



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CURSO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA



CAIROS AUGUSTO KALLENBACH PACHECO

# LEVANTAMENTO HIDROGRÁFICO

---

TOPOBATIMETRIA DO CANAL ENTRE AS ILHAS

DO LINO E DO LAJE

PORTO ALEGRE

2010

CAIROS AUGUSTO KALLENBACH PACHECO

# LEVANTAMENTO HIDROGRÁFICO

---

TOPOBATIMETRIA DO CANAL ENTRE AS ILHAS

DO LINO E DO LAJE

PROFESSOR ORIENTADOR:

RONALDO DOS SANTOS DA ROCHA

Trabalho de conclusão de curso realizado como objetivo parcial para obtenção do título de Engenheiro Cartógrafo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

PORTO ALEGRE

2010

FOLHA DE APROVAÇÃO

CAIROS AUGUSTO KALLENBACH PACHECO

# LEVANTAMENTO HIDROGRÁFICO

---

TOPOBATIMETRIA DO CANAL ENTRE AS ILHAS

DO LINO E DO LAJE

Trabalho de conclusão de curso para colação de grau na UFRGS

Curso de Engenharia Cartográfica

29 de Julho de 2010

Prof. M.Sc. Alfonso Risso – IPH, UFRGS

---

Prof. Dr. Elírio Toldo Júnior – CECO, UFRGS

---

*Creio que o desejo de todos os pais seja que seus filhos cresçam e prosperem, o que não é diferente em minha família, onde meus pais me deram todo apoio necessário durante a realização deste curso.*

*Sendo assim, dedico a eles, Ricardo Cairos Casagrande Pacheco e Maria Cecilia da Costa Kallenbach, este trabalho, como agradecimento por terem me feito chegar onde estou hoje.*

*A realização deste trabalho somente se tornou possível com o auxílio de colegas, professores e colaboradores, aos quais gostaria de agradecer em especial a:*

*Equipe técnica de topografia, constituída pelos alunos Elen Lima e Gustavo, ao Sr. Robson, ao Professor Ronaldo Rocha, e ao Sr. Ricardo Pacheco.*

*Equipe técnica de batimetria, constituída pelos Srs. César e Jilnei, juntamente com Professor Lawson.*

*Ao Professor Marcelo Tomio e à colega Carolina, pelo auxílio no processamento dos dados de campo.*

*À Professora Andréa Iescheck, pelo auxílio na produção da carta hidrográfica resultante do trabalho.*

*Aos colegas e profissionais da SPH, pelo auxílio teórico em assuntos relacionados à batimetria, em especial ao Sr. José Luiz Fay de Azambuja.*

*Aos demais professores do curso de engenharia cartográfica, dentre eles os Professores Gilberto Gagg, Mário Reiss, Sérgio Florêncio.*

*Não existe caminho para paz,*

*A paz é o caminho.*

*Mohandas Karamchand Gandhi – Mahatma Gandhi*

# RESUMO

---

Atualmente, as rotas marítimas comerciais movimentam cerca de 80% das exportações mundiais. Somente esta afirmação já poderia ser suficiente para justificar qualquer estudo relativo à criação e manutenção de cartas que visem descrever as áreas marítimas. A hidrografia consiste em um conjunto de métodos que permitem modelar estas áreas, não somente para fins comerciais, como também ambientais, territoriais, dentre outros usos. Neste trabalho, é proposto o uso das técnicas de hidrografia, para a geração de um modelo digital de terreno que descreve uma região do Delta do Jacuí, onde há grande movimento de navios de carga. No trabalho, são utilizados os métodos de batimetria e topografia para aquisição de dados sobre as margens do local e a profundidade do rio. Depois de levantados os dados em campo, estes são processados e unidos em uma única tabela, que será utilizada para gerar o modelo digital da região, assim como uma carta náutica desta.

*Palavras chave: ajustamento de observações, batimetria, carta hidrográfica, geodésia, levantamento hidrográfico, levantamento topográfico*

# ABSTRACT

---

Actually, the marine commercial routes move around 80% of world exportation. Only this affirmative can be used to justify any study related to creating and maintain of charts that describe the sea areas. The Hydrography consists in a group of methods that allow describing these areas, not only for commercial ends, but to ambient and territorial ends. In this report, is proposed the use of hydrographic techniques for generate a digital land model, that describes one region of Delta do Jacuí, where have a great transit of commercial ships. In the report, are used the batimetric and topographic methods for acquiring data by de margins and depth of the river. After the surveyor, this data are processed and united in a single sheet, that will be used for generate the digital land model, as well a nautic chart.

*Keywords: bathymetry, geodesy, hydrographic chart, hydrographic survey, observations adjust, topographic survey*



## *Lista de Ilustrações*

Figura 1: Mapa de Ga-Sur (Corrêa, 2009) .....	18
Figura 2: Interpretação do mapa de Ga-Sur (Corrêa, 2010) .....	19
Figura 3: Mapa mundi de 1627 (Wikipedia, 2010c) .....	20
Figura 4: Mapa da América do Sul de 1750 (Wikipedia, 2010c) .....	20
Figura 5: Mapa da ilha Livingston, Antártica (Wikipedia, 2010c) .....	21
Figura 6: Portulano europeu do mediterrâneo, 1375 (Wikipedia, 2010d).....	22
Figura 7: Portulano da costa do mediterrâneo, 1375 (Wikipedia, 2010d) .....	23
Figura 8: Portulano japonês do oceano Índico, século XVII (Wikipedia, 2010d) .....	23
Figura 9: Capa do livro Spieghel de Zeevaert (Royal College of Physicians, 2007) .....	24
Figura 10: Mapeamento do sul da costa inglesa (Royal College of Physicians, 2007).....	25
Figura 11: Outra carta do Spieghel der Zeevaert (Royal College of Physicians, 2007) .....	25
Figura 12: Emblema do IPH – UFRGS (IPH).....	27
Figura 13: Organograma das relações entre assuntos ligados à hidrografia .....	31
Figura 14: Medição de profundidade com ecobatímetro (IHO, 2005) .....	32
Figura 15: Representação do rumo, balanço e caturro (IHO, 2005) .....	37
Figura 16: Esquema do processamento dos dados.....	39
Figura 17: Leitura de pontos da poligonal .....	43
Figura 18: Representação das poligonais aberta e fechada, respectivamente .....	43
Figura 19: Medição de irradiamentos.....	45
Figura 20: Cartas padrão da Marinha do Brasil (Marinha do Brasil, 2006) .....	53
Figura 21: Carta representada por MDS (Garmin, 2010) .....	54
Figura 22: Gráfico das fontes de recursos .....	65
Figura 23: Proximidades do Clube Navegantes São João, na Ilha do Pavão .....	72
Figura 24: Ilhas perto do canal do pólo petroquímico de Triunfo, no Rio Jacuí.....	72
Figura 25: Canal do Laje, na Ilha do Laje.....	73
Figura 26: Ilha do Lino e Ilha do Laje.....	73
Figura 27: Vista da embarcação utilizada com o piloto .....	74

Figura 28: Aproximação das ilhas escolhidas.....	74
Figura 29: Outra vista das ilhas escolhidas.....	75
Figura 30: Um dos pontos onde é possível acessar a ilha .....	75
Figura 31: Localização das ilhas .....	76
Figura 32: Local do levantamento.....	77
Figura 33: Análise de campo da região escolhida.....	77
Figura 34: Prévia dos levantamentos e dimensões do local.....	78
Figura 35: Embarcação naufragada na Ilha do Laje .....	78
Figura 36: Nevoeiro intenso, comum em certas épocas do ano.....	79
Figura 37: Embarcação de grande porte no canal principal do rio .....	79
Figura 38: Esboço do levantamento topográfico .....	80
Figura 39: Parte da equipe técnica .....	81
Figura 40: Um dos prismas utilizados .....	81
Figura 41: Clube náutico de onde a lancha partiu .....	82
Figura 42: Campo e banhado na Ilha do Laje .....	82
Figura 43: Um dos pontos irradiados na Ilha do Laje.....	82
Figura 44: Pontos coletados no levantamento batimétrico .....	83
Figura 45: Ecobatímetro e receptor GNSS utilizados no levantamento batimétrico.....	84
Figura 46: Transdutor e antena GNSS utilizados no levantamento batimétrico .....	85
Figura 47: Equipe de campo .....	85
Figura 48: Modelo Wireframe do levantamento .....	87
Figura 49: Composição colorida do MDS, com os pontos medidos .....	87
Figura 50: Inverso da distância ao quadrado.....	88
Figura 51: Vizinho natural .....	88
Figura 52: Triangulação.....	89
Figura 53: Base das linhas isobatimétricas .....	90
Figura 54: Prévia da carta hidrográfica .....	91

## *Lista de Tabelas*

Tabela 1: Valores padrão de frequências dos ecobatímetros (IHO, 2005) .....	35
Tabela 2: Termos comuns na topografia .....	41
Tabela 3: Modelos de ajustamento de observações (Gemael, 1994) .....	56
Tabela 4: Equipe necessária .....	61
Tabela 5: Equipamentos do levantamento batimétrico .....	62
Tabela 6: Equipamentos do levantamento topográfico .....	62
Tabela 7: Equipamentos necessários em escritório .....	62
Tabela 8: Orçamento da equipe .....	63
Tabela 9: Orçamento dos materiais do levantamento hidrográfico .....	64
Tabela 10: Orçamento dos materiais do levantamento topográfico .....	64
Tabela 11: Orçamento dos materiais de escritório .....	64
Tabela 12: Orçamento final .....	65
Tabela 13: Orçamento real do projeto .....	65
Tabela 14: Cronograma físico do trabalho .....	66
Tabela 15: Cronograma empresarial .....	67
Tabela 16: Cronograma fiscal do trabalho .....	68
Tabela 17: Dados coletados em campo no levantamento topográfico .....	97
Tabela 18: Coordenadas dos pontos do levantamento topográfico (UTM SAD-69) .....	98

## *Lista de Equações*

Equação 1: Medida de profundidade pelo ecobatímetro (IHO, 2005) .....	33
Equação 2: Ângulo de abertura de um transdutor cilíndrico (IHO, 2005) .....	36
Equação 3: Ângulo de abertura de um transdutor retangular (IHO, 2005) .....	36
Equação 4: Transformação entre referenciais – direta (Azambuja, et al., 2007) .....	46
Equação 5: Transformação entre referenciais – inversa (Azambuja, et al., 2007) .....	46
Equação 6: Transformação entre coordenadas cartesianas e geodésicas (Gagg, 2008)...	46
Equação 7: Transformação entre ângulo vertical e zenital .....	47
Equação 8: Determinação do primeiro azimute.....	47
Equação 9: Determinação dos demais azimutes.....	47
Equação 10: Determinação da distância horizontal .....	48
Equação 11: Determinação da diferença de nível .....	48
Equação 12: Propagação das coordenadas .....	48
Equação 13: Modelo utilizado no ajustamento pelo método paramétrico.....	57
Equação 14: Modelo utilizado no ajustamento pelo método de correlatos .....	59
Equação 15: Modelo utilizado no ajustamento pelo método combinado .....	59

