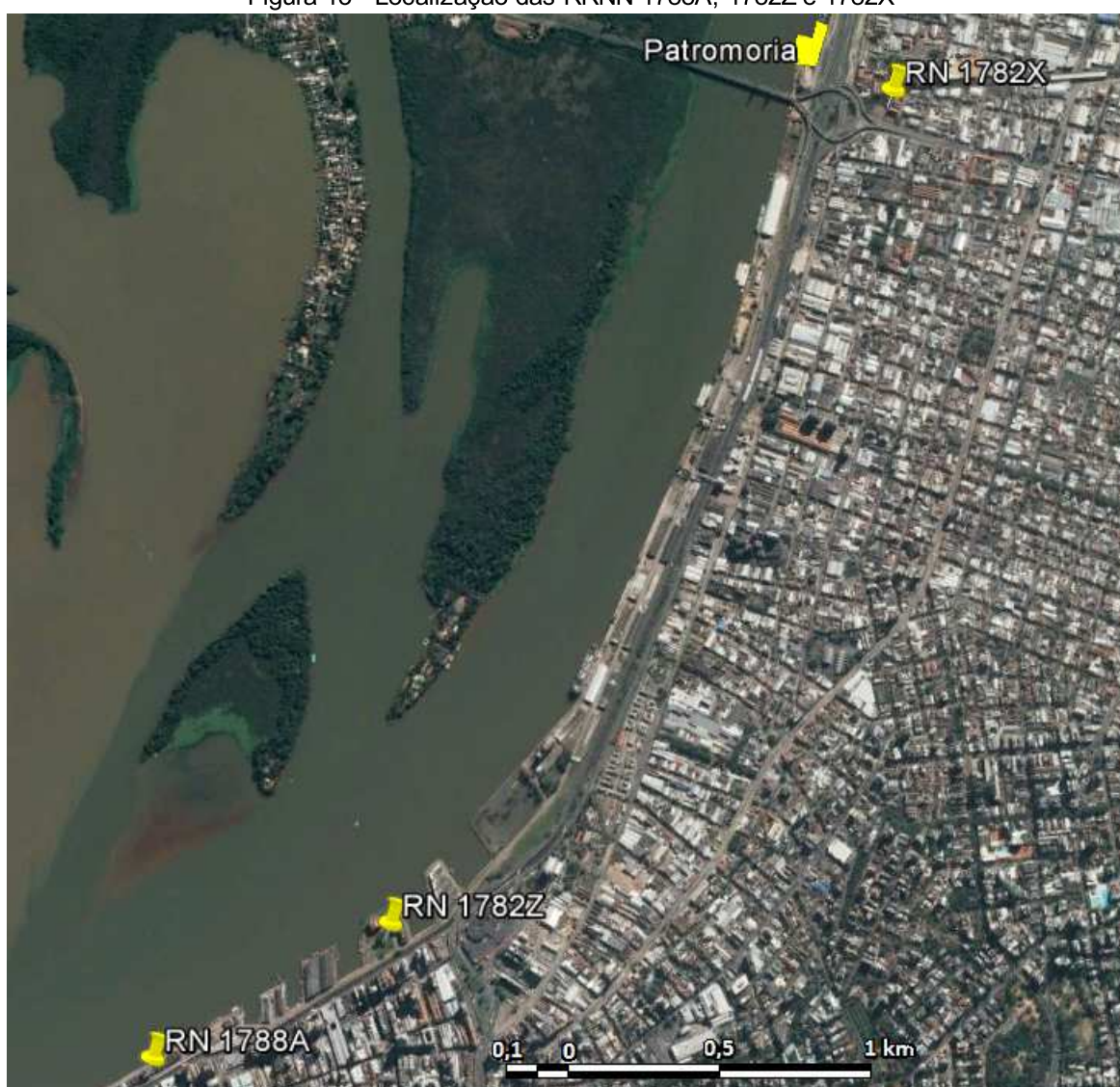
#### 2.2.5 Transporte de altitudes

Essa etapa consiste no transporte das altitudes até os pontos materializados na Patromoria, onde foram implantados 3 (três) marcos geodésicos (M001, M002 e M003). Para cumprir esta etapa, utilizamos como referência três estações geodésicas da Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) do IBGE (1788A, 1782Z e 1782X), implantadas nas proximidades da área de interesse (figura 13). Os relatórios das RRNN do IBGE mencionadas acima, encontram-se nos anexos G, H e I do presente trabalho.

Como equipamentos, foram utilizados o Nível Digital Ruide DL-201, duas miras com código de barras e duas sapatas, além de rádios intercomunicadores para cada integrante do grupo.

Para a realização do transporte de altitudes, o grupo utilizou o método de nivelamento geométrico composto, para avaliar a precisão do nivelamento, realizou o nivelamento paralelo, ou seja, o contranivelamento foi feito simultaneamente com o nivelamento, no mesmo sentido de deslocamento, realizando uma leitura à ré, uma leitura à vante, nova calagem do equipamento, efetuando uma nova leitura no mesmo ponto à vante e uma nova leitura no ponto à ré, repetindo esse procedimento a cada lance de nivelamento.

Figura 13 - Localização das RRNN 1788A, 1782Z e 1782X



Fonte: Autores

O trabalho de nivelamento abrange um percurso de aproximadamente 5,3 km, foi iniciado na RN 1788A (figura 14). A determinação da altitude da régua linimétrica

na qual serão referenciados os levantamentos batimétricos, foi realizada durante o trajeto até a RN 1782Z. Dessa última, O grupo partiu em direção ao marco M003 implantado na Patromoria, finalizando na RN 1782X. Devido ao fato de ser um percurso longo, para ter uma melhor qualidade e garantia de poder refazer o nivelamento caso haja necessidade, foi estabelecido que o nivelamento fosse dividido nas seguintes etapas:

Figura 14 - RN 1788A



Fonte: Autores

#### Etapa 1 - Nivelamento da RN1788A a RN1782Z passando pela régua:

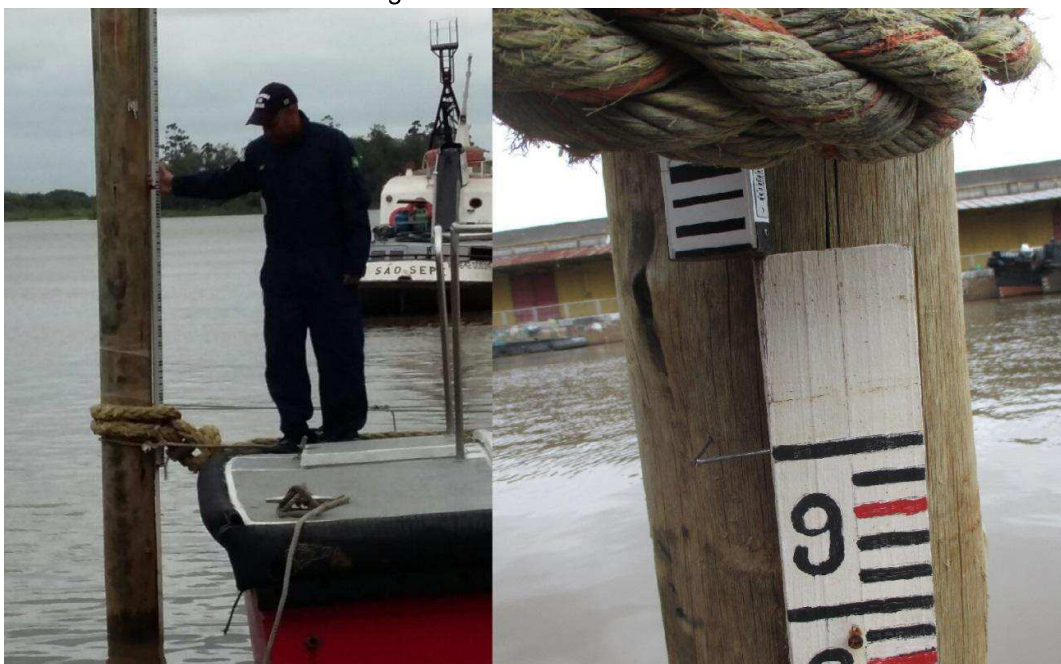
Partindo da RN 1788A, materializada com uma chapa, localizada ao lado esquerdo de quem entra pela porta principal do prédio da SUPRG, escolheu-se um local estável próximo a doca onde encontra-se a régua linimétrica como ponto de segurança para que se pudesse, através dele, obter a altitude do topo da régua. Para isso, foi escolhido um ponto que garantisse sua utilização em outro momento, desta forma foi estabelecido um trilho fixado nas proximidades da régua linimétrica como ponto de segurança, estes foram denominados como pontos PS001 e RÉGUA, conforme mostra as figuras 15 e 16.

Figura 15 - Ponto de Segurança PS001 (trilho)



Fonte: Autores

Figura 16 - Leitura da RÉGUA



Fonte: Autores

Após a passagem pelo PS001 e pela RÉGUA, o grupo chegou a RN 1782Z (figura 17), localizada nas proximidades de um monumento, à frente do antigo frigorífico do Porto, encerrando a esta primeira etapa do nivelamento com um percurso de aproximadamente 930 metros.

Figura 17 - RN 1782Z

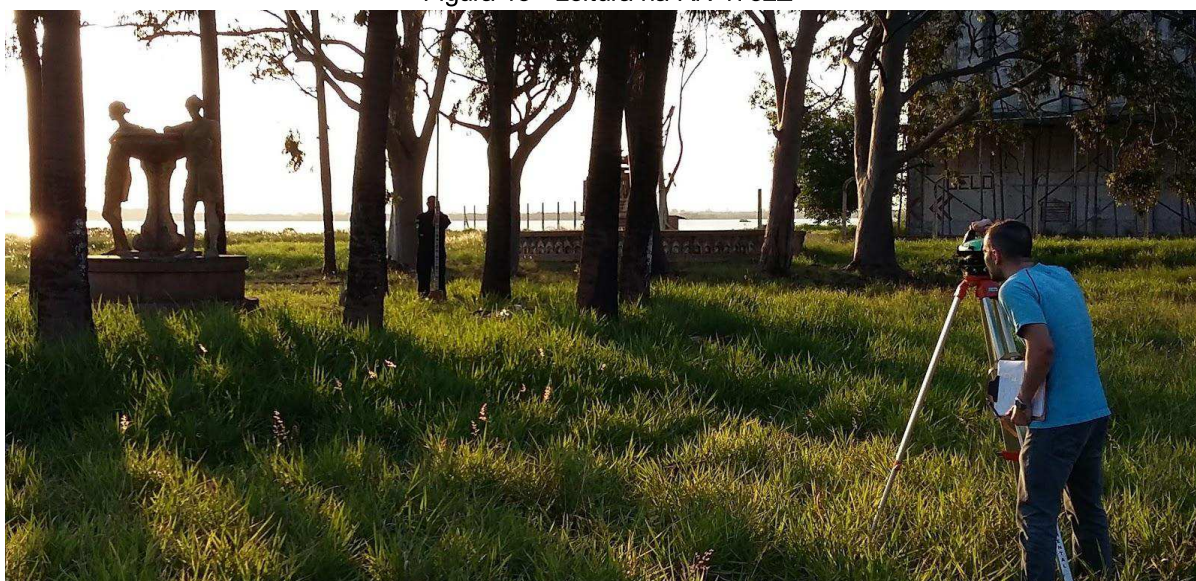


Fonte: Autores

### Etapa 2 - Nivelamento da RN 1782Z ao PS002:

Consiste no nivelamento iniciado na RN 1782Z (figura 18) em direção ao portão sul da área de acesso controlado do Cais Mauá de Porto Alegre, percorrendo um percurso de 900 m, no qual foi implantado um ponto de segurança próximo ao acesso ao portão sul, denominado PS002, materializado por meio de uma talhadeira cravada entre os paralelepípedos da rua interna que dá acesso à área portuária.

Figura 18 - Leitura na RN 1782Z



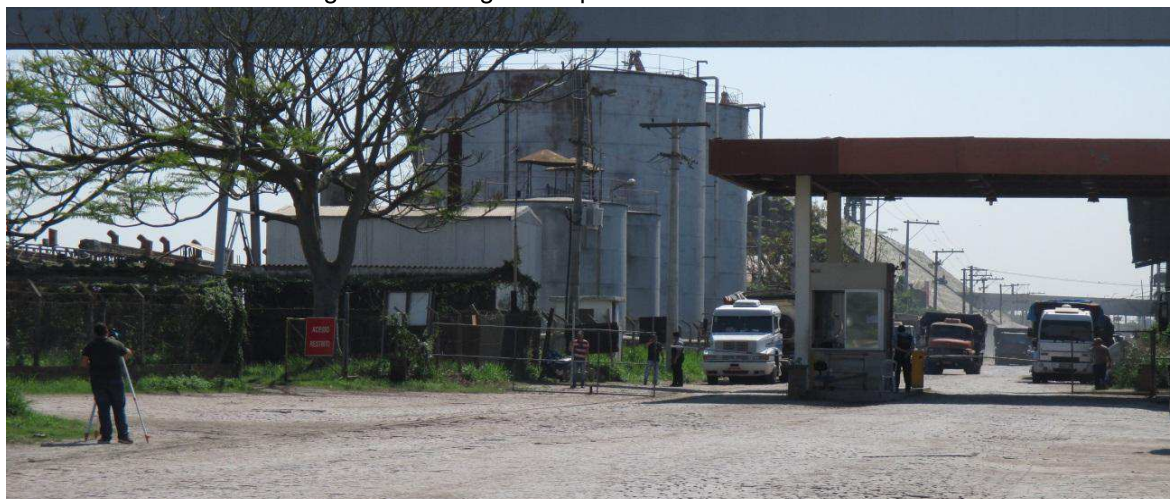
Fonte: Autores



### Etapa 3 - Nivelamento do PS002 ao PS004:

O grupo partiu do PS002, passando pela parte restrita do Cais Mauá até o portão norte (figura 19), neste trecho, tivemos que redobrar a atenção na utilização dos equipamentos e registro dos dados, devido ao grande fluxo de caminhões que se movimentavam ao longo desse percurso.