## *Lista de Abreviaturas e Siglas*

<b>a.C.</b>	Antes de Cristo		
<b>AIC</b>	Associação Internacional de Cartografia	<b>LASER</b>	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – Luz Amplificada por Emissão Estimulada de Radiação
<b>DGPS</b>	Differential Global Position System	<b>MDS</b>	Modelo digital de superfície
<b>ET</b>	Estação Total	<b>MED</b>	Medidor eletrônico de distâncias
<b>GNSS</b>	Global Navigation Satellite System – Sistema Global de Navegação por Satélite	<b>PA</b>	Ponto de apoio
<b>H.M.S.</b>	Her Majesty Ship – Navio de sua Majestade	<b>SONAR</b>	Sound Navigation and Ranging – Navegação e Medição de Distâncias Através do Som
<b>ICA</b>	International Cartographic Association	<b>UFRGS</b>	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
<b>IPH</b>	Instituto de Pesquisas Hidráulicas		
<b>IHO</b>	International Hydrographic Association – Associação Internacional de Hidrografia		

*Lista de Símbolos*

$\varphi$	Latitude
$\lambda$	Longitude

---

%	Por cento
‰	Por milhar

---

## Sumário

1	Introdução .....	18
1.1	Motivação e justificativa .....	28
1.2	Objetivos.....	29
1.3	Estrutura do trabalho .....	29
2	Revisão Bibliográfica .....	31
2.1	Batimetria.....	31
2.1.1	Introdução ao SONAR e ecobatímetro.....	32
2.1.2	Princípios físicos relacionados ao pulso sônico .....	33
2.1.3	Princípios geométricos relacionados ao pulso sônico .....	34
2.1.4	Efeitos dos movimentos da embarcação .....	36
2.1.5	O nível da água no levantamento batimétrico.....	37
2.1.6	Processamento dos dados da batimetria .....	39
2.2	Levantamento topográfico.....	40
2.2.1	Nomenclatura associada à topografia .....	40
2.2.2	Funcionamento da estação total .....	41
2.2.3	Poligonal e pontos de apoio.....	42
2.2.4	Irradiamentos .....	44
2.2.5	Transformação entre referenciais locais e globais.....	45
2.2.6	Processamento dos dados.....	47
2.3	Geodésia.....	48
2.3.1	Considerações sobre o posicionamento através do GNSS.....	49
2.3.2	Posicionamento dinâmico através do DGPS.....	51
2.3.3	Posicionamento relativo estático.....	52
2.4	Produção de cartas hidrográficas.....	52
2.4.1	Modelos digitais de superfície.....	54

2.5 Ajustamento de observações .....	55
2.5.1 Considerações iniciais do ajustamento de observações .....	56
2.5.2 Ajustamento paramétrico simples .....	57
2.5.3 Ajustamento por correlatos .....	58
2.5.4 Ajustamento combinado simples .....	59
2.6 Cálculo numérico e programação .....	60
3 Materiais e Métodos .....	61
3.1 Materiais utilizados .....	61
3.1.1 Recursos humanos .....	61
3.1.2 Recursos materiais .....	61
3.2 Orçamento dos materiais .....	63
3.2.1 Orçamento da equipe .....	63
3.2.2 Orçamento do material .....	64
3.2.3 Orçamento final e fonte de recursos .....	65
3.2.4 Orçamento real .....	65
3.3 Cronogramas .....	66
3.3.1 Cronograma físico teórico .....	66
3.3.2 Cronograma físico de execução .....	66
3.3.3 Cronograma fiscal .....	67
3.4 Realização do levantamento .....	69
3.5 Processamento dos dados .....	70
3.6 Criação da carta hidrográfica .....	71
4 Resultados .....	72
4.1 Definição do local do levantamento .....	72
4.1.1 Opções de locais .....	72
4.1.2 Local escolhido e motivos .....	73
4.1.3 Características do local .....	76
4.1.4 Imagens características do local .....	78



4.2 Levantamento topográfico.....	79
4.2.1 Equipamentos utilizados no levantamento topográfico.....	80
4.2.2 Imagens do levantamento topográfico.....	81
4.3 Levantamento batimétrico.....	83
4.3.1 Equipamentos utilizados no levantamento batimétrico.....	84
4.3.2 Imagens do levantamento batimétrico.....	84
4.4 Processamento dos dados.....	85
4.5 Geração do MDS.....	86
4.5.1 Outros modelos com diferentes interpoladores.....	88
4.6 Geração da carta hidrográfica.....	89
5 Considerações Finais.....	92
Bibliografia.....	93
Anexo I – Tabelas e Planilhas.....	96
Anexo II – MDS.....	99
Anexo III – Carta Hidrográfica.....	101

## 1 Introdução

### *História da cartografia*

*Conjunto dos estudos e operações científicas, técnicas e artísticas que intervêm na elaboração dos mapas a partir dos resultados das observações diretas ou da exploração da documentação, bem como sua utilização.*

ICA

O texto acima representa a definição do termo cartografia segundo a *Associação Internacional de Cartografia* (AIC, ou do inglês, International Cartography Association – ICA). Em termos mais simples, a cartografia é a representação de características de uma porção de terra. O termo cartografia (que provém do grego, onde *chartis* quer dizer mapa e *graphein* escrita) foi sugerido pela primeira vez em 1839, por Manuel Francisco Carvalhosa, em uma carta escrita a Francisco Adolfo de Varnhagen (Wikipedia, 2010c).

Embora o termo cartografia seja recente, a história desta é antiga, datada do início das primeiras civilizações. Um dos mapas mais antigos que se tem registro data entre 2.500 a.C. e 3.000 a.C., conhecido como *mapa de Ga-Sur*, na região da antiga Mesopotâmia. Este mapa foi gravado em pedra argilosa, representando a região da própria Mesopotâmia.



Figura 1: Mapa de Ga-Sur (Corrêa, 2009)

A interpretação deste mapa descreve rios, montanhas e direções sobre a representação do local, conforme pode ser visto na *Figura 2* (Corrêa, 2009).

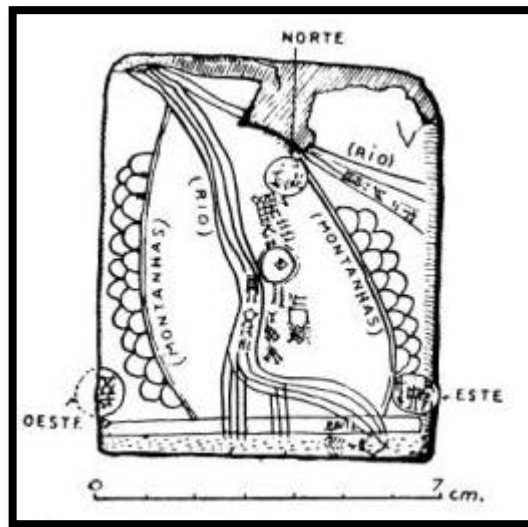


Figura 2: Interpretação do mapa de Ga-Sur (Corrêa, 2010)

Este e outros mapas primitivos possuíam apenas uma referência local, sem haver indicações de coordenadas, nem nada semelhante. A primeira contribuição neste sentido veio da Grécia antiga, com a descrição da Terra como uma esfera, constituída por pólos, uma faixa equatorial e seus trópicos, introduzindo assim a idéia de coordenadas. Também provém dos gregos a idéia de projeções e representações cartográficas (Corrêa, 2009; Wikipedia, 2010c).

O desenvolvimento da cartografia utilizou como base o conhecimento dos gregos, até um período de estagnação durante a idade média, principalmente na Europa Ocidental. O novo advento da cartografia surgiu com as cruzadas e as grandes navegações, onde nota-se a característica artística dos mapas desta época, representando as novas faces da Terra, com as recentes descobertas.

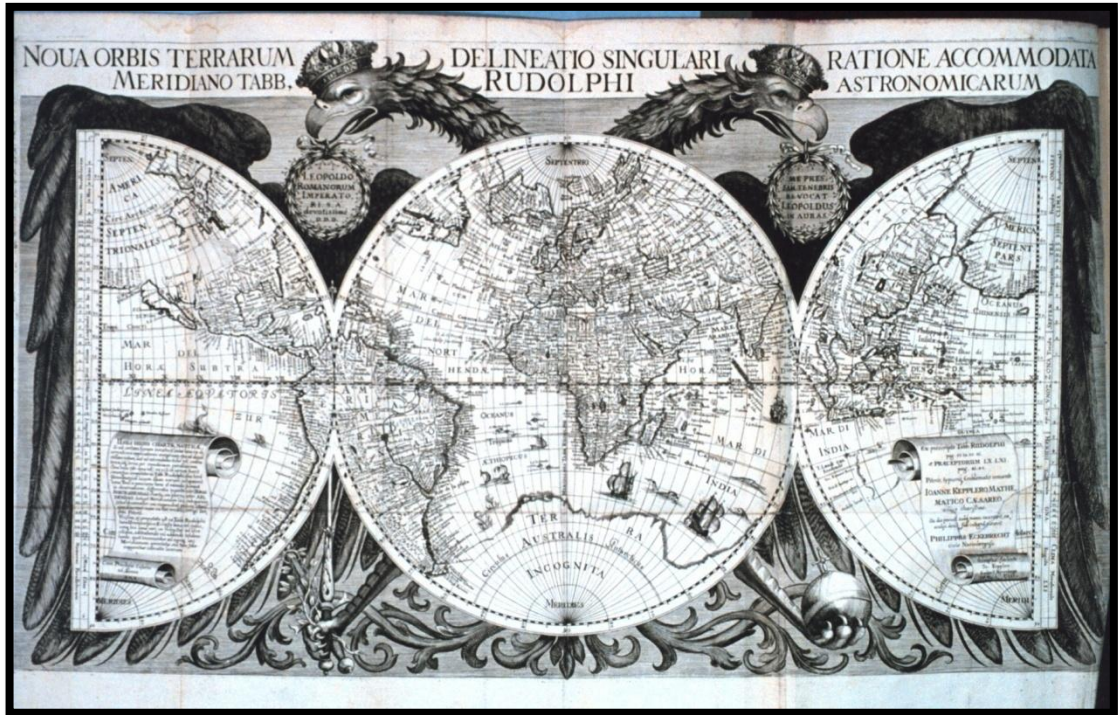


Figura 3: Mapa mundi de 1627 (Wikipedia, 2010c)



Figura 4: Mapa da América do Sul de 1750 (Wikipedia, 2010c)

A última grande evolução da cartografia data do início do século XX, com o advento das novas tecnologias como a aerofotogrametria e o sensoriamento remoto, bem como a popularização dos computadores e o aumento de sua capacidade de processamento. O uso do posicionamento por satélites artificiais permite a obtenção de coordenadas de um ponto com precisão centimétrica em poucos instantes. Atualmente, os mapas não são mais necessariamente impressos ou planos, podendo ser gerados modelos tridimensionais em apresentações digitais. Pode-se dizer que hoje a cartografia está em um estado de constante evolução, proporcionado pelo igual avanço das tecnologias que esta ciência utiliza (Corrêa, 2009; Wikipedia, 2010c).