Figura 19 - Chegada ao portão norte do Cais Mauá



Fonte: Autores

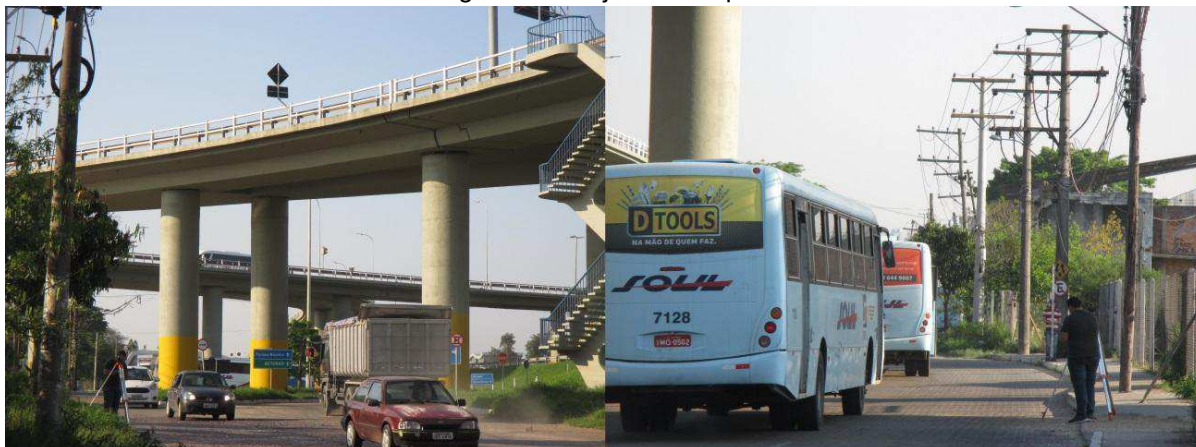
Após passagem pelo portão norte, foi estabelecido o ponto de segurança PS003, no entanto o PS003 foi destruído sem que houvesse possibilidade de recuperá-lo. Devido a este imprevisto, tivemos que reiniciar o nivelamento e contranivelamento do mesmo trecho, agora com a responsabilidade de encontrar um ponto de segurança em local mais estável que o anterior (PS003). Isto acabou demandando mais tempo e a necessidade de conseguir outra autorização à área restrita do porto. Logo, após as devidas autorizações, reiniciamos o levantamento a partir do PS002, finalizando desta vez no ponto de segurança PS004, para o qual foi utilizado um dos trilhos existentes no passeio da Av. Mauá, distante a aproximadamente 300 metros do portão norte. Esta seção de nivelamento obteve a maior distância executada pelo grupo, totalizando 1,34 km.

### Etapa 4 - Nivelamento do PS004 ao marco M003:

O trecho iniciado no ponto de segurança PS004 dispunha, ao longo do trajeto, um intenso movimento de veículos (automóveis, caminhões, ônibus e etc), conforme mostra a figura 20, o que dificultou o levantamento devido às vibrações ocasionadas

pela passagem dos veículos. Esta etapa foi a que mais exigiu atenção, tanto na utilização dos equipamentos como em relação ao movimento dos veículos que circulavam próximos aos pontos que compõem esse trecho do nivelamento.

Figura 20 - Trajeto da etapa 4



Fonte: Autores

A chegada ao marco implantado M003 foi concluída após o percurso de 1,3 km, terminando a quarta etapa do nivelamento geométrico.

#### Etapa 5 - Nivelamento M003 a RN 1782X:

A quinta e última etapa deste nivelamento geométrico partiu do ponto M003, passando pelo viaduto abaixo da Av. da Legalidade e da Democracia, até a RN 1782X (figura 21), materializada no lado esquerdo da porta principal da Igreja de Nossa Senhora dos Navegantes.

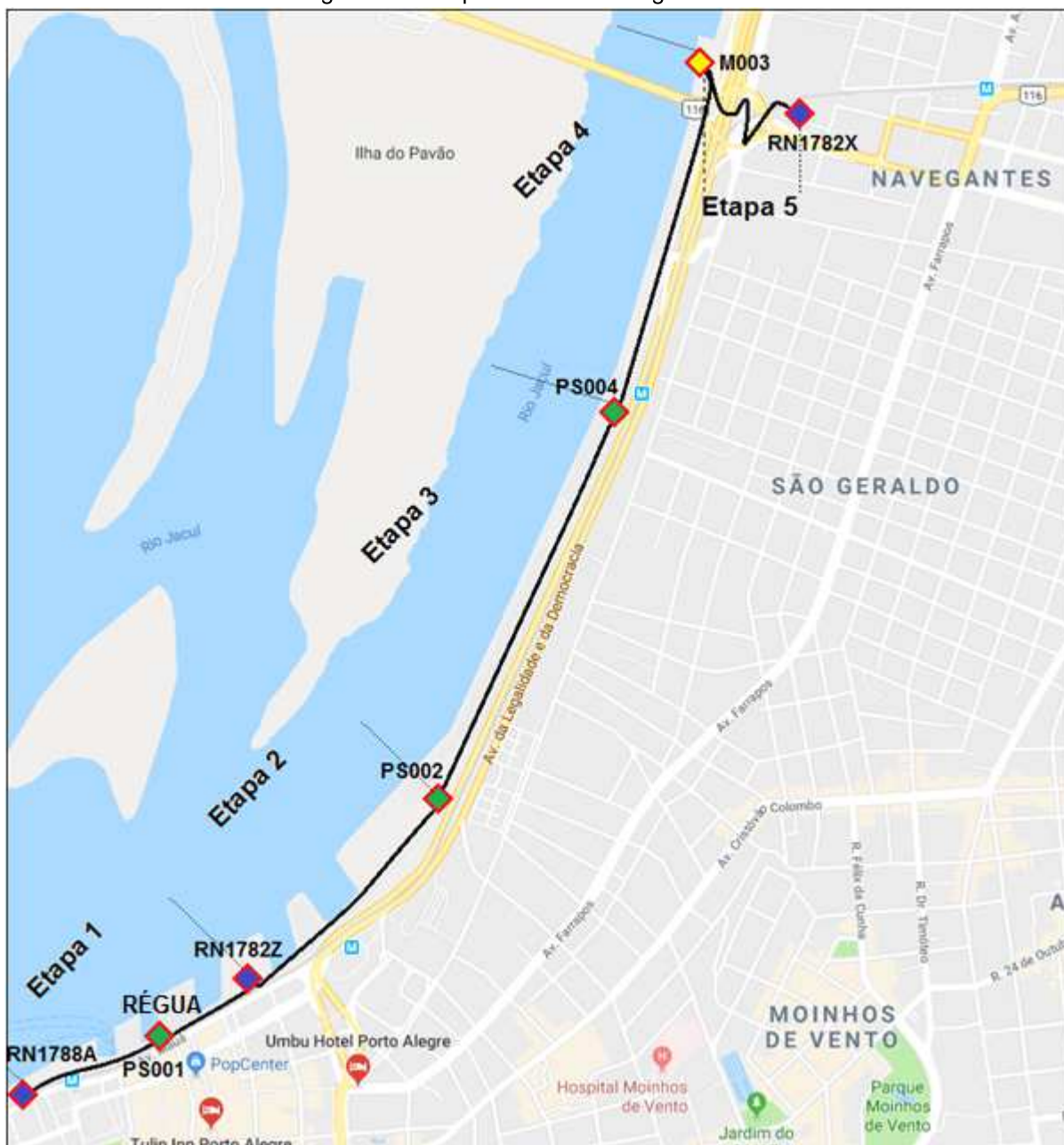
Figura 21 - RN 1782X



Fonte: Autores

Ao todo, foi realizado um percurso de aproximadamente 11 km para nivelamento e contranivelamento, totalizando seis dias de trabalho para concluir as cinco etapas supracitadas, levando em consideração, ainda, a repetição do trecho na área restrita do Porto. Segue na figura 22 um croqui localizando as RRNN, PS e M003.

Figura 22 - Croqui do nivelamento geométrico realizado



Fonte: Autores

A partir do nivelamento realizado, foram calculados os desníveis do nivelamento ( $\Delta H_N$ ) e contranivelamento ( $\Delta H_{CN}$ ), e seus respectivos erros de fechamento, que podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1 - Erros de fechamento de cada seção de nivelamento

<b>Seção</b>	<b><math>\Delta H_N</math> (m)</b>	<b><math>\Delta H_{CN}</math> (m)</b>	<b>Erro de fechamento (m)</b>
<b>RN 1788A - PS001</b>	0,269	-0,266	0,003
<b>PS001 - RN 1782Z</b>	-0,323	0,323	0,000
<b>RN 1782Z - PS002</b>	-0,273	0,272	-0,001
<b>PS002 - PS004</b>	0,648	-0,650	-0,002
<b>PS004 - M003</b>	-0,663	0,661	-0,002
<b>M003 - RN 1782X</b>	1,308	-1,305	0,003

De acordo com o que preceitua a Resolução – PR nº 22, de 21 de julho de 1983, do IBGE, a qualidade do transporte altimétrico deverá ser controlada através das diferenças entre o nivelamento e contranivelamento, seção a seção, e acumuladas na linha, observando-se os valores limites de  $\pm 3 \text{ mm} \sqrt{k}$ , para levantamentos de alta precisão, de  $\pm 6 \text{ mm} \sqrt{k}$  para os de precisão em áreas mais desenvolvidas, de  $\pm 8 \text{ mm} \sqrt{k}$  para as áreas menos desenvolvidas e o de  $\pm 12 \text{ mm} \sqrt{k}$  para levantamentos locais, onde  $k$  é a distância nivelada em quilômetros. Analisando a diferença entre o nivelamento e contranivelamento de cada seção, a tolerância em qual se enquadra foi a de  $\pm 6 \text{ mm} \sqrt{k}$ , como pode se observar na Tabela 2.

Tabela 2 - Tolerância para cada seção de nivelamento

<b>Seção</b>	<b>Erro de fechamento (m)</b>	<b>Distância (km)</b>	<b>Tolerância (<math>\pm 6 \text{ mm} \sqrt{k}</math>)</b>
<b>RN 1788A - PS001</b>	0,003	0,582	$\pm 0,005$
<b>PS001 - RN 1782Z</b>	0,000	0,348	$\pm 0,004$
<b>RN 1782Z - PS002</b>	-0,001	0,922	$\pm 0,006$
<b>PS002 - PS004</b>	-0,002	1,345	$\pm 0,007$
<b>PS004 - M003</b>	-0,002	1,328	$\pm 0,007$
<b>M003 - RN 1782X</b>	0,003	0,582	$\pm 0,005$

Da mesma forma, foi verificada a qualidade das linhas de nivelamento, calculando a tolerância para cada linha, considerando os trajetos entre as RRNN, e o resultado obtido enquadra-se na tolerância de  $\pm 4 \text{ mm } \sqrt{k}$ .

Tabela 3 - Tolerância para cada linha de nivelamento

Linha	Erro de fechamento (m)	Distância (km)	Tolerância ( $\pm 4 \text{ mm } \sqrt{k}$ )
RN 1788A - RN 1782Z	0,003	0,930	$\pm 0,004$
RN 1782Z - RN 1782X	-0,002	4,255	$\pm 0,008$
RN 1788A - RN 1782X	0,001	5,185	$\pm 0,009$

A partir das altitudes ortométricas oficiais das RRNN, foi possível calcular os desníveis ( $\Delta H$ ) de referência, que serviram para obter o erro de fechamento dos desníveis medidos obtidos no trabalho de nivelamento geométrico executado pelo grupo. O resultado pode ser conferido na Tabela 4 abaixo.

Tabela 4 - Tolerância dos desníveis obtidos para cada linha de nivelamento

Linha	$\Delta H$ oficial (m)	$\Delta H$ medido (m)	Erro de fechamento (m)	Tolerância ( $\pm 6 \text{ mm } \sqrt{k}$ )
RN 1788A - RN 1782Z	-0,050	-0,055	-0,005	$\pm 0,006$
RN 1782Z - RN 1782X	1,022	1,022	0,000	$\pm 0,012$
RN 1788A - RN 1782X	0,972	0,967	-0,005	$\pm 0,014$

No capítulo de resultados serão apresentadas as correções dos desníveis obtidos, bem como as altitudes ortométricas corrigidas dos marcos implantados e pontos de segurança do nivelamento geométrico realizado pelo grupo.

## 2.2.6 Levantamento topográfico planialtimétrico

O levantamento topográfico executado pelo grupo pode ser dividido em duas partes: planimetria e altimetria. Ambas atividades foram executadas simultaneamente, de acordo com a visibilidade proporcionada pelos pontos de apoio utilizados para as

irradiações: M001, M002 e M003. Os equipamentos usados foram Estação Total, tripé, dois bastões com prismas, um facão e rádios intercomunicadores para cada integrante do grupo.

A planimetria foi utilizada para demarcar os limites do terreno, através da obtenção das posições relativas às cercas, portões e cais. Entre os demais objetos a serem representados nas plantas, podemos citar alguns não muito comuns, como cabeços de amarração (fundidos, soldados e avariados) e um Contêiner de Explosivos da empresa Mistral Security, conforme demonstra a figura 23.

Figura 23 - Cabeço fundido (esquerda), cabeço avariado (meio) e Contêiner de Explosivos (direita)



Fonte: Autores

A feição para a qual o grupo despendeu mais tempo foi a escadaria da doca, muito por conta do detalhamento que a mesma possui, devendo-se coletar pontos em todos os degraus; mas também por sua representatividade na área, em se tratando de um terreno de Marinha. Os demais objetos existentes não fogem do comum: árvores com diversos diâmetros, postes, caixa de luz e três telheiros (figura 24). Foram levantados também, por motivo de planejamento para a obra, buracos causado pela erosão de tamanho e profundidade consideráveis.

Figura 24 - Telheiro



Fonte: Autores

Os pontos de altimetria, obtidos através do método de nivelamento trigonométrico, foram coletados nas regiões em que havia maior variação de altitude, onde se destaca existência de uma elevação, provavelmente oriunda de ação antrópica, que praticamente divide o terreno. Mesmo assim, pode-se considerar o terreno da Patromoria como sendo predominantemente plano.

O grupo concluiu essa etapa do trabalho em cinco turnos, e coletou, ao todo, 1272 pontos, tanto para a parte de planimetria quanto para a de altimetria. Todo o trabalho de levantamento topográfico foi armazenado diretamente na memória da Estação Total, tendo o grupo feito ainda, no decorrer do levantamento, um croqui para sanar eventuais dúvidas no processamento dos dados.

### 2.2.7 Batimetria

Os levantamentos batimétricos foram executados: utilizando o ecobatímetro multifeixe, em conjunto com a equipe da SUPRG; utilizando ecobatímetro monofeixe e efetuando o levantamento batimétrico por toque utilizando o grave, os dois últimos contando apenas com os integrantes do grupo e orientador, além do piloto da embarcação utilizada nos dois casos. Para o último caso, o grupo ainda contou com a colaboração de um auxiliar para as leituras com o grave.

#### 2.2.7.1 Batimetria multifeixe

O levantamento batimétrico utilizando a tecnologia multifeixe foi o primeiro método de mapeamento da parte submersa, inerente à área da Patromoria, executado pelo grupo. O ecobatímetro multifeixe *SeaBat 7125 – Teledyne RESON Dual Head* foi operado pela equipe responsável pelos levantamentos hidrográficos da SUPRG.

O efetivo envolvido no referido levantamento: engenheiros da SUPRG, graduandos e orientador; ingressaram na embarcação no cais da SUPRG, onde foram elucidadas algumas dúvidas referentes ao funcionamento do ecobatímetro multifeixe. No mesmo local, antes de iniciar o deslocamento até a Patromoria, foi feita a leitura na régua linimétrica que serviu de referência ao levantamento, a fim de utilizar o referido valor no cálculo das profundidades obtidas pela batimetria multifeixe.