Figura 5: Mapa da ilha Livingston, Antártica (Wikipedia, 2010c)

### *História da hidrografia*

*O ramo de ciências aplicadas que trata da medição e descrição dos aspectos das áreas marinhas e costeiras para o propósito primário de navegação e todos outros propósitos e atividades marinhas, incluindo atividades oceânicas, pesquisa, proteção ambiental e serviços de predição.*

*IHO*

O parágrafo acima é a definição de hidrografia segundo a *IHO* (International Hydrographic Organization – Organização Internacional de Hidrografia). Em termos simples, a hidrografia é um ramo da cartografia especializada em levantamentos de porções de água, como rios, lagos e mares (IHO, 2005).

Os primeiros tipos de cartas hidrográficas são conhecidos pelo nome de *Portulanos*, sendo datadas a partir do século XIII. Os Portulanos eram cartas náuticas, principalmente da região europeia, que continham informações sobre as rotas comerciais mais indicadas. Nestas cartas, já eram marcados pontos críticos da navegação, tais como pedras e bancos de areia, embora não fossem dadas profundidades. A origem destas cartas partiu principalmente da Itália, região onde existiram distintas escolas de cartografia. A seguir, são exibidos exemplos destas cartas (Wikipedia, 2010d).



Figura 6: Portulano europeu do mediterrâneo, 1375 (Wikipedia, 2010d)

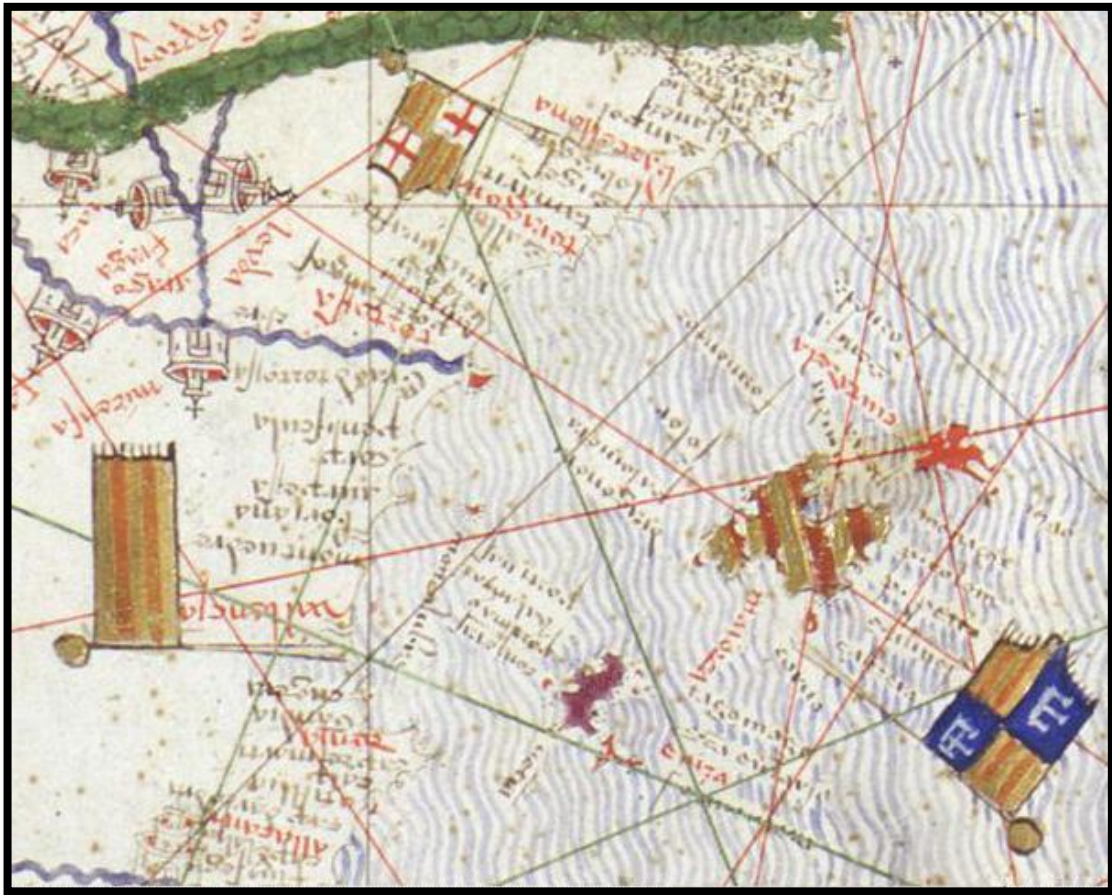


Figura 7: Portulano da costa do mediterrâneo, 1375 (Wikipedia, 2010d)

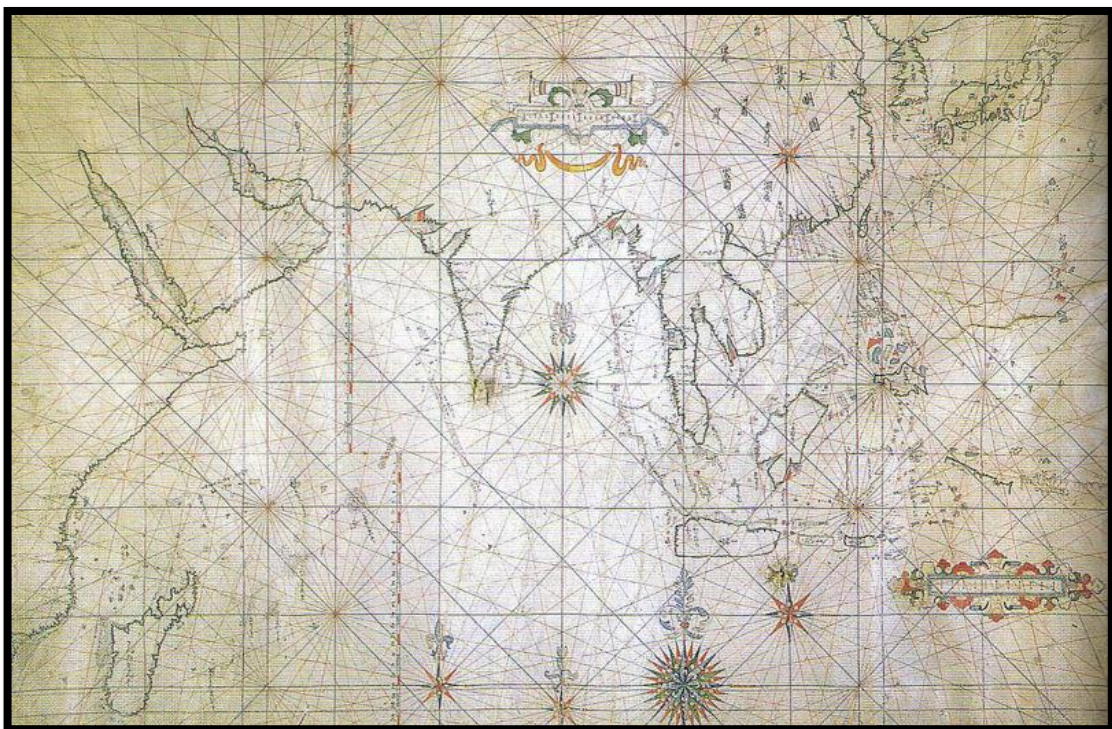


Figura 8: Portulano japonês do oceano Índico, século XVII (Wikipedia, 2010d)

Já no ano de 1584, foi publicado o atlas *Spieghel der Zeevaert* – Espelho dos Mares – onde foi descrito todo litoral europeu, da Noruega até o Estreito de Gibraltar. Esta coletânea de cartas possuía características distintas dos antigos Portulanos, pois traziam informações de pontos notáveis da terra, informações mais detalhadas sobre o leito do oceano e também sobre os portos registrados. Em 1681 também foi iniciado um mapeamento do litoral da Grã-Bretanha, com os mesmos fins de navegação e comércio, além do conhecimento da costa bretã. O desenvolvimento destas cartas proporcionou a criação do primeiro escritório de hidrografia, em 1795 (IHO, 2005).

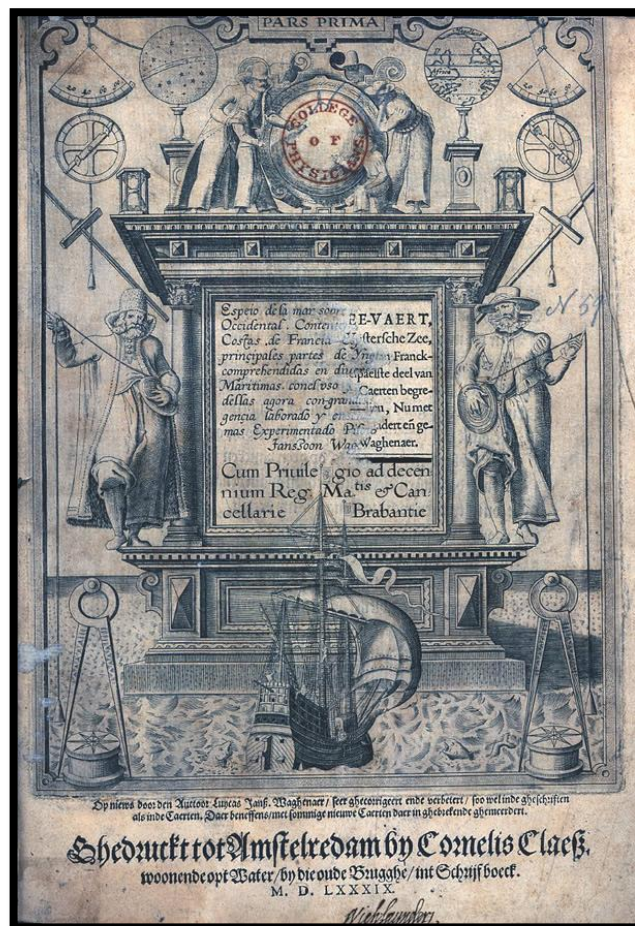


Figura 9: Capa do livro *Spiegel de Zeevaert* (Royal College of Physicians, 2007)