Chegando na área de interesse para o levantamento, foram definidas as linhas de sondagem, e assim, pôde ser efetuada a referida batimetria, sendo acompanhada simultaneamente por meio de monitores. A determinação do posicionamento da embarcação em tempo real foi realizado através do receptor GNSS *Trimble* SPS461 cuja antena encontra-se na posição central da fotografia apresentada na figura 25, o posicionamento foi realizado utilizando o método de correções *OmniSTAR* HP *service*, com precisão horizontal de  $\pm 0,1$  m e vertical de  $\pm 0,15$  m. As outras duas antenas apresentadas na figura 25 pertencem ao receptor do sistema inercial *Applanix* POS MV, que registra e realiza as correções referentes às atitudes da embarcação.

Figura 25 - Antenas dos receptores GNSS do sistema multifeixe



Fonte: Autores

O trajeto executado pela embarcação, no entanto, não foi suficiente para cobrir toda a área da doca existente na Patromoria, em virtude de objetos existentes na água, tais como galhos de árvores e resíduos sólidos, poderem danificar os transdutores.



Prudentemente, a equipe da SUPRG não avançou até esta área de risco e encerrou o levantamento.

A batimetria multifeixe foi executada durante um turno e, como produto desta etapa, o grupo obteve uma densa nuvem de pontos que posteriormente foi processada conforme descrito no capítulo seguinte.

#### *2.2.7.2 Batimetria por toque utilizando grave*

O levantamento batimétrico por meio de toque utilizando o grave se fez necessário para cobrir a área próxima da doca da Patromoria, local que a embarcação com o sistema multifeixe não pôde chegar. Além dessa área, o grupo aproveitou para levantar alguns pontos na região abrangida pela batimetria multifeixe, a fim de efetuar um confrontamento dos dados obtidos.

O aparato utilizado na atividade foi confeccionado com uma trena de fibra de vidro, graduada em centímetros, amarrada a um grave de ferro de 3 kg. Nesta etapa, o grupo contou, além do orientador, com o apoio do piloto da embarcação.

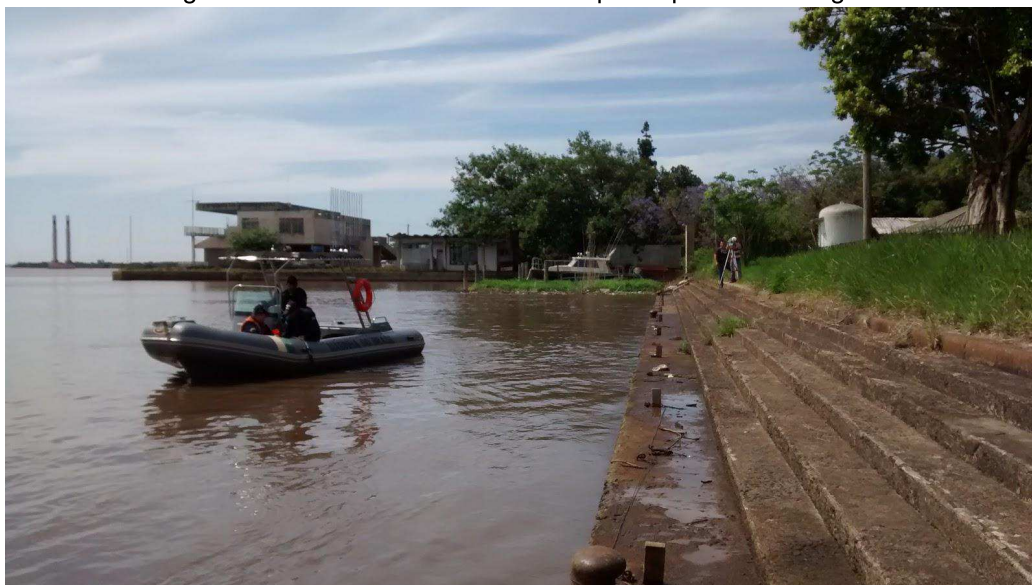
A profundidade foi medida diretamente na graduação da trena no momento em que o grave tocava o fundo do rio. As leituras foram realizadas no centro fiducial da parte posterior do prisma fixado na embarcação.

As medidas angulares e de distâncias utilizadas para o cálculo da posição da embarcação foram feitas com a Estação Total estacionada sobre o marco implantado próximo à doca (M001), possibilitando, assim as visadas ao prisma colocado na embarcação (figura 26). Através deste método foi possível realizar as reduções altimétricas das profundidades de duas maneiras distintas, o cálculo destas reduções será aprofundado adiante neste relatório.

Para sincronizar o momento das leituras de profundidade e leituras eletrônicas da Estação Total, foram utilizados rádio comunicadores. Desta forma o operador da Estação Total pôde acompanhar o prisma, através da luneta, durante o deslocamento

da embarcação, realizando a leitura somente após que o integrante responsável pela leitura do grave lhe informasse via rádio.

Figura 26 - Levantamento batimétrico por toque utilizando grave

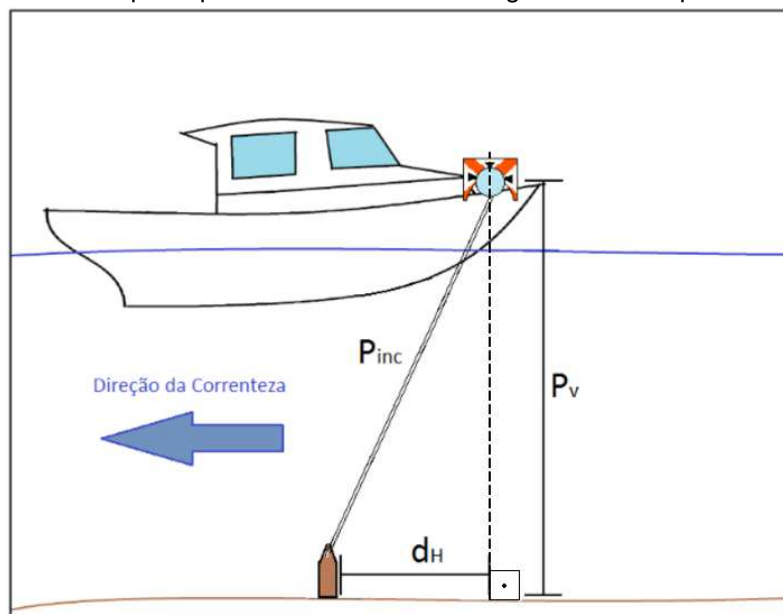


Fonte: Autores

Seguindo a mesma metodologia, mas sem a necessidade do auxílio da embarcação, foram feitas leituras diretamente no cais da doca, suspendendo o grave em pontos próximos à parede do cais, onde a embarcação não foi capaz de se aproximar. Como de praxe, foram feitas leituras na régua linimétrica da Estação Fluviométrica Praça Harmonia que referenciou os levantamentos batimétricos, antes e depois da referida atividade.

A precisão esperada para esta atividade ( $\pm 1$  cm) ficou comprometida devido às condições adversas encontradas. Durante a realização da batimetria com grave a correnteza encontrava-se muito forte na região devido às fortes chuvas que ocorreram em dias anteriores ao levantamento. Devido ao rápido deslocamento horizontal da embarcação ocasionado pela correnteza a latência da medição com a Estação Total acabou comprometendo a precisão das coordenadas planimétricas ficando estimadas em  $\pm 1$  m na direção da correnteza da leitura e  $\pm 0,5$  m na transversal da correnteza. A correnteza também prejudicou a precisão da medida de profundidade, por ocasião do arrastamento do grave, a medição não é realizada de forma perfeitamente vertical conforme apresentado no croqui da figura 27.

Figura 27 - Croqui do possível deslocamento do grave causado pela correnteza



Fonte: Autores

Onde,

$P_{inc}$  é a profundidade inclinada;

$P_v$  é a profundidade vertical; e

$d_H$  é o deslocamento horizontal do grave causado pela correnteza.

Para calcular a precisão estimada da medição da profundidade com o grave foi considerado um deslocamento horizontal de 20% da profundidade no local. Abaixo segue dedução da precisão estimada para as medições:

$$P_{inc}^2 = P_v^2 + d_H^2$$

$$d_H = 0,2 \cdot P_{inc}$$

$$P_{inc}^2 = P_v^2 + (0,2 \cdot P_{inc})^2$$

$$P_{inc}^2 = P_v^2 + 0,04 \cdot P_{inc}^2$$

$$P_v^2 = P_{inc}^2 - 0,04 \cdot P_{inc}^2$$

$$P_v = [(1 - 0,04) \cdot P_{inc}^2]^{1/2}$$

$$P_v = P_{inc} \cdot (0,96)^{1/2}$$

$$P_v = 0,98 \cdot P_{inc}$$

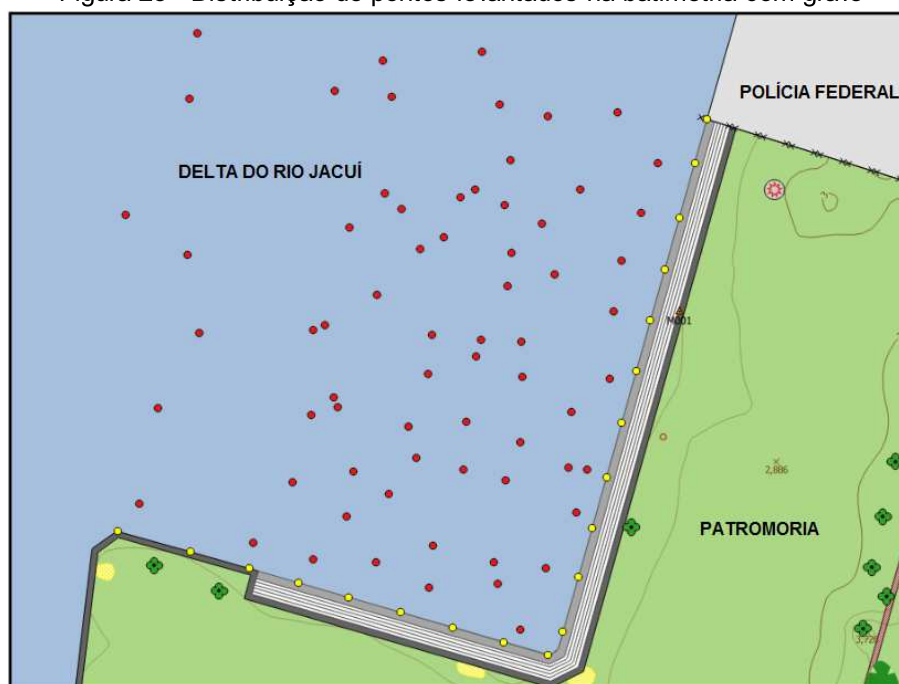
$$P_{inc} = 1,02 \cdot P_v$$

$$P_{inc} = P_v + 0,02 \cdot P_v \quad (8)$$

Com isso, temos que a precisão depende da profundidade do ponto, sendo o erro esperado de 2% da profundidade no local.

Foram levantados no total 88 pontos, conforme a figura 28, 68 pontos (em vermelho) utilizando a embarcação e 20 pontos (em amarelo) sobre a parede do cais, abrangendo uma área de aproximadamente 3.300m<sup>2</sup>, média de 1 ponto a cada 37,5m<sup>2</sup>.

Figura 28 - Distribuição de pontos levantados na batimetria com grave



Fonte: Autores

### 2.2.7.3 Batimetria monofeixe

O levantamento utilizando o ecobatímetro monofeixe foi o terceiro método de aquisição de dados batimétricos da área da Patromoria efetuado pelo grupo, sendo a segunda aplicação de metodologia indireta de levantamento batimétrico. No entanto, tendo em vista que com o multifeixe os graduandos não tiveram a mesma autonomia e responsabilidade pelos resultados como nessa etapa, o levantamento batimétrico com o ecobatímetro monofeixe atraiu uma grande parcela das atenções da equipe. O

equipamento utilizado é de posse do Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica da UFRGS (CECO).

Com a simples montagem e operação do equipamento, cabia apenas à embarcação executar as linhas de sondagem conforme o trajeto visualizado no monitor do equipamento (figura 29, à esquerda), e também a correta postura do responsável por suspender a haste contendo a antena do receptor e o transdutor do ecobatímetro monofeixe (figura 29, à direita), devendo a haste estar sempre na posição mais vertical possível.

Figura 29 - Ecobatímetro monofeixe



Fonte: Autores

A batimetria monofeixe conseguiu abranger a área mais próxima do cais em virtude do menor tamanho da embarcação em relação à utilizada para a batimetria multifeixe, no entanto, a equipe teve que disponibilizar um integrante para retirar os objetos existentes no rio e que poderiam atingir o transdutor (figura 30), utilizando, para isso, um remo. O referido levantamento requereu um turno de trabalho.

Figura 30 - Objetos encontrados no rio



Fonte: Autores

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Transporte de altitudes

A partir dos desníveis medidos utilizando as altitudes ortométricas de referência (tabela 5), foi possível calcular as altitudes ortométricas dos pontos de segurança, dos marcos implantados e da base da régua linimétrica utilizado para referenciar os levantamentos batimétricos, conforme será descrito no decorrer deste capítulo.

Tabela 5 - Altitudes ortométricas de referência (IBGE)

RN	Altitude ortométrica (m)
1788A	2,993
1782Z	2,943
1782X	3,965

Para calcular a altitude ortométrica do zero da régua linimétrica (ZR) foi preciso realizar algumas reduções, tendo antes que determinar a distância (*offset*) entre o topo da régua linimétrica e a marcação de 2 metros. Para isso, foi necessário analisar a fotografia tirada no momento em que o *offset* da régua linimétrica estava sendo medido com uma trena (figura 31).

Figura 31 – Medida do *offset* da régua linimétrica



Fonte: Autores

Após análise da imagem, o *offset* encontrado foi de 0,106 metro. Com isso, para o cálculo do desnível entre o PS001 e o zero da régua linimétrica foi utilizada a seguinte equação:

$$\Delta H_{ZR} = \Delta H_{PS001-RÉGUA} - OFFSET_{RÉGUA} - ALTURA_{RÉGUA} \quad (9)$$

Onde,

$\Delta H_{ZR}$  = desnível entre PS001-ZR;

$\Delta H_{PS001-RÉGUA}$  = desnível PS001-RÉGUA;

$OFFSET_{RÉGUA}$  = 0,106 metro; e

$ALTURA_{RÉGUA}$  = 2 metros.

Assim, foi encontrado para o desnível PS001-ZR o valor de -3,682 metros. Com todos os desníveis de lances e seções determinados, foi possível calcular as altitudes de cada ponto medido (tabela 6).