Figura 10: Mapeamento do sul da costa inglesa (Royal College of Physicians, 2007)

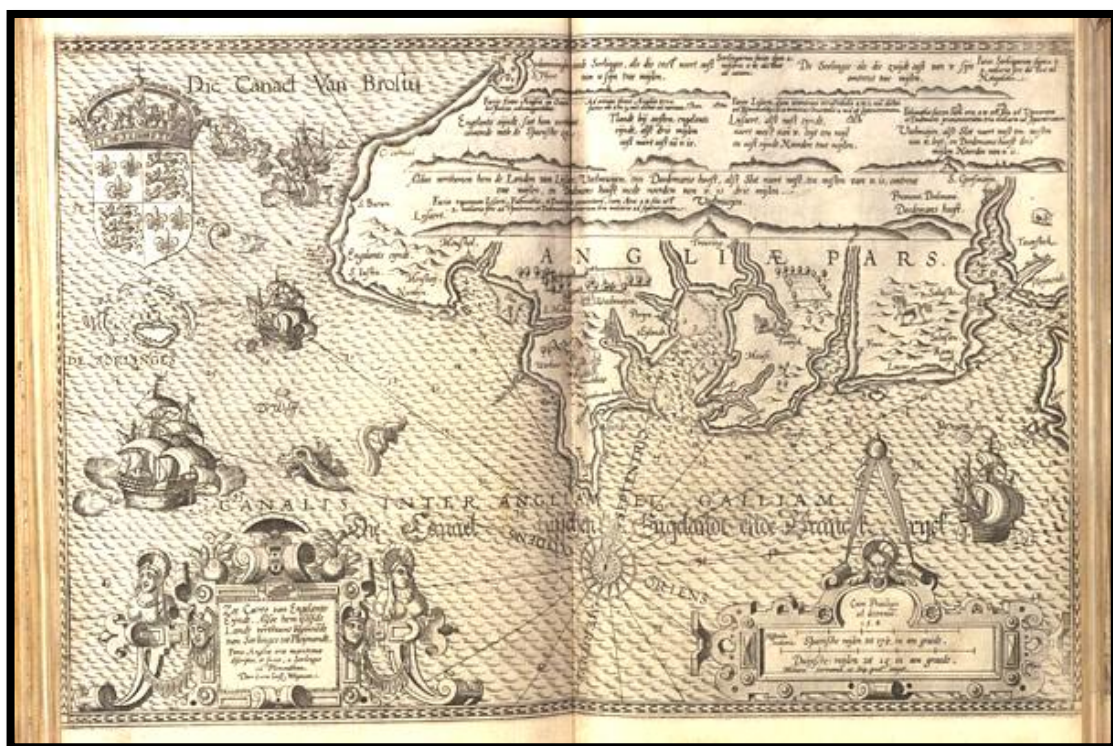


Figura 11: Outra carta do Spiegel der Zeevaert (Royal College of Physicians, 2007)

Outro marco na história da hidrografia foi o levantamento batimétrico realizado pela expedição do H.M.S. Challenger, entre os anos de 1872 e 1876. Esta expedição previa a caracterização do leito marinho, através de sondagens utilizando cabos. Ao

todo, foram navegadas 98.000 milhas por diversos oceanos. Poucos anos depois, durante as duas grandes guerras mundiais, o uso de novas tecnologias permitiu outros avanços na hidrografia (Corrêa, 2007).

Durante a segunda metade do século XX, a hidrografia evoluiu para um novo patamar tecnológico, iniciando com o uso de *sensores eletrônicos* até a realização de levantamentos com auxílio de sensoriamento remoto. Atualmente, o IHO – International Hydrographic Organization – é o órgão mundial que se dedica a unir e divulgar as pesquisas e aperfeiçoamentos dos métodos e ferramentas hidrográficas (Corrêa, 2007; IHO, 2005; Wikipedia, 2010b).

### *O curso de Engenharia Cartográfica da UFRGS*

A cartografia no Rio Grande do Sul possui um grande marco no ano de 1903, quando foi criada, na capital deste estado, a Comissão de Levantamento da Carta Geral do Brasil. Esta comissão possuía o objetivo de realizar os primeiros levantamentos científicos e sistemáticos no território brasileiro. Outro marco importante na cartografia neste estado é a implantação da Primeira Divisão de Levantamentos do Exército, estando em pleno funcionamento atualmente, sendo uma das instituições responsáveis pela criação e manutenção das cartas deste país (Magro, 2008).

Com um histórico cartográfico assim no Rio Grande do Sul, era de se esperar que também houvesse um curso de Engenharia Cartográfica neste estado. Esta oportunidade surgiu de fato em 1994, quando iniciaram os estudos e discussões para a implantação deste curso na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Em 19 de Abril de 1995, foi aprovada então a criação do curso de Engenharia Cartográfica da UFRGS. A primeira turma deste curso ingressou no ano de 1998, sendo constituída por 20 alunos (Magro, 2008).

A Engenharia Cartográfica tem por objetivo formar profissionais que sejam aptos a realizar as seguintes tarefas no âmbito da cartografia (Magro, 2008):

- Coleta de dados em campo, utilizando as técnicas mais apropriadas para a região de estudo ou trabalho;
- Processamento dos dados coletados;
- Interpretação destes dados processados;
- Visualização e reprodução dos dados processados e interpretados.

Além da realização de levantamentos em si, um engenheiro cartógrafo também está apto a realizar monitoramentos em redes geodésicas, controle de movimentação de obras, prestação de consultoria e controle de qualidade em obras cartográficas, dentre

outras várias funções, que não estão ligadas diretamente à produção de cartas (Magro, 2008).

#### *O Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS*

Em 7 de Agosto de 1953, o Reitor da UFRGS Prof. Elyseu Paglioli fundou o Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH – desta mesma faculdade, com o objetivo de desenvolver pesquisas em modelos reduzidos, que retratassem realidades encontradas na área. Devido a crescente importância dada a este recurso, a água, o IPH ampliou suas operações não mais somente para reprodução de modelos, mas também desenvolvendo pesquisas e englobando o ensino em sua rotina, além da prestação de serviços especializados à comunidade (IPH).



Figura 12: Emblema do IPH – UFRGS (IPH)

## 1.1 Motivação e justificativa

A principal e mais importante motivação para realização deste trabalho é o interesse pessoal do autor pelo assunto, o que o torna menos trabalhoso e mais agradável. Também é válido o fato deste ser o primeiro trabalho do gênero no curso de Engenharia Cartográfica da UFRGS, o que traz a necessidade de incentivo nesta área pouco explorada da cartografia. Para justificar a realização deste trabalho, podem ser citados os seguintes itens:

- Ampla abrangência das áreas de conhecimento do engenheiro cartógrafo, como a Geodésia, Topografia, Levantamentos, Cartografia, Ajustamento de Observações, dentre outras disciplinas;
- Área inovadora dentro do curso de Engenharia Cartográfica da UFRGS;
- Realização de todas as etapas de um levantamento cartográfico;
- Estímulo para utilização dos métodos computacionais de representação cartográfica;
- Possibilidade de ampliar o trabalho em um mestrado ou doutorado.  
Em caráter técnico, este trabalho se justifica por:
- Ampla necessidade de realização e aprimoramento de tecnologias, pois 71% da superfície terrestre são cobertos por água;
- Necessidade de criação e atualização de cartas para rotas comerciais, pois mais de 80% do comércio internacional é realizado através do transporte marítimo;
- Aplicação do levantamento hidrográfico para questões ecológicas, como o mapeamento de reservas marinhas;
- Aplicação na determinação do volume de água em reservatórios e cálculo de vazão em rios;
- Auxílio à construção de obras costeiras;
- Mapeamento de regiões onde há prospecção de petróleo;
- Criação de cartas marítimas para turismo e recreação náuticos.

## 1.2 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é a realização de um levantamento hidrográfico completo. Para atingir este objetivo, são traçadas as seguintes metas:

- Pesquisa bibliográfica sobre o assunto;
- Planejamento de um levantamento hidrográfico;
- Realização do levantamento batimétrico e topográfico;
- Processamento dos dados;
- Geração de cartas a partir dos dados fornecidos.

## 1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho está formatado conforme o padrão ABNT para trabalhos técnicos, sendo dividido em cinco capítulos:

- Introdução;
- Revisão bibliográfica;
- Materiais e métodos;
- Resultados;
- Considerações finais;

A *introdução* é responsável por contar um pouco da história da cartografia e da batimetria, também incluindo uma idéia geral de como será realizado o trabalho. Na introdução também são incluídos a *justificativa*, os *objetivo* e esta seção sobre a estrutura do trabalho.

A *revisão bibliográfica* contém uma série de informações básicas para o entendimento do trabalho. Com relação direta à hidrografia, são descritas as áreas de *batimetria*, *levantamento topográfico*, *geodésia* e *produção de cartas hidrográficas*. Para completar e apoiar alguns destes assuntos, também são exibidos duas outras seções, uma referente ao *ajustamento de observações* e outra referente ao *cálculo numérico e programação*.

O capítulo sobre *materiais e métodos* contém os *materiais utilizados*, *orçamento do trabalho*, *metodologia empregada* e os *cronogramas do trabalho*. A metodologia está

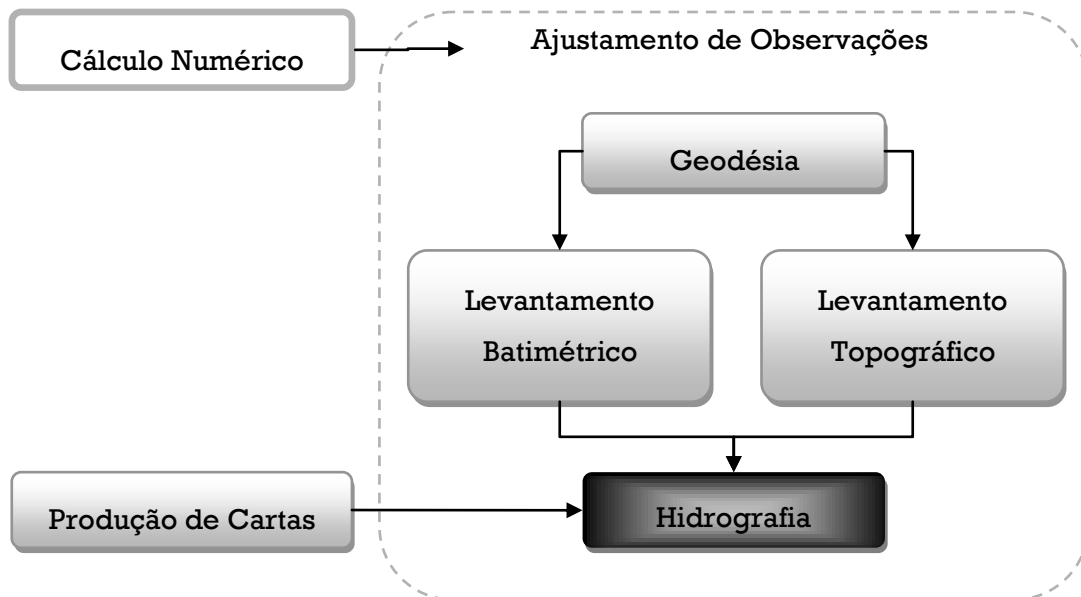
dividida em cada uma das etapas de execução do projeto: *levantamento hidrográfico*, *processamento dos dados*, *geração da carta hidrográfica*.