Tabela 6 - Altitudes calculadas para os lances e seções do nivelamento

<b>Seção</b>	<b><math>\Delta H_{CALC}</math> (m)</b>	<b><math>H_{CALC}</math> (m)</b>
<b>RN 1788A - PS001</b>	0,268	3,261 (PS001)
<b>PS001 - RN 1782Z</b>	-0,323	2,938 (RN 1782Z)
<b>RN 1782Z - PS002</b>	-0,272	2,666 (PS002)
<b>PS002 - PS004</b>	0,649	3,315 (PS004)
<b>PS004 - M003</b>	-0,662	2,653 (M003)
<b>M003 - RN 1782X</b>	1,307	3,960 (RN 1782X)
<b><math>\Sigma \Delta H_{CALC}</math></b>	<b>0,967</b>	
<b>Lance</b>	<b><math>\Delta H_{CALC}</math> (m)</b>	<b><math>H_{CALC}</math> (m)</b>
<b>PS001 - ZL</b>	-3,682	-0,421 (ZL)
<b>M003 - M002</b>	0,043	2,696 (M002)
<b>M002 - M001</b>	-0,111	2,585 (M001)

Por meio dessas altitudes calculadas o grupo obteve os desníveis calculados, e analisando os referidos valores, foi detectada um erro de fechamento entre os desníveis calculados ( $\Delta H_{CALC}$ ) e os desníveis obtidos por meio das altitudes de referência ( $\Delta H_{REF}$ ), conforme mostra a tabela 7.

Tabela 7 - Erro de fechamento entre desníveis calculados e desníveis de referência

Linha	$\Delta H_{\text{CALC}}$ (m)	$\Delta H_{\text{REF}}$ (m)	DH (m)	Erro (m)
RN 1788A - RN 1782Z	-0,055	-0,050	930,01	-0,005
RN 1782Z - RN 1782X	1,022	1,022	4254,98	0,000
RN 1788A - RN 1782X	0,967	0,972	5184,99	-0,005

Em virtude da necessidade de corrigir os valores das altitudes calculadas, e levando em conta que este trabalho não envolve uma rede de nivelamento, o ajustamento do nivelamento efetuado pelo grupo não poderá ser realizado. Desta forma, para corrigir os valores das altitudes calculadas, será utilizado o método de compensação nos valores dos desníveis, que consiste na distribuição do erro de fechamento de forma proporcional à distância do ponto em relação a RN, conforme as equações abaixo:

$$\text{FATOR}_{\text{CORR}} = - (\text{ERRO}_{\text{LINHA}} \times \text{DH}_{\text{SEÇÃO}}) / \text{DH}_{\text{LINHA}} \quad (10)$$

$$\Delta H_{\text{CORR}} = \Delta H_{\text{CALC}} + \text{FATOR}_{\text{CORR}} \quad (11)$$

Onde,

$\text{FATOR}_{\text{CORR}}$  = valor de correção para a seção;

$\text{ERRO}_{\text{LINHA}}$  = valor do erro da linha;

$\text{DH}_{\text{SEÇÃO}}$  = distância horizontal da seção;

$\text{DH}_{\text{LINHA}}$  = distância horizontal da linha;

$\Delta H_{\text{CALC}}$  = desnível calculado; e

$\Delta H_{\text{CORR}}$  = desnível corrigido.

A tabela 8 demonstra os valores dos fatores de correção, assim como dos desníveis corrigidos ( $\Delta H_{\text{CORR}}$ ) obtidos.



Tabela 8 - Fatores de correção e desníveis corrigidos obtidos

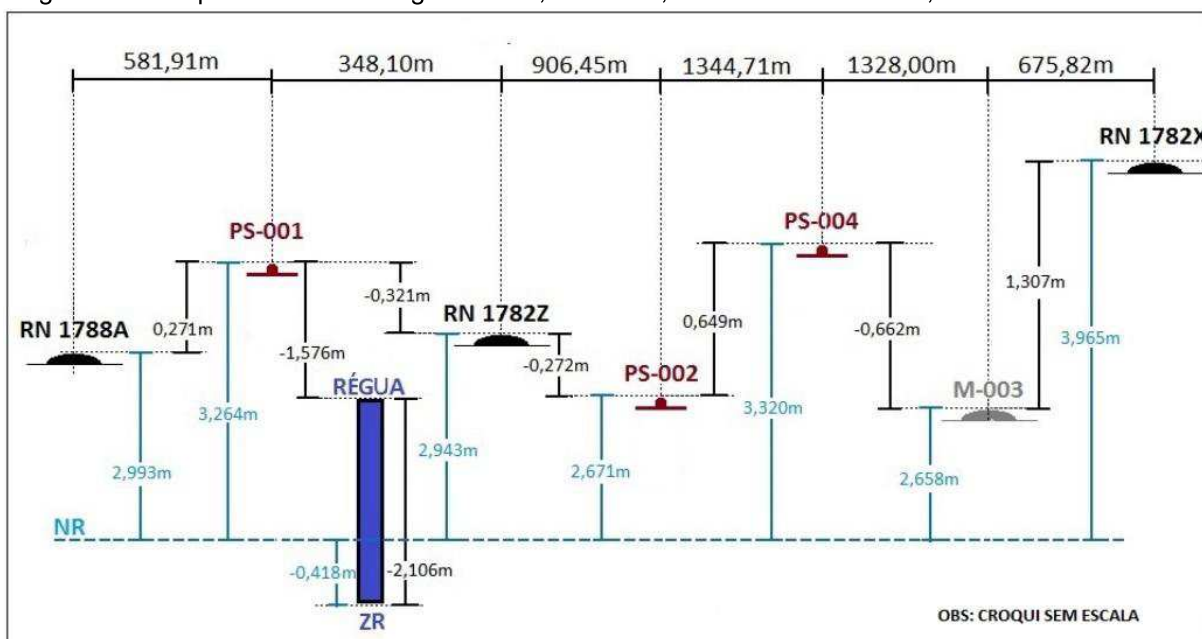
Seção	$\Delta H_{\text{CALC}}$ (m)	$DH_{\text{SEÇÃO}}$ (m)	FATOR <sub>CORR</sub> (m)	$\Delta H_{\text{CORR}}$ (m)
<b>RN 1788A - PS001</b>	0,268	581,91	0,003	0,271
<b>PS001 - RN 1782Z</b>	-0,323	348,10	0,002	-0,321
<b>RN 1782Z - PS002</b>	-0,272	906,45	0,000	-0,272
<b>PS002 - PS004</b>	0,649	1344,71	0,000	0,649
<b>PS004 - M003</b>	-0,662	1328,00	0,000	-0,662
<b>M003 - RN 1782X</b>	1,307	675,82	0,000	1,307

Com os desníveis devidamente corrigidos, foi possível determinar as altitudes dos referidos pontos, conforme pode ser observado através da tabela 9 e croqui da figura 32.

Tabela 9 - Desníveis e altitudes corrigidos dos lances e seções do nivelamento

Seção	$\Delta H_{\text{CORR}}$ (m)	$H_{\text{CORR}}$ (m)
<b>RN 1788A - PS001</b>	0,271	3,264 (PS001)
<b>PS001 - RN 1782Z</b>	-0,321	2,943 (RN 1782Z)
<b>RN 1782Z - PS002</b>	-0,272	2,671 (PS002)
<b>PS002 - PS004</b>	0,649	3,320 (PS004)
<b>PS004 - M003</b>	-0,662	2,658 (M003)
<b>M003 - RN 1782X</b>	1,307	3,965 (RN 1782X)
<b><math>\Sigma \Delta H_{\text{CALC}}</math></b>	<b>0,972</b>	
Lance	$\Delta H_{\text{CORR}}$ (m)	$H_{\text{CORR}}$ (m)
<b>PS001 - ZL</b>	-3,682	-0,418 (ZL)
<b>M003 - M002</b>	0,043	2,701 (M002)
<b>M002 - M001</b>	-0,111	2,590 (M001)

Figura 32 - Croqui do nivelamento geométrico, desníveis, altitudes ortométricas, distâncias horizontais



Fonte: Autores

As altitudes dos pontos M001, M002 e ZR, foram determinadas utilizando os desníveis medidos, pois estes não poderiam ser corrigidos, devido ao fato de não fazerem parte de uma seção do nivelamento. A ficha de descrição da estação maregráfica Praça da Harmonia e a caderneta de nivelamento constam nos anexos J e L deste relatório.

A tabela 10 abaixo retoma os valores, para os pontos de apoio implantados, das suas altitudes ortométricas, obtidas conforme mencionado acima no nivelamento geométrico, e ainda, das altitudes geométricas, quando efetuado o rastreamento com GNSS.

Tabela 10 – Altitudes geométricas e ortométricas dos marcos geodésicos implantados

Ponto	Altitude geométrica (m)	Altitude ortométrica (m)
M001	7,703	2,590
M002	7,811	2,701
M002	7,774	2,658

De posse desses valores pôde-se efetuar uma comparação entre as altitudes ortométricas calculadas em campo e as obtidas através do *software* MAPGEO 2015, do IBGE, no qual se ingressa com as coordenadas dos pontos de interesse e se tem

como retorno o valor de altitude geoidal (figura 33) da região, possibilitando, assim, o cálculo das altitudes ortométricas através da seguinte equação:

$$H = h - N \quad (12)$$

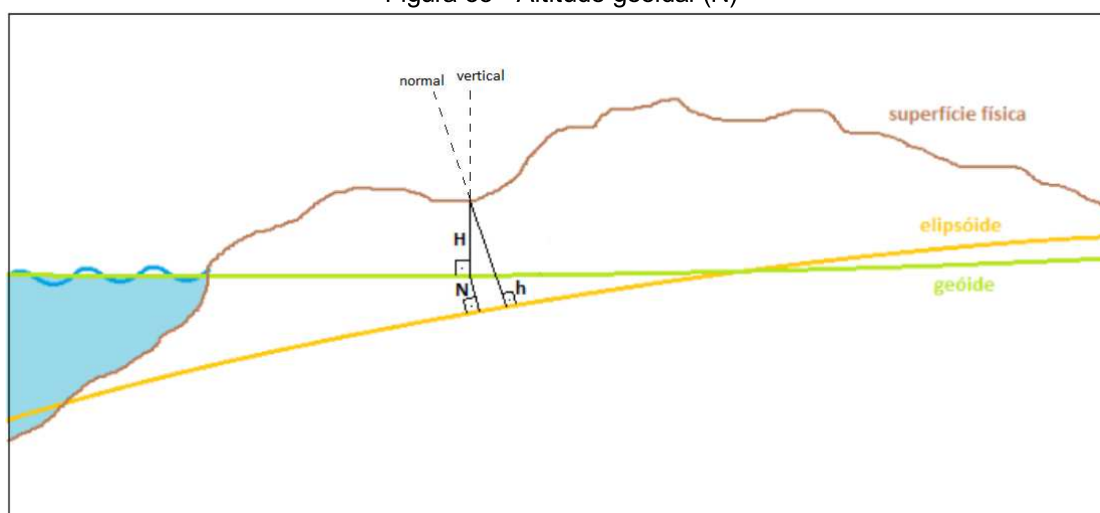
Onde,

H = altitude ortométrica, em metros;

h = altitude geométrica, em metros; e

N = altitude geoidal, em metros.

Figura 33 - Altitude geoidal (N)



Fonte: Autores

A altitude geoidal fornecida pelo MAPGEO 2015 foi de 4,96 metros, assim, foram calculadas novamente as altitudes ortométricas dos pontos M001, M002 e M003, chegando ao seguinte resultado (tabela 11):

Tabela 11 – Altitudes ortométricas obtidas pelo MAPGEO 2015

Ponto	Altitude ortométrica (m)
M001	2,743
M002	2,851
M002	2,814

Calculando as diferenças entre as altitudes ortométricas, obteve-se as discrepâncias demonstradas na tabela 12:

Tabela 12 – Discrepâncias entre as altitudes ortométricas

Ponto	Altitude ortométrica (m) Nivelamento Geométrico	Altitude ortométrica (m) MAPGEO 2015	Discrepância (m)
M001	2,590	2,743	0,153
M002	2,701	2,851	0,150
M002	2,658	2,814	0,156

A discrepância encontrada ressalta a importância de se utilizar um método de alta precisão, mesmo que muito mais trabalhoso, como o nivelamento geométrico, pois a altitude ortométrica obtida através dele está 15 centímetros abaixo daquela que foi calculada a partir da altitude geométrica rastreada por GNSS, o que faz bastante diferença para uma área portuária como a Patromoria.

### 3.2 Levantamento topográfico planialtimétrico

Os dados obtidos no levantamento planialtimétrico, inicialmente referenciados ao Plano Topográfico Local (PTL), com origem no marco M001 e Norte orientado ao marco M002, possuía coordenadas plano-retangulares (X,Y) de 150.000 metros para a abcissa e 250.000 para a ordenada.

As coordenadas foram processadas no *software* DataGeosis, a partir do qual foram calculadas as coordenadas globais (latitude e longitude) e as coordenadas UTM de todos os pontos da etapa de levantamento planialtimétrico, tanto as feições encontradas na área, quanto os pontos do nivelamento trigonométrico. Tais coordenadas podem ser consultadas na Caderneta Topográfica constante no anexo M do presente relatório.

De acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), divulgado por meio do Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984, 90% dos pontos isolados de altitude, obtidos por interpolação de curvas de nível, quando testados no terreno, não deverão

apresentar erro superior ao PEC altimétrico estabelecido. Para uma carta de exatidão Classe A, o PEC altimétrico equivale à metade da equidistância entre as curvas-de-nível, sendo de um terço desta equidistância o Erro-Padrão correspondente.

A fim de validar as curvas de nível geradas pela taqueometria eletrônica o grupo obteve os dados altimétricos da Patromoria novamente, desta vez com o Nível Digital Ruide DL-201, realizando o nivelamento geométrico por método polar. A planta planialtimétrica confeccionada pelo grupo foi gerada interpolando pelo método de Krigagem as curvas de nível com uma equidistância de 20 cm, logo, aplicando o PEC altimétrico Classe A para o projeto, 90% dos pontos não podem apresentar erro superior a 10 cm, assim como o Erro-Padrão deve ser inferior à 6,7cm.

Conforme se pode verificar no anexo N, os dados altimétricos obtidos no levantamento cumprem os requisitos do PEC Classe A, tendo o grupo logrado êxito em mais uma etapa do projeto.