A apresentação dos resultados no *capítulo 4* irá mostrar os dados colhidos em campo, seu processamento, informações acerca da qualidade destes, a produção da carta e de seus derivados.

Por fim, as *considerações finais* descrevem brevemente uma opinião pessoal sobre a realização do trabalho, assim como suas facilidades e dificuldades durante a realização do mesmo.

## 2 Revisão Bibliográfica

Conforme dito na própria definição da hidrografia, esta é um conjunto de ciências aplicadas, sendo estas a base também da engenharia cartográfica – a exceção talvez da batimetria. Portanto, é necessário o conhecimento destas ciências para o entendimento da hidrografia. A *Figura 13* ilustra as relações entre estas ciências e a hidrografia.



**Figura 13: Organograma das relações entre assuntos ligados à hidrografia**

Nas próximas seções deste capítulo, serão apresentados estes assuntos, dando enfoque principalmente ao que será utilizado neste trabalho sobre hidrografia.

### 2.1 Batimetria

A batimetria é a técnica utilizada para obtenção de medidas de profundidades em corpos d'água. Uma profundidade é definida como a distância vertical entre a superfície da água com o leito abaixo desta. Normalmente, a batimetria está associada à geodésia, devido ao uso do GNSS para determinação dos pontos onde são coletadas as profundidades. Posteriormente, há uma seção específica para tratar da *geodésia* (IHO, 2005; Monico, 2008; Wikipedia, 2010a).

Historicamente, a batimetria era realizada através do uso de varas ou cordas, para medição da profundidade, enquanto a localização dos pontos era dada por referências visuais ou cabos esticados de um lado ao outro do local. Estes métodos de medição

direta são relativamente simples de serem executados, mas possuem duas principais desvantagens: são demorados e perdem muita precisão conforme aumenta a profundidade. Com o advento da eletrônica e o avanço da física, novas alternativas para a batimetria foram surgindo, dentre elas o *SONAR* (Sound Navigation and Ranging), equipamento que permite a medição de distâncias sob a água (Corrêa, 2007; IHO, 2005; Wikipedia, 2010a).

Atualmente, o estado da arte na batimetria consiste no uso de ecobatímetros monofeixe, ecobatímetros multifeixe, varredura aérea por laser e sensoriamento remoto. O ecobatímetro monofeixe é o equipamento mais utilizado nos dias de hoje, embora haja um grande crescimento no uso dos ecobatímetros multifeixe. O uso de varredura LASER e sensoriamento remoto não são muito utilizados devido a suas condições de operação, pois não possuem bons resultados – ainda – em regiões com muito sedimento nas águas. No trabalho aqui apresentado, será apenas discutido o uso e funcionamento dos ecobatímetros e do SONAR (IHO, 2005).

### 2.1.1 Introdução ao SONAR e ecobatímetro

O principal equipamento utilizado na medição de distâncias sob a água é o SONAR. Este equipamento permite a realização de medidas de distância através da emissão de pulsos mecânicos. Esta medição é feita através da diferença de tempo entre a emissão e a recepção do pulso pelo SONAR. Quando o SONAR é configurado para realização de medições de profundidade, a este é dado o nome de *ecobatímetro*. A *Figura 14* ilustra o processo de medição de profundidades com um ecobatímetro (Halliday, et al., 2009; Halliday, et al., 2008; IHO, 2005):

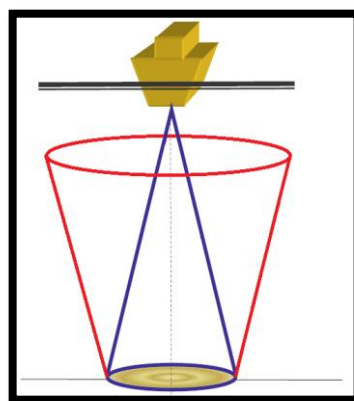


Figura 14: Medição de profundidade com ecobatímetro (IHO, 2005)



Na *Figura 14* é possível ver o pulso emitido pelo ecobatímetro em azul, sendo propagado até o leito do local e então sendo refletido, em vermelho, para ser captado pelo ecobatímetro novamente. As propriedades do pulso serão discutidas nas seções 2.1.2 e 2.1.3. Para a determinação da profundidade do local, a seguinte equação é utilizada (Halliday, et al., 2008; IHO, 2005):

$$p = \frac{v_{H_2O} \cdot (t_r - t_e)}{2}$$

**Equação 1: Medida de profundidade pelo ecobatímetro (IHO, 2005)**

Onde:

- $p$  representa a profundidade medida, em [m];
- $v_{H_2O}$  representa a velocidade do som no meio, ou então a função que representa esta velocidade, em [m/s];
- $t_e$  e  $t_r$  representam, respectivamente, o instante da emissão e recepção do pulso emitido pelo ecobatímetro, ambos em [s].

### 2.1.2 Princípios físicos relacionados ao pulso sônico

Há uma série de princípios físicos que estão relacionados à propagação do pulso emitido pelo SONAR. Nesta seção, serão discutidos estes princípios, desde a geração do pulso através do transdutor, até a captação novamente deste pulso.

A primeira etapa do processo de medição de distâncias com o SONAR começa antes da emissão do sinal, quando um equipamento conhecido como transdutor transforma um pulso elétrico em um pulso mecânico – neste caso, um pulso sônico. Este transdutor pode realizar esta tarefa através de duas formas distintas: *contração mecânica* ou *efeito piezoelétrico*<sup>1</sup>. A primeira consiste no mesmo sistema de uma caixa de som: uma corrente passa por uma bobina que é contraída e gera uma pressão que resulta no pulso. Já utilizando o efeito piezoelétrico é necessário apenas criar uma diferença de potencial entre as faces do material piezoelétrico. Em ambos os casos, o resultado é um pulso sônico, cuja intensidade é proporcional ao pulso elétrico utilizado para gerá-lo (Halliday, et al., 2009; Halliday, et al., 2009; Halliday, et al., 2009; IHO, 2005).

<sup>1</sup> O efeito piezoelétrico consiste na propriedade que alguns materiais possuem de transformar uma variação de pressão sobre si próprio em eletricidade, e vice-versa. Naturalmente, este efeito é encontrado no cristal de quartzo, mas é possível dar esta propriedade para certos materiais cerâmicos e alguns polímeros (Halliday, et al., 2009).

O primeiro fator que influencia o pulso sônico é a velocidade de propagação deste no meio, ou seja, a *velocidade do som* no meio. Em condições normais e constantes, a velocidade do som no ar é de aproximadamente  $343 \text{ m/s}$ , enquanto na água ela sobe para  $1.460 \text{ m/s}$ . A explicação para este comportamento é que conforme aumenta a densidade do meio, aumenta a velocidade de propagação das ondas mecânicas. Este conceito é importante, pois a densidade da água em um corpo d'água qualquer não é constante, e sim dependente de três fatores principais: temperatura, pressão e salinidade. Estes três fatores variam não somente conforme a época do ano e local, mas também em função da profundidade. Além destes fatores, há certos fenômenos que geram anomalia no comportamento destes, como a termoclina, que causa uma variação brusca na temperatura da água. Para determinar a velocidade do som em um determinado corpo d'água, é necessário considerar estes elementos, o que requer o uso de um modelo matemático que comporte os mesmos (Halliday, et al., 2009; IHO, 2005).

Conhecido o método de geração do pulso e o princípio da velocidade do som no meio, é dada continuidade na seção com o estudo das quatro interações básicas do pulso: *emissão*, *transmissão*, *reflexão* e *absorção*. Estas quatro interações representam as alterações sofridas pelo pulso desde sua emissão até sua captação. A primeira interação é a emissão, gerada pelo transdutor, conforme já comentado. A segunda interação é a transmissão, efeito ocorrente quando o meio, total ou parcialmente, não oferece resistência à passagem do sinal. Durante a transmissão, é possível observar um efeito, decorrente da variação de densidade do meio, conhecido como *refração*. O efeito da refração altera a direção dos pulsos que estão em qualquer ângulo diferente à normal<sup>2</sup>. Já a terceira interação é a responsável pela detecção do alvo, pois a reflexão ocorre quando o pulso não consegue atravessar um obstáculo, ao contrário da transmissão. A última interação é responsável pela absorção da energia do sinal por parte do meio, sendo esta a responsável parcial pela atenuação do sinal (Halliday, et al., 2009; IHO, 2005).

### 2.1.3 Princípios geométricos relacionados ao pulso sônico

Além dos princípios físicos do sinal, há uma série de elementos geométricos importantes a serem considerados sobre este sinal. Dentre estes elementos pode-se citar

---

<sup>2</sup> A normal é uma linha perfeitamente perpendicular a um plano, que no caso acima seria, possivelmente, um plano horizontal local (Monico, 2008).

a frequência e o comprimento do pulso. Também há um elemento importante que está relacionado à forma do transdutor e ao tipo de pulso, que é a abertura do mesmo.

A frequência do pulso é responsável por determinar o alcance do mesmo, assim como sua penetração nos sedimentos. O alcance de um pulso é inversamente proporcional à sua frequência, sendo então frequências mais altas utilizadas em menores profundidades enquanto as frequências mais baixas são utilizadas em maiores profundidades. O ideal, é que a frequência utilizada pelo equipamento seja adequada à profundidade medida, a *Tabela 1* demonstra alguns valores padrão de frequência e suas devidas aplicações (Halliday, et al., 2009; IHO, 2005).

<b>Frequência</b>	<b>Aplicação</b>
> 200 kHz	Medição de profundidades até 100 m
50 kHz ~ 200 kHz	Medição de profundidades até 1.500 m
12 kHz ~ 50 kHz	Medição de profundidades maiores que 1.500 m
< 8 kHz	Verificação de sedimentos

**Tabela 1: Valores padrão de frequências dos ecobatímetros (IHO, 2005)**

O comprimento do pulso define a energia transmitida pelo mesmo. O ideal, é que este comprimento seja, no mínimo, maior que a metade do período natural deste pulso. Em compensação, um pulso muito comprido pode confundir dois alvos próximos, unindo-os em um só elemento. Em locais onde haja uma atenuação do sinal muito grande, normalmente devido a sedimentos na água, é aconselhado um pulso mais comprido, de forma que esta atenuação não prejudique a recepção do sinal refletido (IHO, 2005).