### **3.3 Batimetria**

#### **3.3.1 Batimetria multifeixe**

Os dados provenientes do levantamento realizado utilizando o ecobatímetro multifeixe foram disponibilizados pela equipe da SUPRG em dois arquivos. No primeiro arquivo de extensão .tid, continham as leituras realizadas na régua linimétrica no início e no fim da sondagem, bem como a interpolação linear dos valores referentes à altura da lâmina d'água no intervalo de tempo compreendido para o levantamento. O segundo arquivo, de extensão .xyz, possuía as coordenadas UTM (E,N) e a profundidade de cada um dos 48.092 pontos registrados no levantamento. As profundidades existentes no arquivo .xyz já estavam referenciadas ao nível de redução<sup>9</sup>

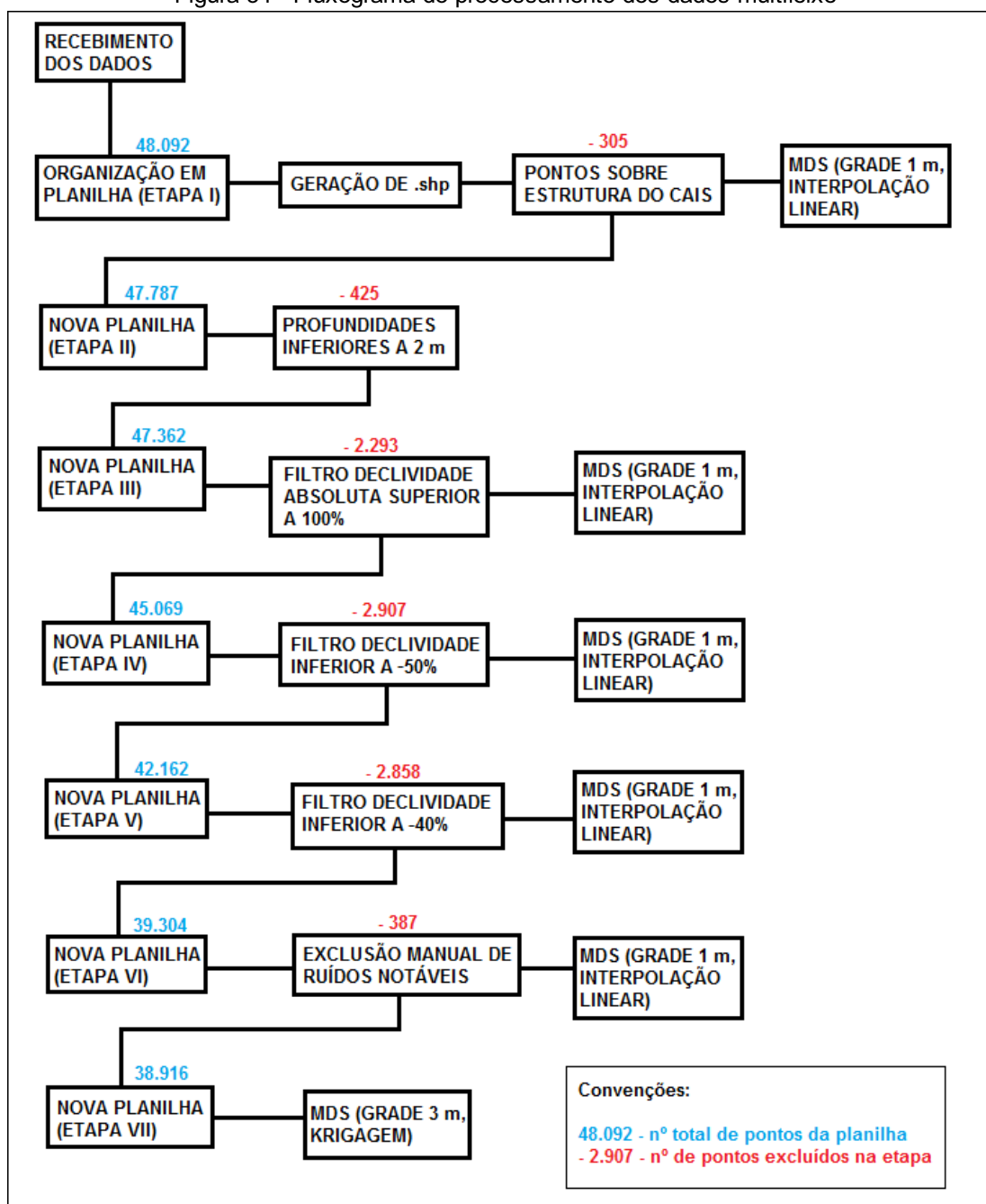
---

<sup>9</sup> Nível a que são referidas as alturas das marés e as sondagens (profundidades representadas nas cartas náuticas). O nível de redução corresponde ao nível médio das baixa-mares de sizígia nas cartas náuticas brasileiras. É um nível do qual o mar ou rio não desce senão raramente.

(NR), conforme informado pelo engenheiro responsável pelos levantamentos hidrográficos da SUPRG.

Para realização da filtragem dos dados foram utilizados basicamente três *softwares*, sendo eles, Microsoft Excel, *Golden Software Surfer* e QGIS. A sequência de processamento está apresentada no fluxograma da figura 34.

Figura 34 - Fluxograma do processamento dos dados multifeixe

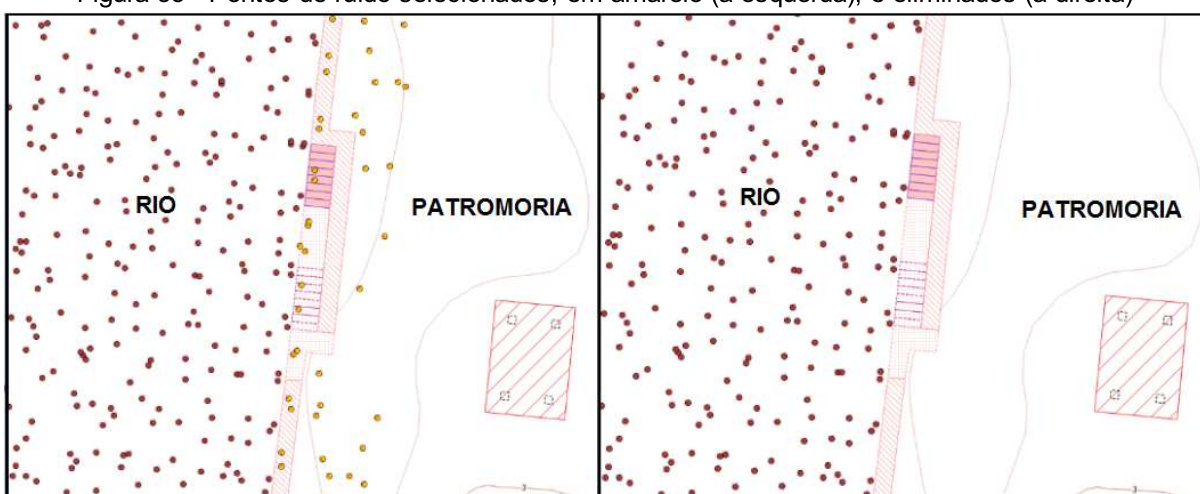


Fonte: Autores

O arquivo .xyz consiste em um arquivo texto organizado em colunas separadas por tabulação, desta maneira, este arquivo pôde ser facilmente manuseado no Excel.

Na primeira etapa do processamento foi gerado um arquivo *shapefile* (.shp) dos pontos do levantamento multifeixe. Essa nuvem de pontos foi plotada no QGIS sobre o polígono da estrutura do cais, produto gerado quando processado os dados do levantamento topográfico de feições. Todos os pontos que estavam sobre a superfície do cais foram eliminados, conforme figura 35 abaixo. Nesta etapa foram eliminados 305 pontos do arquivo.

Figura 35 - Pontos de ruído selecionados, em amarelo (à esquerda), e eliminados (à direita)



Fonte: Autores

Após a eliminação destes pontos foi gerado um modelo digital da superfície batimétrica. Utilizando o *software Surfer*, foi criada uma grade regular com pixel quadrado de 1 m, através do método de triangulação com interpolação linear. Através desta grade foi gerada a superfície (a) da figura 36.

É possível perceber que existem muitos picos (*outliers*) causados pelos dados ruidosos ou anômalos gravados pelo equipamento.

Para eliminação destes *outliers* foram excluídos todos os pontos com profundidades inferiores a 2 m, tendo em vista que no levantamento utilizando a metodologia clássica, com grave, a menor profundidade medida foi de 2,507 m. Na segunda operação de processamento foram eliminados 425 pontos.

A terceira etapa realizada no processamento para a eliminação de *outliers* consistiu na realização da filtragem dos dados. Para isso, foi levada em conta a

declividade entre pontos adjacentes. Para realizar esta operação foi inserida uma coluna na tabela de dados contendo um identificador, numerando os pontos de 1 a 47.362. Os cálculos foram realizados conforme as equações abaixo:

$$\Delta P = P_{i+1} - P_i \quad (13)$$

$$DH = [(E_{i+1} - E_i)^2 + (N_{i+1} - N_i)^2]^{1/2} \quad (14)$$

$$DC = \frac{\Delta P}{DH} \cdot 100 \quad (15)$$

Sendo,

$\Delta P$  = diferença de profundidade entre dois pontos;

$P$  = profundidade do ponto;

$E$  = coordenada leste UTM do ponto;

$N$  = coordenada norte UTM do ponto;

$DC$  = declividade entre dois pontos (em %); e

$DH$  = distância horizontal.

Após calcular as declividades entre os pontos adjacentes, foram eliminados todos os pontos cuja declividade absoluta fosse superior a 100%. Foi eliminado um total de 2.293 pontos após a filtragem. A nova superfície interpolada está apresentada em (b) na figura 36.

Ao comparar a primeira superfície gerada com a segunda, nota-se que houve uma grande diminuição da quantidade de *outliers* nos dados, entretanto, foi realizada uma segunda filtragem, desta vez eliminando pontos com declividade inferior a -50%. Nesta segunda filtragem foram rejeitados 2.907 pontos. A superfície gerada após esta etapa é apresentada em (c) na figura 36.

Para diminuir ainda mais a quantidade de ruídos na superfície, foi realizada, novamente, a filtragem de declividades, sendo que, desta vez, foram rejeitados os pontos com declividade inferior a -40% eliminando 2.858 pontos. A figura 36 (d) apresenta a superfície obtida após a quinta etapa de processamento.

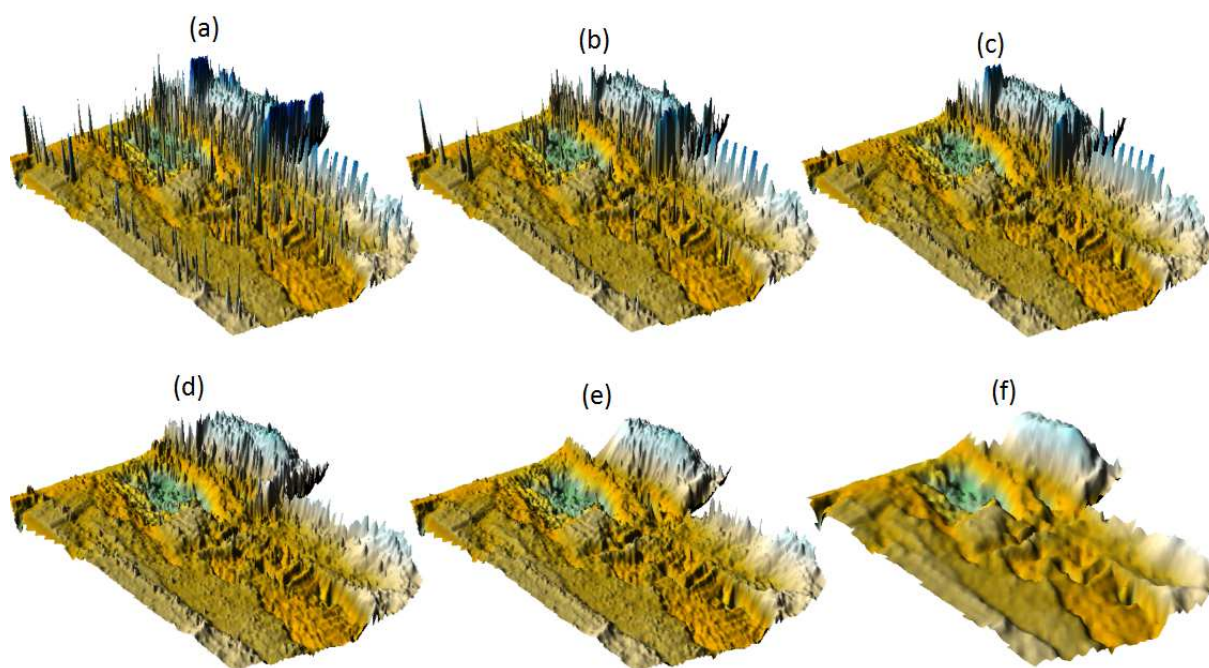
A fim de eliminar do modelo dados visivelmente ruidosos não englobando os dados bons de forma equivocada, foi feita a exclusão manual dos pontos onde foi possível verificar que a superfície gerada não correspondia com o aspecto natural da



superfície do leito de um rio. Grande parte destes pontos estavam nas proximidades da parede da estrutura do cais, onde provavelmente houve um reflexo do pulso acústico, sendo registrado de forma incorreta pelo ecobatímetro na aquisição de dados próximos à parede da parte interna da doca. A figuras 36 (e) apresenta a superfície após a filtragem manual.

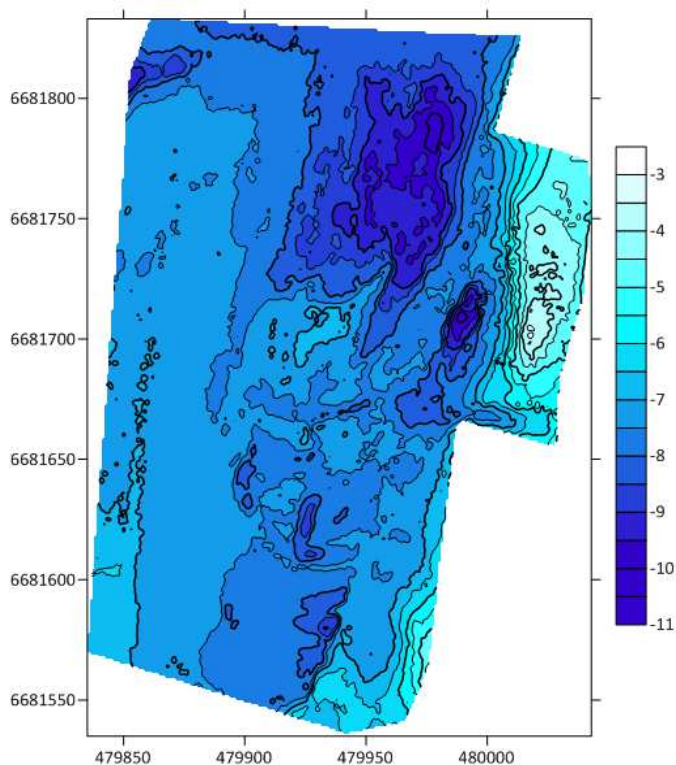
Como sétima e última etapa de processamento foi utilizado o método de Krigagem na interpolação dos dados, tendo em vista a necessidade de suavização da superfície. Nesta interpolação foi gerada uma grade com pixel quadrado de 3 m. Esta configuração da grade foi escolhida de forma que a superfície gerada fosse compatível com as outras superfícies (ecobatímetro monofeixe e levantamento por toque utilizando grave), essa compatibilização se faz necessária para que se torne possível a realização de operações matemáticas de comparação entre as referidas superfícies. A figura 36 (f) apresenta a superfície final do processamento e a figura 37 as isóbatas desta superfície.