A abertura do pulso é um parâmetro importante para ser considerado devido a vários motivos. O primeiro é que esta abertura define a inclinação máxima que o barco pode estar sujeito sem a necessidade de realizar correções na medida – conforme será visto na seção 2.4.1. Outro aspecto está relacionado à profundidade e atenuação do sinal, pois quanto menor o ângulo de abertura, maior a profundidade que o pulso pode alcançar, assim como é menos intenso o efeito a atenuação do pulso. Por fim, o último aspecto importante é que através desta abertura e da profundidade medida, é possível estimar a área coberta pelo pulso, o que reflete diretamente na precisão do levantamento. O ângulo de abertura de um SONAR depende da forma e arranjo dos transdutores utilizado (IHO, 2005). Um único transdutor cilíndrico define seu ângulo de abertura através da seguinte equação:

$$\alpha_p = \frac{60 \cdot L_p}{d}$$

**Equação 2: Ângulo de abertura de um transdutor cilíndrico (IHO, 2005)**

Onde:

- $\alpha_p$  representa o ângulo de abertura, em graus;
- $L_p$  representa o comprimento de onda do pulso, em [m];
- $d$  representa o diâmetro do transdutor, em [m].

Já se o transdutor tiver uma forma retangular, esta equação é alterada para:

$$\alpha_{pl} = \frac{50 \cdot L_p}{l}$$

$$\alpha_{pc} = \frac{50 \cdot L_p}{c}$$

**Equação 3: Ângulo de abertura de um transdutor retangular (IHO, 2005)**

Onde:

- $\alpha_{pl}$  representa o ângulo de abertura na direção da largura do transdutor, em graus;
- $\alpha_{pc}$  representa o ângulo de abertura na direção do comprimento do transdutor, em graus;
- $L_p$  representa o comprimento de onda do pulso, em [m];
- $l$  representa a largura do transdutor, em [m];
- $c$  representa o comprimento do transdutor, em [m].

#### 2.1.4 Efeitos dos movimentos da embarcação

Na batimetria, há seis movimentos realizados pela embarcação que devem ser considerados. Os primeiros três são referentes à translação da embarcação nos eixos  $x$ ,  $y$  e  $z$ , enquanto os outros três são referentes às rotações nestes mesmos eixos. Para medição da translação do barco, é utilizado o receptor GNSS, que será discutido na seção *geodésia* (IHO, 2005; Monico, 2008).

As três rotações são um movimento característico da embarcação, sendo comuns devido ao movimento da mesma, assim como pela ação das ondas na própria embarcação. No meio náutico, a estes movimentos é dado o nome de *caturro*, *balanço* e

rumo. A Figura 15 ilustra estes três movimentos (Barros, 2001; Hibbeler, 2005; Hibbeler, 2005; IHO, 2005).

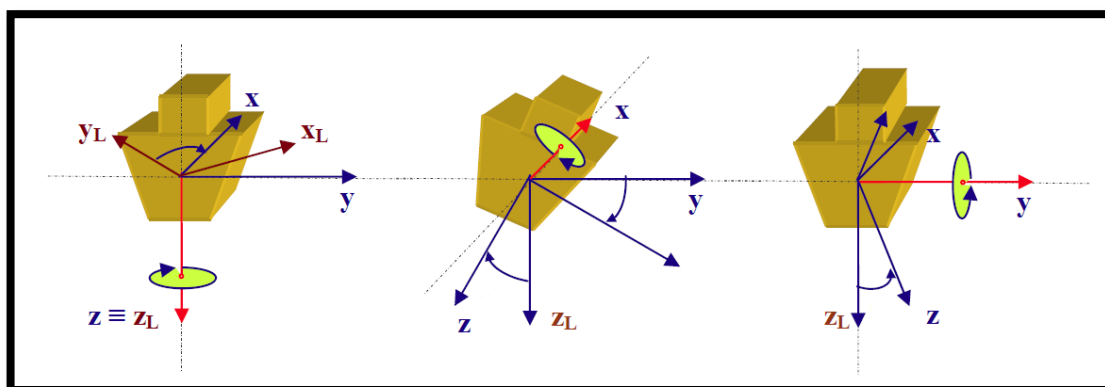


Figura 15: Representação do rumo, balanço e caturro (IHO, 2005)

Conforme as condições do ecobatímetro, da profundidade e da meteorologia local, estes movimentos de rotação podem ser desconsiderados. Quando as rotações não excedem o valor do ângulo de abertura do feixe, estas não são significativas para o cálculo da profundidade (IHO, 2005).

Quando necessário, o equipamento utilizado para controlar estes movimentos e corrigi-los é o *sistema inercial*, composto por giroscópios e acelerômetros, que medem qualquer variação de aceleração ou rotação aplicada no equipamento. Na embarcação, as rotações ocorrem em torno e um ponto fixo, chamado centro de massa, e este ponto dificilmente coincide com o local onde o inercial é instalado. Devido a este fato, é necessário realizar uma *calibração* do conjunto, ou seja, é necessário descrever detalhadamente a geometria formada pelo receptor GNSS, pelo ecobatímetro, pelo inercial e pelo centro de massa da embarcação (Barros, 2001; Hibbeler, 2005; IHO, 2005).

#### 2.1.5 O nível da água no levantamento batimétrico

Até este momento, a tomada de profundidades considerou como fixo o nível da água durante o levantamento batimétrico, o que não retrata a realidade encontrada normalmente. Em um corpo d'água, fatores como a corrente, evaporação e precipitação alteram este nível. Uma das formas de obter a cota do nível da água local é transferir a cota de um ponto conhecido para as margens do local levantado, obtendo assim a

altitude<sup>3</sup> do ponto. Em dois momentos é importante considerar o nível da água e suas variações: durante o levantamento batimétrico e na produção da carta resultante (Barros, 2001; Felipe, 2010; IHO, 2005).

O controle do nível da água durante o levantamento batimétrico possui a função de verificar se, durante a realização do levantamento, não há variação neste nível. Quando o nível da água local é considerado constante, há um grande ganho na precisão devido à aquisição apenas da posição horizontal através do método geodésico de posicionamento. Se este nível não for constante, mas ainda assim for monitorado, é possível então utilizar artifícios matemáticos para corrigir esta variação no nível da água ocorrida durante o levantamento (IHO, 2005).

Depois de realizado o levantamento, também é necessário conhecer as características do nível da água nesta região. Há basicamente 5 tipos de séries históricas que são utilizadas nestes trabalhos:

- Menor mínima, representando a menor cota do nível da água já registrada na região;
- Média das mínimas, representando a média das mínimas registradas na região;
- Média, representando a média de todas as cotas registradas na região;
- Média das máximas, representando a média das máximas registradas na região;
- Maior máxima, representando a maior cota do nível da água registrada na região.

A produção de uma carta hidrográfica utiliza basicamente as médias das mínimas e das máximas para o cálculo das profundidades. O uso das médias das mínimas permite informar na carta as profundidades mínimas a serem encontradas na região, o que permite traçar uma rota segura ao destino. Já a média das máximas é utilizada no cálculo do vão livre de obstáculos que passam por cima destes corpos d'água, tal como pontes e cabos de alta tensão, permitindo saber qual a altura máxima da embarcação para passar neste local (Barros, 2001; Felipe, 2010; IHO, 2005).

Outra consideração que deve ser feita em algumas regiões está relacionada também com a diferença de nível em terra, principalmente nos rios. Em regiões onde são constatadas estas variações na cota da margem, deve-se monitorar então não somente a variação da cota do corpo d'água, mas também a variação da cota da margem, que

---

<sup>3</sup> Na cartografia, podem-se encontrar dois principais tipos de altitude: a ortométrica e a geométrica. A primeira consiste na distância entre o geóide e o ponto medido, enquanto a segunda representa a distância entre o elipsóide adotado e o ponto medido (Gemael, 1999).

podem resultar em erros de altimetria, ou profundidade, no levantamento batimétrico (IHO, 2005).

### 2.1.6 Processamento dos dados da batimetria

Os dados provenientes da batimetria são apenas dois: a velocidade do som, e o intervalo de tempo entre a emissão e recepção dos pulsos. Porém, o receptor GNSS fornece também a posição de onde estas medidas foram realizadas. Considerando as rotações da embarcação pequenas, o processamento dos dados é realizado conforme a *Figura 16* (Azambuja, et al., 2007; IHO, 2005; Monico, 2008).

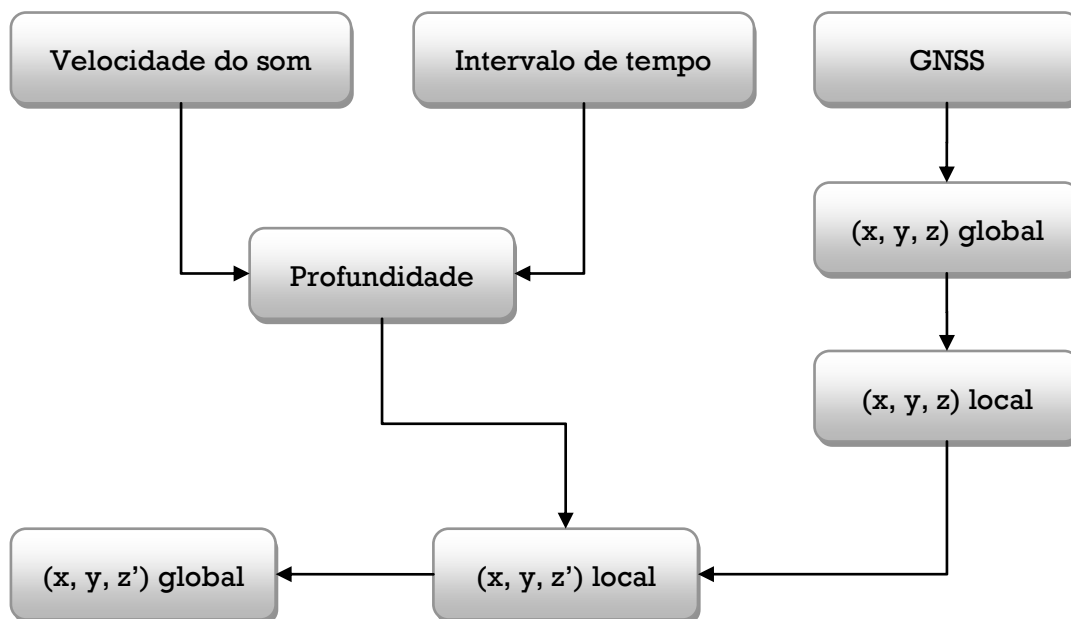


Figura 16: Esquema do processamento dos dados

O primeiro passo a ser seguido segundo o esquema acima é a determinação da profundidade. Para obter este dado, pode-se utilizar a *Equação 1*. Esta profundidade pode necessitar alguma correção, principalmente devido aos movimentos da embarcação, pois as variações que afetam a velocidade do som devem ser corrigidas antes desta ser utilizada na *Equação 1*. Com a profundidade corretamente ajustada, é possível dar continuidade aos cálculos. A aquisição da posição no referencial global será discutida na seção *geodésia*, enquanto as transformações entre sistemas locais e globais serão discutidas na seção 2.2.5. A determinação da coordenada do leito marinho é feita subtraindo a profundidade medida da posição  $z$  medida pelo receptor GNSS, sendo que esta posição deve ser transladada para o local do transdutor. Esta subtração necessita ser feita no referencial local, pois somente neste a direção do eixo  $z$  coincide com a normal,

o que não ocorre no referencial global. Após ajustada a coordenada para o fundo do corpo d'água, é possível transformar as coordenadas novamente para o referencial global. Nos próximos capítulos, algumas destas etapas serão mais profundamente abordadas (Azambuja, et al., 2007; Barros, 2001; IHO, 2005; Jelinek, 2004; Monico, 2008).