Figura 36 - Modelos gerados nas etapas de filtragem dos dados multifeixe



Fonte: Autores

Figura 37 – Isóbatas com equidistância de 0,5m geradas a partir dos dados multifeixe



Fonte: Autores

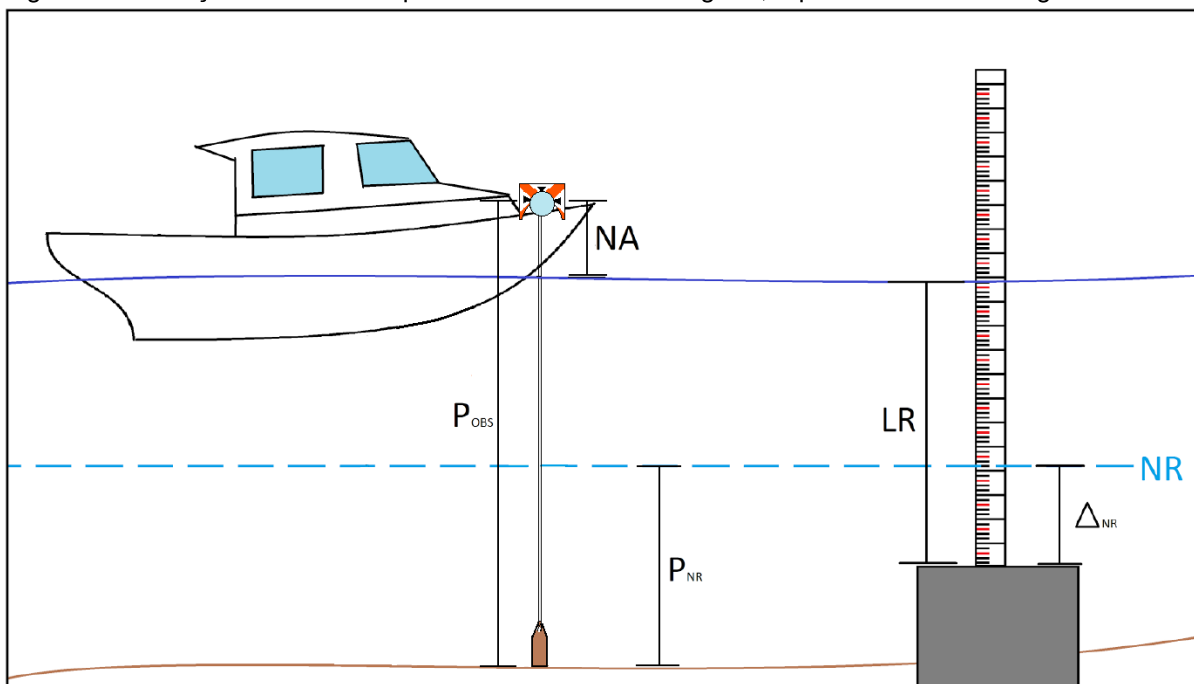
### 3.3.2 Batimetria por toque utilizando grave

Para o processamento dos dados da Estação Total e cálculo das coordenadas planimétricas dos pontos levantados, foi utilizado o *software* DataGeosis. Primeiramente foram calculadas em um sistema de coordenadas plano-retangulares (Plano Topográfico Local) e posteriormente georreferenciadas, inserido no *software* as coordenadas geodésicas dos vértices de apoio. Para a compatibilização dos dados dos levantamentos batimétricos foi realizada no *software* a transformação das coordenadas globais em coordenadas geodésicas.

As reduções altimétricas para o cálculos das profundidades ao nível de redução foram realizadas de duas maneiras distintas e comparadas posteriormente.

A primeira redução foi realizada a partir das leituras realizadas na régua linimétrica da estação fluviométrica da Praça Harmonia conforme croqui apresentado na figura 38 e equação abaixo:

Figura 38 - Reduções altimétricas para o levantamento com grave, a partir da leitura da régua linimétrica



Fonte: Autores

$$P_{NR} = P_{OBS} - NA - LR + \Delta_{NR} \quad (16)$$

Onde,

$P_{NR}$  = profundidade ao nível de redução;

$P_{OBS}$  = profundidade da leitura no grave;

NA = distância do centro do prisma até o nível d'água;

LR = leitura da régua linimétrica da estação fluviométrica; e

$\Delta_{NR}$  = diferença entre o zero da régua linimétrica e o nível de redução.

A leitura da régua linimétrica foi considerada constante, obtida através da média de 8 medidas da régua linimétrica antes do levantamento e 8 medidas após a execução da atividade. O valor médio encontrado para as leituras foi de 1,761 m.

A distância do centro do prisma até o nível d'água foi medido com a embarcação atracada ao cais, com todos os tripulantes a bordo. O valor medido foi de 0,570 m.

A diferença entre o zero da régua linimétrica e o nível de redução foi obtido através do transporte altimétrico a partir das estações de referência de nível do IBGE, cujo valor encontrado foi de 0,418 m.

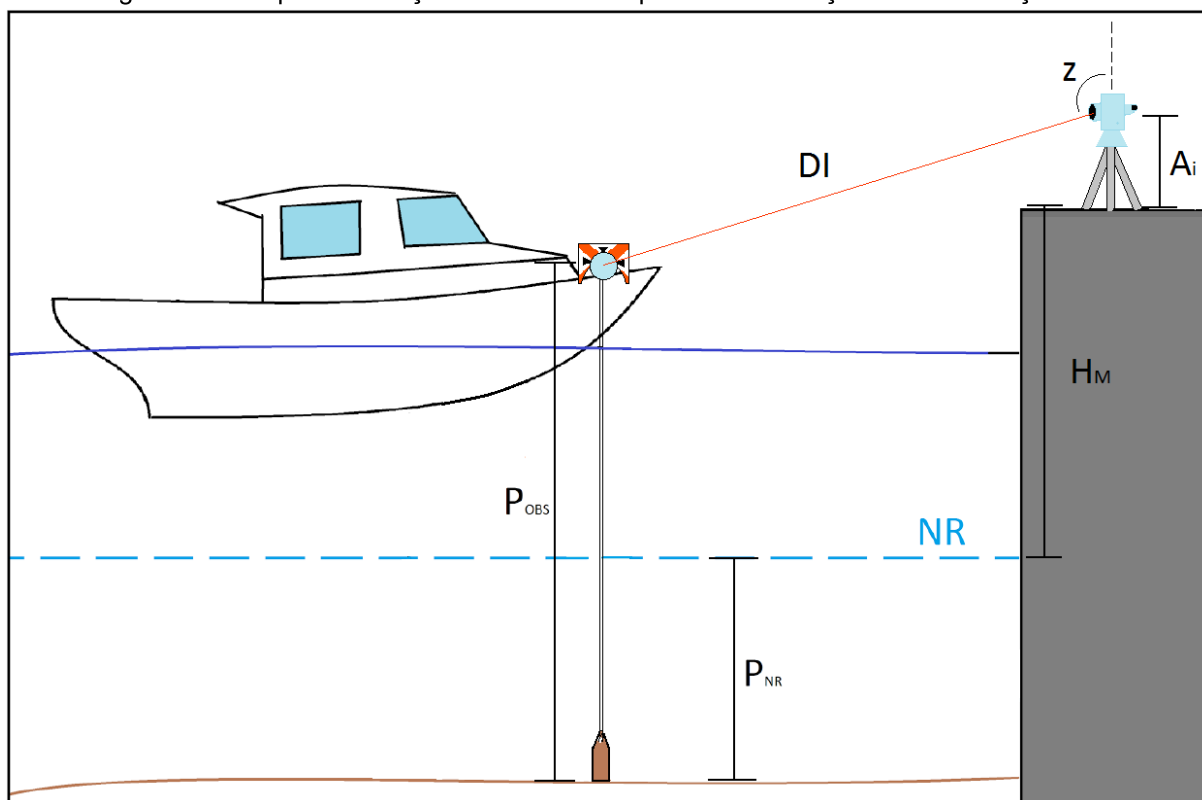
Aplicando estas constantes na equação anterior obtivemos:

$$\begin{aligned}P_{NR} &= P_{OBS} - 0,570 \text{ m} - 1,761 \text{ m} + 0,418 \text{ m} \\P_{NR} &= P_{OBS} - 1,913 \text{ m} \quad (17)\end{aligned}$$

A partir desta equação todos os pontos levantados através da batimetria por toque foram colocados no mesmo referencial dos outros levantamentos batimétricos.

Entretanto devido as atitudes da embarcação e o comportamento dinâmico da superfície da água, sabe-se de antemão que os valores de NA e LR são variáveis durante o levantamento. Para confirmar os cálculos e confrontar os resultados, as profundidades levantadas com o grave foram levadas ao nível de redução através das distâncias inclinadas e ângulos zenitais obtidos com a estação total. Desta forma as profundidades também foram calculadas a partir das irradiações realizadas com a estação total conforme a figura 39, esta metodologia só é possível tendo em vista que a régua linimétrica da estação fluviométrica e os marcos geodésicos implantados possuem o mesmo referencial altimétrico, devido ao transporte de altitudes realizado a partir das RRNN do IBGE.

Figura 39 - Croqui das reduções altimétricas a partir das irradiações com a estação total



Fonte: Autores

$$P_{NR} = P_{OBS} - DI \cdot \cos(z) - A_i - H_M \quad (18)$$

Onde,

$P_{NR}$  = profundidade ao nível de redução;

$P_{OBS}$  = profundidade da leitura no grave;

DI = distância inclinada;

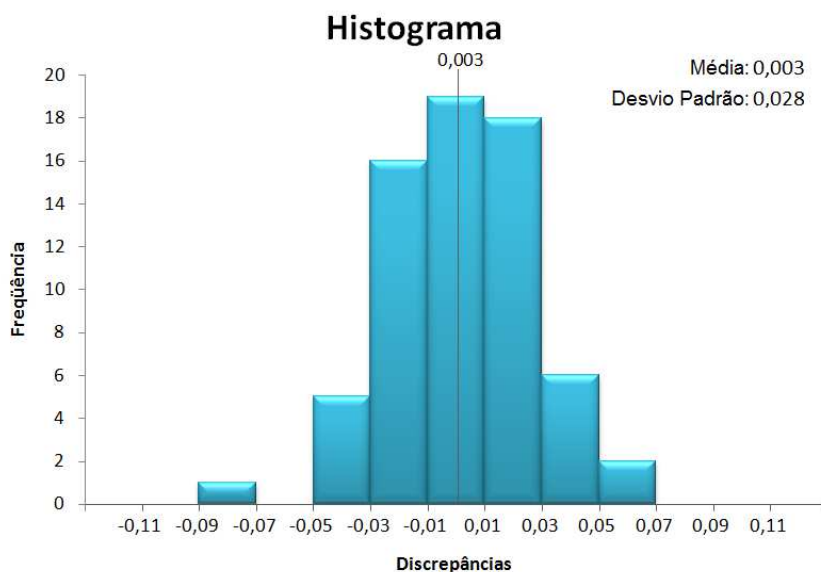
$z$  = ângulo zenital;

$A_i$  = altura do instrumento; e

$H_M$  = altitude ortométrica do marco geodésico.

Calculadas as profundidades utilizando ambas as metodologias, seus respectivos valores foram comparados e calculadas as discrepâncias entre eles. A partir da análise dos parâmetros estatísticos e do histograma da frequência das discrepâncias (figura 40), podemos concluir que com uma precisão de 6 cm a um nível de confiança de 95% as profundidades calculadas pelas duas metodologias são as mesmas.

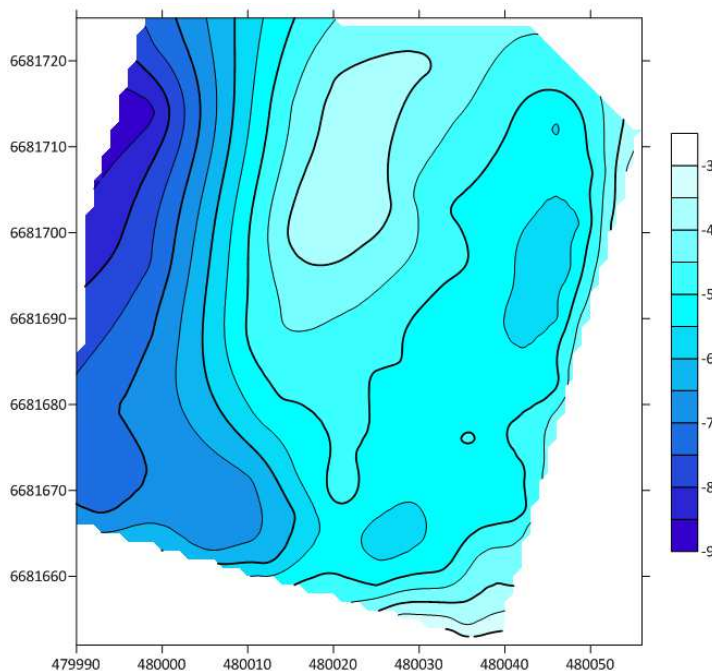
Figura 40 - Histograma das discrepâncias das profundidades do levantamento com grave



Fonte: Autores

Para realizar a interpolação da superfície foram utilizados os valores obtidos pela primeira metodologia de redução, haja vista que este foi o mesmo método utilizado para as reduções altimétricas dos levantamentos realizados utilizando os ecobatímetros multifeixe e monofeixe. Foi interpolada uma grade regular com pixel quadrado de 3 m utilizando o método de Krigagem, a figura 41 apresenta as isóbatas da superfície interpolada com equidistância de 0,5 m.