## 2.2 Levantamento topográfico

Embora o foco de um levantamento hidrográfico esteja associado a corpos d'água, há duas principais ocasiões onde a topografia pode ser utilizada. A primeira refere-se a pontos de referencia, utilizados principalmente quando o objetivo da carta é a navegação. O outro uso da topografia é quando o local é muito raso, impedindo o uso dos métodos batimétricos de levantamento (IHO, 2005).

Embora já mencionado o uso da topografia em um levantamento hidrográfico, esta ainda não foi corretamente apresentada. A topografia é uma técnica antiga, que utiliza os princípios da *trigonometria* para realizar a propagação de coordenadas. Um levantamento topográfico realiza a medida de *ângulos* e *distâncias* entre *bases* e *alvos* para determinar as coordenadas destas bases e alvos. Este conjunto de bases é conhecido como poligonal, que será apresentado na seção 2.2.3. Já os alvos são denominados irradiamentos e serão apresentados na seção 2.2.4 (Jelinek, 2004; Wikipedia, 2010e).

Há uma vasta gama de equipamentos que podem ser utilizados no levantamento topográfico, mas neste trabalho é dado enfoque em apenas dois: a estação total (ET) e o receptor GNSS. A ET consiste em um equipamento para medição de ângulos e distâncias de forma eletrônica, seu funcionamento será discutido na seção 2.2.2. Já o receptor GNSS possui o objetivo de fornecer coordenadas no referencial global para os pontos de apoio utilizados no levantamento, mais detalhes podem ser vistos nas seções 2.2.3 e 2.3 (Azambuja, et al., 2007; Jelinek, 2004; Monico, 2008).

### 2.2.1 Nomenclatura associada à topografia

Antes de falar diretamente sobre o levantamento topográfico, é importante apresentar a *Tabela 2* que contém alguns termos utilizados no meio, assim como seu símbolo e seu significado.



<b>Termo</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
Altura da estação	$h_e$	Altura medida entre o chão e o centro de giro da estação.
Altura do prisma	$h_p$	Altura medida entre o chão e o centro do prisma.
Ângulo horizontal	$\theta_h$	Ângulo formado no plano horizontal entre um referencial local da estação e um determinado ponto, medido normalmente no sentido horário.
Ângulo vertical	$\theta_v$	Ângulo formado entre o plano horizontal e um determinado alvo.
Ângulo zenital	$\theta_z$	Ângulo formado entre o zênite da estação e um determinado alvo.
Azimute	$Az$	Ângulo formado entre um referencial fixo para todas as estações (normalmente o Norte) e um determinado ponto.
Diferença de nível	$D_n$	Diferença de altura entre dois pontos.
Distância horizontal	$d_h$	Distância plana horizontal entre a estação e um determinado ponto.
Distância inclinada	$D$	Distância medida diretamente entre a estação e um determinado ponto.
Distância vertical	$d_v$	Distância no plano vertical entre a estação e um determinado ponto.

Tabela 2: Termos comuns na topografia

### 2.2.2 Funcionamento da estação total

A *estação total* é um equipamento que permite a medição de *ângulos* e *distâncias*, a partir de um ponto, onde a mesma é montada, nivelada e orientada conforme um determinado referencial. O funcionamento da ET depende também de outros dois elementos: o *tripé* e a *baliza*. O tripé serve como base para a ET, enquanto a baliza é um refletor para o *medidor eletrônico de distâncias* (MED) embutido na ET (Jelinek, 2004).

Para ser corretamente utilizada, a ET deve ser *montada* e *nivelada*. Este processo consiste em acoplar a ET no tripé e nivelá-la, de forma que esta fique perfeitamente paralela à linha do horizonte. Caso este nivelamento não seja bem realizado, a distância medida pelo MED poderá ser a mesma, mas os ângulos não serão o horizontal nem o

vertical, o que acarreta um erro de medição. Após este processo, é ainda necessário medir a *altura da estação*. Quando a estação é retirada de um ponto e levada para outro, todo este processo deve ser novamente realizado. Com relação ao prisma, este também deve ter sua altura medida, e deve ser informado cada vez que a altura do mesmo for alterada, pois interfere diretamente na diferença de nível entre a estação e o alvo (Jelinek, 2004).

Com a estação corretamente montada, é possível realizar as medições com esta. As duas primeiras medidas que serão explicadas são o *ângulo horizontal* e o *ângulo vertical*. Esta medição é realizada através de engrenagens, que calculam automaticamente a rotação nos dois eixos da estação (horizontal e vertical). O ângulo horizontal é aquele medido entre o referencial zero da ET e o prisma, localizado sobre o alvo. O valor zero da ET é um valor arbitrário, que pode ser definido pelo usuário. Já o ângulo vertical normalmente é medido em relação ao plano do horizonte, mas é possível medir este ângulo também em relação ao zênite da estação. Na seção 2.2.6 serão dados detalhes sobre o tratamento destes ângulos (Jelinek, 2004).

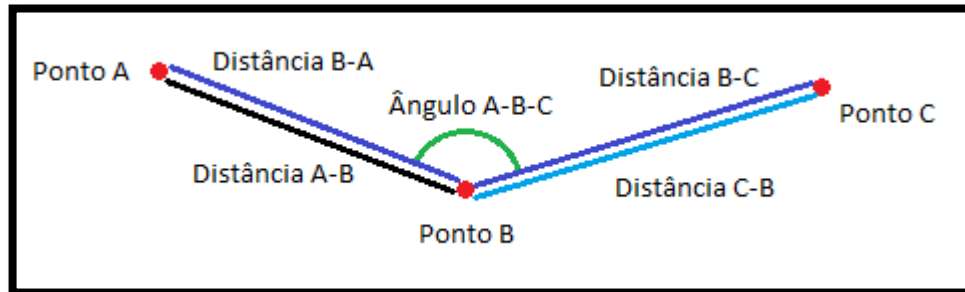
Além das medidas de ângulo, uma ET também realiza a medição de *distâncias*, através de um MED instalado dentro da mesma. Esta distância é medida entre o centro da ET e o centro do prisma. Esta distância é conhecida como *distância inclinada*. Utilizando esta distância com o ângulo vertical e as alturas dos instrumentos, é possível calcular a *distância horizontal* entre a ET e o prisma, assim como a *diferença de nível* entre estes dois. Mais detalhes sobre estes cálculos serão apresentados na seção 2.2.6 (Halliday, et al., 2009; Jelinek, 2004).

### 2.2.3 Poligonal e pontos de apoio

O levantamento topográfico inicia com a definição aproximada de uma *poligonal*, que será materializada conforme se progride no levantamento. A poligonal é uma seqüência de pontos onde a ET é montada, para realizar a medição dos irradiamentos – seção 2.2.4 – além de alguns pontos da própria poligonal (Jelinek, 2004).

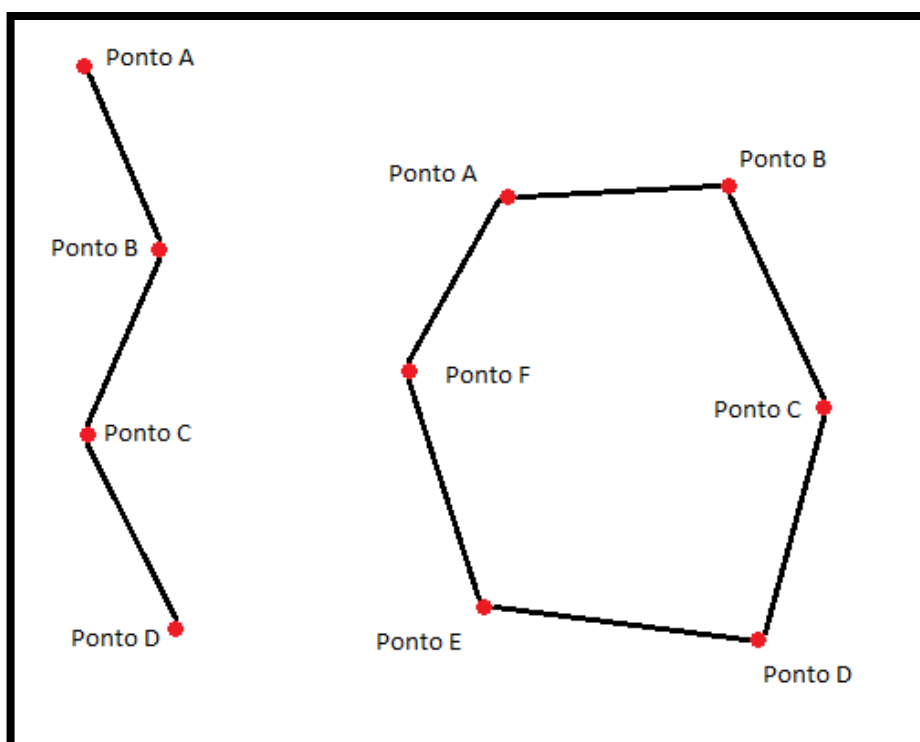
A poligonal não deve possuir descontinuidades entre seu início e fim, portanto, é necessário “ligar” todos os pontos desta poligonal – exceto pelo primeiro e último, que não precisam necessariamente estar ligados. Esta ligação é realizada medindo o ângulo e distância dos pontos imediatamente antes e imediatamente depois da poligonal. Estas leituras são chamadas de *leitura a ré* e *leitura a vante*. Nota-se que haverá duas medidas

de distância entre cada ponto, o que servirá para realizar a média de ambas, assim permitindo um controle de qualidade destas medidas. Já com relação ao ângulo, o objetivo é possuir o ângulo entre a ré e a vante, motivo pelo qual a estação normalmente é zerada na ré. A *Figura 17* ilustra este processo (Jelinek, 2004).