Figura 41 - Isóbatas da superfície gerada pela batimetria com grave



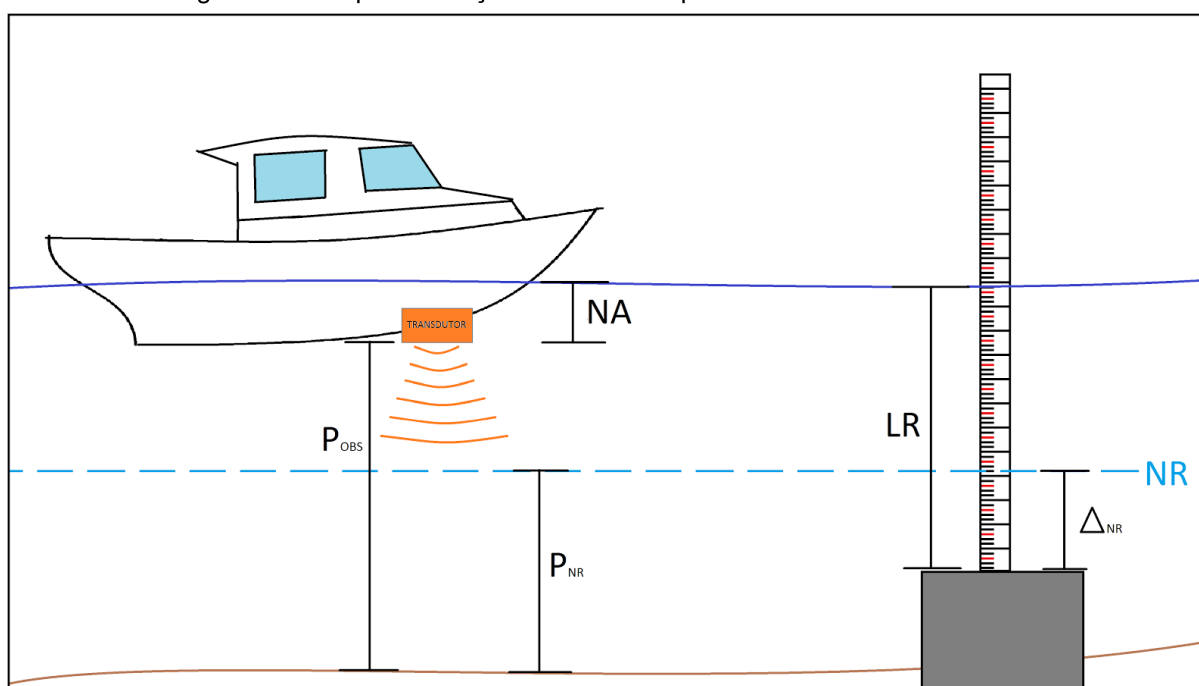
Fonte: Autores

### 3.3.3 Batimetria monofeixe

Os dados gerados no levantamento realizado com o ecobatímetro monofeixe, visualizados em um arquivo .txt, continham as coordenadas geodésicas (latitude e longitude, datum WGS 84), profundidade, data e hora da aquisição de cada ponto. O ecobatímetro registrou 4.651 pontos em um intervalo de aproximadamente 80 min, com uma taxa de aquisição de 1 ponto por segundo.

Foram realizadas as reduções altimétricas, conforme a figura 42, com o objetivo de compatibilizar todos os levantamentos ao mesmo referencial.

Figura 42 - Croqui de reduções altimétricas para o levantamento monofeixe



Fonte: Autores

Para as reduções foi utilizada a equação abaixo:

$$P_{NR} = P_{OBS} + NA - LR + \Delta_{NR} \quad (19)$$

Onde,

$P_{NR}$  = profundidade ao nível de redução;

$P_{OBS}$  = profundidade observada na sondagem;

NA = distância do transdutor até o nível d'água;

LR = leitura na régua linimétrica da estação fluviométrica; e

$\Delta_{NR}$  = diferença entre o zero da régua linimétrica e o nível de redução.

A distância entre o transdutor e o nível d'água foi medido com uma trena de aço antes de iniciar a sondagem, o valor medido foi 0,32 m. Sendo considerado constante para todo o levantamento.

A leitura da régua linimétrica foi realizada antes e após o levantamento, em ambas ocasiões foram capturadas 8 fotografias da régua linimétrica (figura 43). A altura da lâmina d'água foi considerada constante para todo o intervalo do levantamento, seu valor foi obtido através da média aritmética dos valores observados nas 16 fotografias, cujo resultado foi 0,86 m.

A diferença entre o zero da régua linimétrica e nível de redução foi obtido primeiramente através da ficha descritiva da estação fluviométrica Praça da Harmonia, onde seu valor é 0,410 m. Com o transporte altimétrico realizado pelo grupo, obteve-se o valor de 0,418 m.

Figura 43 - Fotografias da régua linimétrica para verificação da altura da lâmina d'água



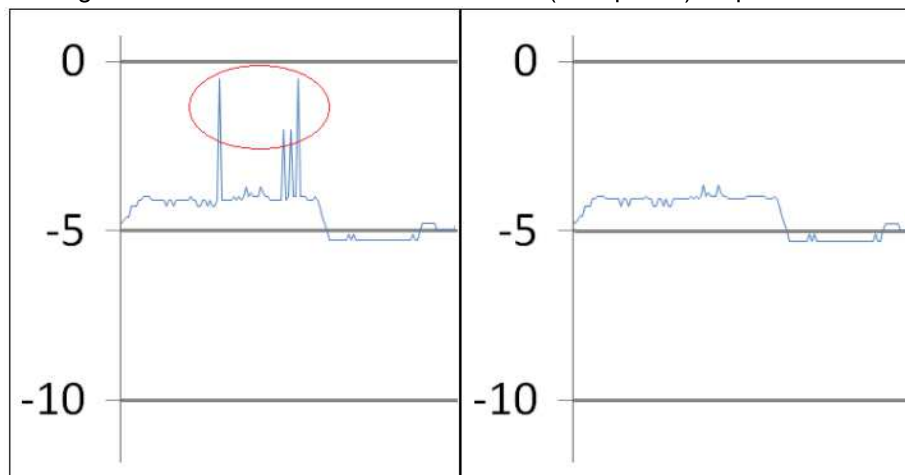
Fonte: Autores

Os dados do arquivo .txt foram organizados em uma planilha do Excel, onde realizou-se os cálculos das reduções, também foi gerado um gráfico das profundidades em função do horário de aquisição, este gráfico é denominado ecograma. A geração do ecograma possibilitou a realização da filtragem dos dados.



Ao analisar visualmente o ecograma é possível localizar dados com ruído e consecutivamente eliminá-los da planilha (figura 44).

Figura 44 - Ecograma dos dados monofeixe com ruídos (à esquerda) e após a exclusão (à direita)

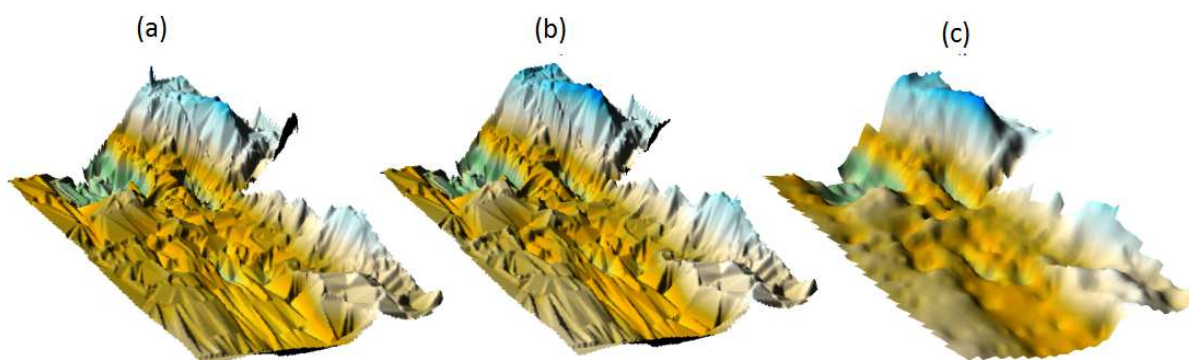


Fonte: Autores

Nesta primeira etapa de filtragem foram localizados e excluídos 42 pontos. Após a filtragem foi gerado um modelo digital da superfície batimétrica. Utilizando o *software Surfer* foi criada uma grade regular de com pixel quadrado de 2 m através de triangulação com interpolação linear. Através desta grade foi gerada a superfície apresentada na figura 45 (b). A figura 45 (a) apresenta a mesma superfície antes da filtragem pelo ecograma.

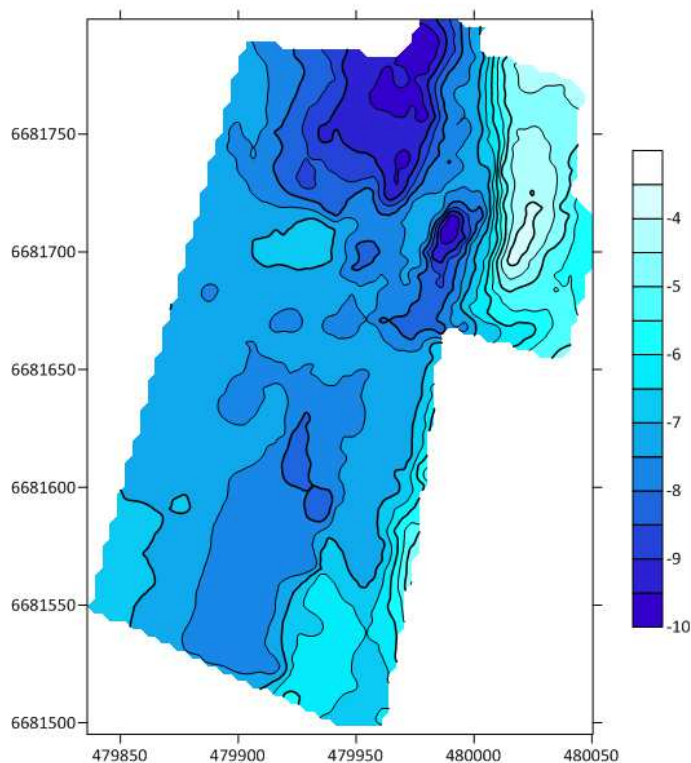
Para suavizar a superfície foi gerada uma segunda grade com pixel de 3 m utilizando Krigagem como método de interpolação. A figuras 45 (c) apresenta a superfície interpolada e a figura 46 as isóbatas desta última superfície.

Figura 45 - Modelos gerados nas etapas de filtragem dos dados monofeixe



Fonte: Autores

Figura 46 - Isóbatas com equidistância de 0,5m geradas a partir dos dados monofeixe



Fonte: Autores

### 3.4 Análise estatística

Os erros que podem ocorrer nos levantamentos batimétricos podem ser divididos em três categorias: erros grosseiros, erros sistemáticos e erros aleatórios.

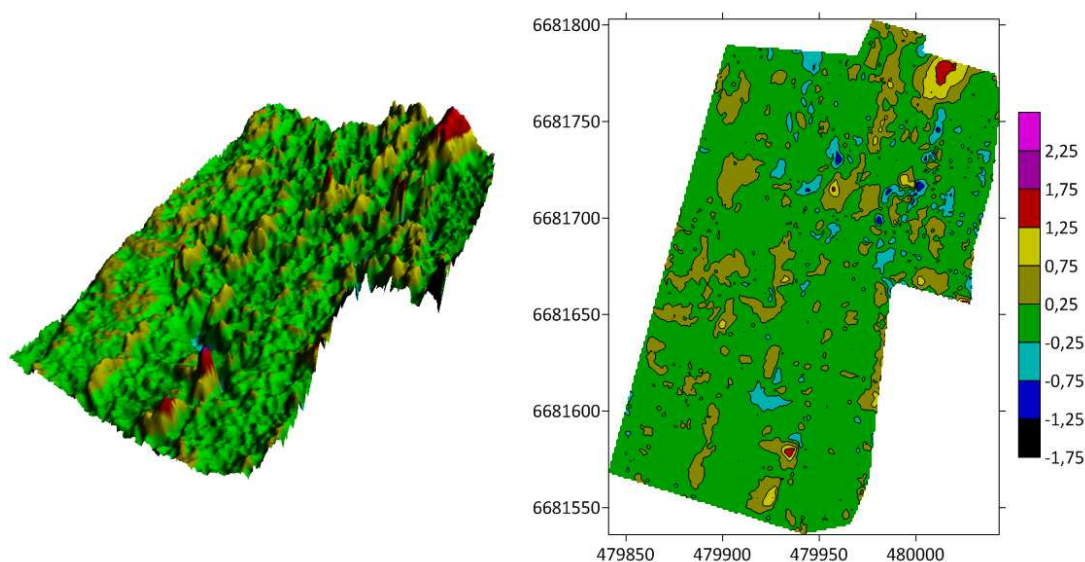
Os erros grosseiros correspondem aos erros cometidos pelos operadores ou pelos equipamentos, devido ao mau funcionamento de seus componentes mecânicos ou eletrônicos. Os erros sistemáticos são consequências principalmente de deficiências na compensação dos erros ou de desvios nas medições, como por exemplo, na medição dos movimentos da embarcação, desalinhamento do transdutor e/ou dos sensores de atitude, e incerteza nos ângulos de montagem. Erros sistemáticos podem ser corrigidos se seus parâmetros forem conhecidos.

Após a filtragem dos erros grosseiros nas profundidades, ainda estarão presentes nos dados os erros aleatórios, inerentes do processo, bem como o erros

sistemáticos cujo parâmetros de correção não puderam ser modelados. No entanto para a validação das diferentes metodologias de batimetria executadas neste trabalho, as superfícies geradas foram analisadas e comparadas através de parâmetros estatísticos. Para isso, foi efetuada uma operação de subtração da área comum entre as superfícies, tornando possível evidenciar as discrepâncias entre as profundidades das superfícies interpoladas.

Primeiramente foram comparadas as superfícies geradas pelos levantamentos monofeixe e multifeixe. A superfície multifeixe foi subtraída da superfície monofeixe, gerando a superfície das discrepâncias entre estes dois levantamentos, a figura 47 apresenta a superfície gerada nesta subtração.

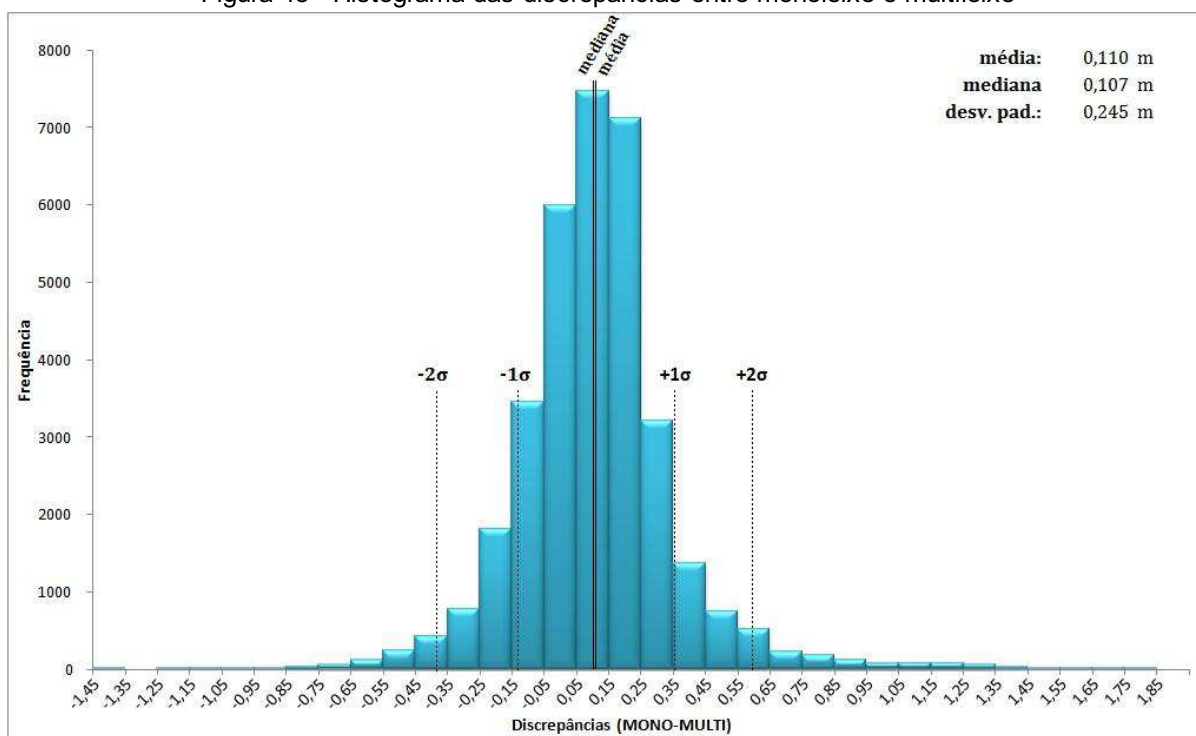
Figura 47 - Superfície MONO-MULT



Fonte: Autores

Ao analisar as discrepâncias é possível perceber que grande parte da superfície possui valores entre  $-0,25$  m e  $+0,25$  m, outro fator perceptível é que existem mais picos (em amarelo e vermelho) do que vales (azul claro e azul escuro), isso significa que nestes locais o multifeixe registrou profundidades maiores em relação ao monofeixe. Para analisar de forma mais adequada, foi gerado um histograma contendo a frequência dos valores de cada pixel agrupados em classes com 10 cm de amplitude, figura 48.

Figura 48 - Histograma das discrepâncias entre monofeixe e multifeixe



Fonte: Autores

O histograma mostra que existe um deslocamento da média da distribuição para a direita (0,11 m). Isso ocorre devido à existência de um erro tendencioso, ou seja, um erro sistemático existente nas observações que não foi objeto de correção durante a aquisição dos dados nem de modelagem matemática em seu processamento. Esse tipo de desvio pode ocorrer devido à mudança na velocidade de propagação do som no meio aquoso. Fatores como temperatura da água, variação de pressão, salinidade, quantidade de sedimentos em suspensão alteram consideravelmente a velocidade do pulso mecânico emitido pelo ecobatímetro, resultando em um desvio na medição da profundidade. Entretanto, como tais fatores não foram mensurados durante os levantamentos, devido às restrições técnicas das condições em que foram executados, não foi possível realizar a calibração dos equipamentos, nem modelar de forma matemática estes parâmetros.

Apesar da existência deste desvio da média na distribuição das discrepâncias é possível afirmar com um nível de confiança de 95% que ambos os levantamentos resultam na mesma superfície considerando uma precisão de  $\pm 0,5$  m. Outro parâmetro que contribui para essa conclusão é o coeficiente de correlação linear de Pearson

entre as superfícies, cujo valor calculado foi de 0,9765, evidenciando a correspondência positiva entre as profundidades das duas superfícies.

A segunda forma de avaliar os levantamentos multifeixe e monofeixe foi comparando às isóbatas interpoladas por estas superfícies com as profundidades obtidas nos pontos levantados pela metodologia de toque com grave. Essa comparação se tornou possível devido a existência de áreas em comum mapeadas por cada um dos métodos, no entanto, dos 88 pontos levantados com o grave foi possível utilizar 37 pontos para a validação do multifeixe e 60 pontos para validação do monofeixe.

O levantamento monofeixe obteve uma média de 0,073 m em suas discrepâncias, com desvio-padrão de 0,162 m. Para uma representação das curvas isobatimétricas com equidistância de 0,5 m, o PEC classe A preconiza que pelo menos 90% dos pontos validados possuam discrepâncias inferiores à meia equidistância das curvas (0,25 m) e Erro-Padrão de um terço desta equidistância (0,167 m). Nesta validação apenas 52 pontos tiveram discrepância absoluta inferior a 0,25 m, o que corresponde a 86,7% da amostra, não atendendo o PEC classe A. Logo, o levantamento monofeixe, segundo o PEC, ficou classificado como classe B, onde pelo menos 90% dos pontos possuem discrepâncias inferiores à três quintos da equidistância das curvas (0,3 m). Nesta amostra obtivemos 54 pontos com discrepância absoluta inferior a 0,3 m, o que corresponde a exatamente 90% da amostra, atendendo o PEC classe B.

Outra forma de avaliar os levantamentos batimétricos é segundo os parâmetros mínimos para levantamentos hidrográficos da publicação S-44 da OHI, que trata das especificações para levantamentos hidrográficos. Considerando a profundidade média deste levantamento, a OHI classifica como ordem especial levantamentos com IVT melhor que  $\pm 0,25$  m, e ordem 1a levantamentos com incerteza vertical total (IVT) melhor que  $\pm 0,5$  m, considerando um nível de confiança de 95%, ou seja,  $\pm(2x$  desvio-padrão). O mapeamento monofeixe obteve uma incerteza de  $\pm 0,324$  m a um nível de confiança de 95%, ficando classificado com levantamento de ordem 1a.

O levantamento multifeixe, por sua vez, obteve média de 0,051 m e desvio-padrão de 0,118 m, inferior a um terço da equidistância das isóbatas (0,167 m). Dentre os 37 pontos validados 36 apresentaram discrepância absoluta inferior a

0,25 m, o que corresponde a 97,3% da amostra, logo o mapeamento multifeixe atende o PEC classe A. Segundo a classificação da OHI, o levantamento multifeixe ficou classificado como ordem especial por possuir IVT de  $\pm 0,226$  m a um nível de confiança de 95%.

Adotou-se as profundidades obtidas no levantamento com grave na validação das superfícies multifeixe e monofeixe, haja vista que esta metodologia de medição não sofre diminuição em sua confiabilidade devido à mudança de fatores físicos do meio, tais como temperatura, pressão, salinidade e sedimentos, como também não é prejudicada pela presença de resíduos sólidos flutuando na água, uma vez que a medida é realizada somente após o grave tocar o fundo do rio (método de medição direta). Na tabela 13 abaixo está apresentada a síntese dos resultados descritos nesta validação.

Tabela 13 - Validação dos levantamentos multifeixe e monofeixe

	<b>Multifeixe</b>	<b>Monofeixe</b>
<b>Nº total de pontos comparados</b>	37	60
<b>Média</b>	0,051 m	0,073 m
<b>Desvio-padrão</b>	0,118 m	0,162 m
<b>Nº de pontos  discrepância  &lt; 0,25</b>	36 (97,3%)	52 (86,7%)
<b>Nº de pontos  discrepância  &lt; 0,30</b>	36 (97,3%)	54 (90,0%)
<b>Incerteza vertical total</b>	$\pm 0,226$ m	$\pm 0,324$ m
<b>Classe PEC</b>	A	B
<b>Classe OHI</b>	ESPECIAL	1a

### 3.5 Produtos finais

Após a obtenção de todos os dados necessários e suas devidas validações, o grupo gerou três plantas da área da futura Patromoria da Capitania Fluvial de Porto Alegre: planta planialtimétrica, na escala 1:250 (anexo O); planta topobatimétrica do levantamento multifeixe, na escala 1:500 (anexo P); e planta topobatimétrica do levantamento monofeixe, também na escala 1:500 (anexo Q). Foram elaboradas, ainda, as monografias dos três marcos implantados: M001, M002 e M003 (anexos R, S e T, respectivamente). O memorial descritivo do levantamento topográfico consta no anexo U.

## 4 CONCLUSÃO

Após o término desse trabalho pode-se concluir que os objetivos propostos foram alcançados.

O nivelamento geométrico teve como objetivo realizar o transporte da altitude ortométrica até os marcos implantados na Patromoria e unificar a referência altimétrica dos levantamentos topográfico e batimétricos. O IBGE estabelece níveis de qualidade para o nivelamento geométrico conforme Resolução-PR nº 22. Neste nivelamento encontramos um erro de fechamento de 0,005 m entre o  $\Delta H_{MED}$  e  $\Delta H_{REF}$ , estando dentro da tolerância de  $\pm 6$  mm, qualificando o levantamento como de precisão para áreas mais desenvolvidas. Também foi verificado através deste nivelamento a diferença entre o nível de redução da Estação Fluviométrica da Praça Harmonia e o nível de referência da rede altimétrica do IBGE. O valor do NR registrado na ficha da estação é de 0,410 m e através do nivelamento encontramos 0,418 m, uma diferença de 0,008m em relação ao zero da régua linimétrica. Com isso, apesar de tratar-se de uma régua instalado em local não recomendável, sua utilização mostrou-se confiável.

Durante o transporte altimétrico pode-se verificar que em locais próximos à rodovia o equipamento sofria vibrações causadas pelo deslocamento de veículos pesados. Esses pequenos tremores comprometeram algumas leituras, sendo necessário repeti-las, demonstrando o quão sensível é o equipamento utilizado.

O levantamento altimétrico realizado pela técnica de taqueometria eletrônica foi validado através de nivelamento geométrico por método polar e sua qualidade avaliada de acordo com o PEC. O desvio-padrão encontrado na amostra foi de 6,6 cm, onde 90,8% dos pontos testados obtiveram desvios inferiores a meia equidistância das curvas de nível, ou seja, inferiores a 10 cm. Com isso a altimetria ficou classificada como classe A de acordo com o PEC.

A aplicação dos métodos de levantamentos batimétricos foram satisfatórios. Na batimetria multifeixe, mesmo sem a utilização de *software* proprietário, conseguimos processar os dados, realizando filtragens, eliminando dados anômalos e após a validação atingimos, com nível de confiança de 95%, uma  $MT \pm 0,236$  m, classificando

o levantamento batimétrico com ecobatímetro multifeixe como de ORDEM ESPECIAL de acordo com a publicação S-44 da OHI.

O método de medição de profundidades por toque utilizando o grave, apesar de ser uma técnica simples e rudimentar, mostrou-se eficiente para verificação de pequenas profundidades, proporcionando a verificação dos levantamentos batimétricos multifeixe e monofeixe.

O levantamento com o ecobatímetro monofeixe mostrou-se eficiente, mesmo não sendo destinado especificamente para esse tipo de atividade, as profundidades obtidas atingiram o coeficiente de correlação de 0,9765 em relação ao multifeixe, evidenciando que as profundidades obtidas pelo monofeixe são realmente muito próximas das profundidades obtidas pelo multifeixe. Outro fator relevante que a superfície gerada por esta técnica apresentou  $MT \pm 0,324$  m, apesar de não atender as especificações da OHI, este é um resultado muito bom tratando-se de um equipamento homologado.

Face o exposto, os produtos cartográficos gerados neste trabalho de conclusão de curso, elaborados seguindo as exigências das diversas normas supracitadas, com certeza estão aptos a serem usados na continuidade do processo de construção da futura Patromoria da CFPA.



## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **PROJETO ABNT NBR 13.133**: Execução de Levantamento Topográfico - Procedimento. Rio de Janeiro, 2016.

BORGES, A. C. **Topografia Aplicada à Engenharia Civil**. Blucher. São Paulo, 2013.

CAPITANIA FLUVIAL DE PORTO ALEGRE. **NPCF-CFPA**: Normas e Procedimentos da Capitania Fluvial de Porto Alegre. Porto Alegre, 2015.

COSTA NETO, P. L.; **Estatística**. Blucher. São Paulo, 2002.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. **NORMAN-25/DHN REV.2**: Normas da Autoridade Marítima para Levantamentos Hidrográficos, 2ª revisão. Rio de Janeiro, 2017.

DIRETORIA DE PORTOS E COSTAS. **NORMAN-11/DPC REV.1**: Normas da Autoridade Marítima para obras, dragagens, pesquisa e lavra de minerais sob, sobre e às margens das Águas Jurisdicionais Brasileiras, 1ª revisão. Rio de Janeiro, 2017.

GEMAEL, C. **Introdução à Geodésia Física**. UFPR. Curitiba, 2012.

GHILANI, C. D.; WOLF, P. R. **Geomática**. Pearson Education do Brasil. São Paulo, 2013.

GONÇALVES, J. A.; MADEIRA, S.; SOUSA, J. J. **Topografia Conceitos e Aplicações**. Lidel: Lisboa, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Norma de Serviço nº 001**: Padronização de Marcos Geodésicos. Rio de Janeiro, 2008.

KRUEGER, C.P. **Levantamentos Batimétricos**, Revista INFOGEO 39 (MUNDOGEO) setembro 2005, Disponível em <http://mundogeo.com/blog/2005/09/27/levantamentos-batimetricos>. Acesso em 28 de dezembro de 2017.

LANDIM, P. M. B. **Introdução aos Métodos de Estimação Espacial para Confecção de Mapas**. Texto Didático 2. UNESP. Rio Claro, 2000.

LANDIM, P. M. B.; STURARO, J.R. **Krigagem Indicativa Aplicada à Elaboração de Mapas Probabilísticos de Riscos**. Texto Didático 06. UNESP. Rio Claro, 2002.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS Descrição, Fundamentos e Aplicações**. UNESP. São Paulo, 2007.

ORGANIZAÇÃO HIDROGRÁFICA INTERNACIONAL. **Manual de Hidrografia**. Lisboa, 2005.

ORGANIZAÇÃO HIDROGRÁFICA INTERNACIONAL. **Especificações da OHI para Levantamentos Hidrográficos**. 5ª edição. Publicação Especial nº 44. Versão traduzida para o português publicada pela Diretoria de Hidrografia e Navegação, 2008.

RESOLUÇÃO – PR nº 22, de 21-07-83. **Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos em território brasileiro**. IBGE.

RIBEIRO, T. J. T. **Processos de Construção e Fiscalização de Obras Portuárias**. Estudo de Caso (Especialização em construções civis), Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2011.

STURARO, J. R. **Apostila de Geoestatística Básica**. UNESP. Rio Claro, 2015.

## ANEXOS

Anexo A - Verificação da Estação Total RUIDE RTS 862R

Anexo B - Verificação do Nível Digital RUIDE DL-201

Anexo C - Relatório de informação da estação geodésica POAL (Porto Alegre)

Anexo D - Relatório de informação da estação geodésica RSPE (Pelotas)

Anexo E - Relatório de informação da estação geodésica RSPF (Passo Fundo)

Anexo F - Relatório de informação da estação geodésica SMAR (Santa Maria)

Anexo G - Relatório da RN 1788A (IBGE)

Anexo H - Relatório da RN 1782Z (IBGE)

Anexo I - Relatório da RN 1782X (IBGE)

Anexo J - Ficha de descrição da estação maregráfica Praça da Harmonia

Anexo L - Caderneta do nivelamento geométrico

Anexo M - Caderneta do levantamento topográfico

Anexo N - Validação do levantamento altimétrico

Anexo O - Planta planialtimétrica

Anexo P - Planta topobatimétrica do levantamento multifeixe

Anexo Q - Planta topobatimétrica do levantamento monofeixe

Anexo R - Monografia do marco geodésico M001

Anexo S - Monografia do marco geodésico M002

Anexo T - Monografia do marco geodésico M003

Anexo U - Memorial descritivo do levantamento topográfico