**Figura 17: Leitura de pontos da poligonal**

Normalmente, são encontrados dois tipos de poligonais: *abertas* e *fechadas*. A diferença entre ambas é que na poligonal fechada, o primeiro e último ponto coincidem, formando um polígono, enquanto a poligonal aberta não possui esta ligação, formando apenas uma linha. A vantagem da poligonal fechada é que com esta é possível calcular o erro de fechamento, mesmo sem possuir pontos de apoio – que serão discutidos a seguir. É possível encontrar poligonais que sejam combinações destes dois tipos, mas não é muito comum. A *Figura 18* ilustra os dois tipos de poligonais apresentadas (Jelinek, 2004).



**Figura 18: Representação das poligonais abertas e fechadas, respectivamente**

Para encerrar esta seção, é necessária apenas mais uma explicação: os *pontos de apoio* (PA). Quando realizado, o levantamento topográfico não possui um referencial global, apenas local. Para que seja definido um referencial global para este levantamento, alguns dos pontos da poligonal devem ser levantados através do *receptor GNSS*, ou então devem ser utilizados *marcos geodésicos* nos pontos da poligonal. Os PA também podem auxiliar no *controle de erros* e avaliação de *precisão* do levantamento. Normalmente, os PA são posicionados aos pares, sendo um par no início e fim da poligonal aberta e um par no decorrer da poligonal fechada (Jelinek, 2004).

#### 2.2.4 Irradiamentos

Os *irradiamentos*, na verdade, são o grande objetivo do levantamento topográfico. Um irradiamento consiste na medição de um determinado ponto de interesse. Estes pontos de interesse podem ser árvores, construções, limites, etc. O único requisito para esta medição é uma visada direta e sem obstáculos entre a ET e o alvo, onde é posicionado o prisma.

A medida de um ponto irradiado consiste em determinar os ângulos e a distância entre a base e este ponto. Os ângulos devem possuir como referencial o mesmo ponto utilizado para ligar a poligonal. Já a distância é medida diretamente até o prisma. Nos irradiamentos, não é necessário medir um ponto duas vezes, mas, quando possível, a medição de um ponto através de duas estações diferentes permite o controle de qualidade do levantamento. A *Figura 19* ilustra como é medido um irradiamento.

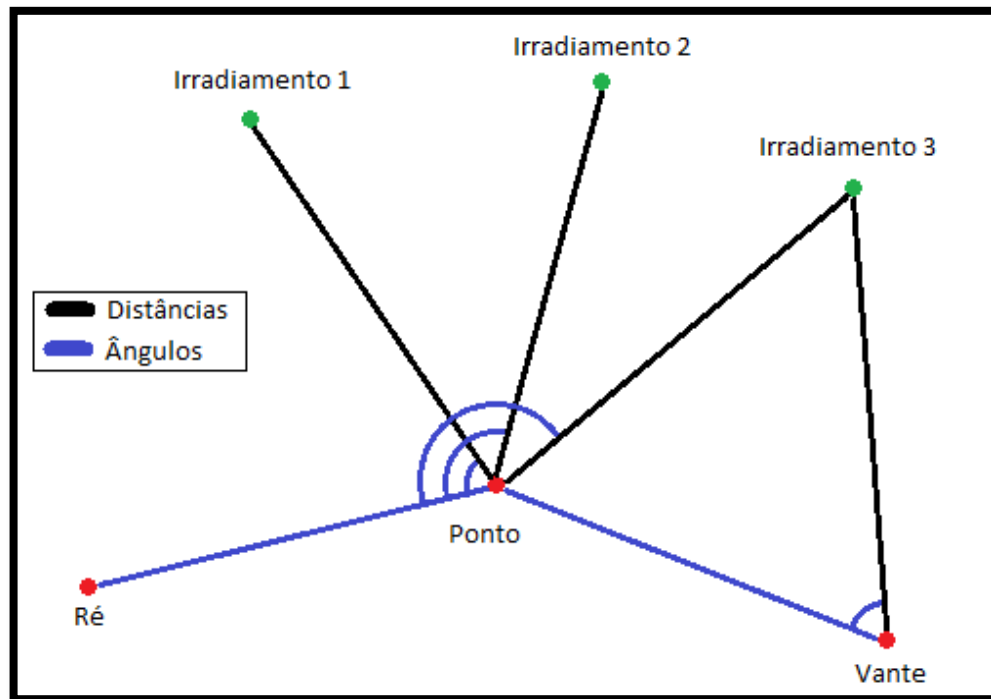


Figura 19: Medição de irradiações

### 2.2.5 Transformação entre referenciais locais e globais

Conforme já mencionado, o levantamento topográfico é realizado em um *referencial local*, necessitando posteriormente sua conversão para um *referencial global*. Antes de se aprofundar neste assunto, é importante definir o que é um referencial local e um global. Um referencial local é definido e ajustado para um determinado ponto, ou local, o que não quer dizer que este possua qualquer tipo de orientação com relação à Terra. Já o referencial global possui uma definição que permite seu uso em todo planeta, em compensação, seu uso em tarefas como a topografia é extremamente trabalhoso (Azambuja, et al., 2007).

O primeiro motivo pelo qual é necessário realizar transformações entre um e outro é que as coordenadas provenientes do receptor GNSS estão em um referencial global, enquanto os pontos medidos com a ET são calculados no referencial local, o que torna estes dados incompatíveis. O segundo motivo é que, embora o referencial local seja mais simples de ser trabalhado, é no referencial global que os dados devem ser apresentados, pois neste é possível comparar o levantamento com outros realizados na mesma região. A seguir, serão apresentadas as equações direta e inversa de transformação entre referenciais (Azambuja, et al., 2007).

$$x_p = x_0 + [-(X_p - X_0) \cdot \sin \lambda_0 + (Y_p - Y_0) \cdot \cos \lambda_0]$$

$$y_p = y_0 + [-(X_p - X_0) \cdot \cos \lambda_0 \cdot \sin \varphi_0 - (Y_p - Y_0) \cdot \sin \lambda_0 \cdot \sin \varphi_0 + (Z_p - Z_0) \cdot \cos \varphi_0]$$

$$z_p = z_0 + [(X_p - X_0) \cdot \cos \lambda_0 \cdot \cos \varphi_0 + (Y_p - Y_0) \cdot \sin \lambda_0 \cdot \cos \varphi_0 + (Z_p - Z_0) \cdot \sin \varphi_0]$$

**Equação 4: Transformação entre referenciais – direta (Azambuja, et al., 2007)**

$$X_p = X_0 + [-(x_p - x_0) \cdot \sin \lambda_0 - (y_p - y_0) \cdot \cos \lambda_0 \cdot \sin \varphi_0 + (z_p - z_0) \cdot \cos \lambda_0 \cdot \cos \varphi_0]$$

$$Y_p = Y_0 + [(x_p - x_0) \cdot \cos \lambda_0 - (y_p - y_0) \cdot \sin \lambda_0 \cdot \sin \varphi_0 + (z_p - z_0) \cdot \sin \lambda_0 \cdot \cos \varphi_0]$$

$$Z_p = Z_0 + [(y_p - y_0) \cdot \cos \varphi_0 + (z_p - z_0) \cdot \sin \varphi_0]$$

**Equação 5: Transformação entre referenciais – inversa (Azambuja, et al., 2007)**

Onde:

- $\varphi_0$  e  $\lambda_0$  representam a latitude e longitude, respectivamente, de um ponto adotado como inicial – este ponto deve conter suas coordenadas em ambos os sistemas;
- $X_0, Y_0$  e  $Z_0$  representam as coordenadas cartesianas do ponto inicial no sistema global;
- $x_0, y_0$  e  $z_0$  representam as coordenadas cartesianas do ponto inicial no sistema local – estas coordenadas podem ser arbitrárias.
- $X_p, Y_p$  e  $Z_p$  representam as coordenadas cartesianas de um ponto  $P$  no sistema global;
- $x_p, y_p$  e  $z_p$  representam as coordenadas cartesianas de um ponto  $P$  no sistema local.

Para obter as coordenadas geodésicas do ponto inicial (latitude e longitude), pode-se utilizar a *Equação 6*, apresentada a seguir (Gagg, 2008).

$$\varphi_0 = \tan^{-1} \left[ \frac{Z_0 + \left(\frac{a^2 - b^2}{b}\right) \cdot (\sin \theta)^3}{\sqrt{X_0^2 + Y_0^2} - \left(\frac{a^2 - b^2}{a}\right) \cdot (\cos \theta)^3} \right]$$

$$\lambda_0 = \tan^{-1} \left( \frac{Y_0}{X_0} \right)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{Z_0 \cdot a}{b \cdot \sqrt{X_0^2 + Y_0^2}} \right)$$

**Equação 6: Transformação entre coordenadas cartesianas e geodésicas (Gagg, 2008)**

Onde:

- $a$  e  $b$  representam, respectivamente, os semi-eixos maior e menor do elipsóide adotado.

### 2.2.6 Processamento dos dados

O processamento dos dados é a parte final da realização do levantamento topográfico. Após processados, estes dados necessitam apenas de um meio de ser exibidos ou trabalhados, o que já faz parte de outra área da cartografia.

Em campo, para cada ponto, são coletadas três informações: uma distância inclinada  $D$ , um ângulo horizontal  $\theta_h$  e um ângulo vertical  $\theta_v$ . Associado a cada medida, também há a altura da estação  $h_e$  e a altura do prisma  $h_p$ . Embora nesta seção o ângulo vertical seja tratado como em relação ao horizonte, caso haja necessidade de conversão, a *Equação 7* resolve o problema. Como sugestão no quesito organização, pode-se criar uma lista com seis colunas, sendo a primeira para designação do ponto e as restantes para os cinco dados citados acima (Jelinek, 2004).

$$\theta_v = 90^\circ - \theta_z$$

**Equação 7: Transformação entre ângulo vertical e zenital**

Com os dados básicos de campo coletados, é dado seguimento para o cálculo dos azimutes. Primeiramente, deve ser definido o azimute padrão para o levantamento. Este azimute normalmente é definido em função de um par de pontos de apoio. A *Equação 8* demonstra estes cálculos. Com este primeiro azimute determinado, a *Equação 9* pode ser utilizada para realizar a propagação dos azimutes, utilizando também os ângulos horizontais (Azambuja, et al., 2007; Jelinek, 2004).

$$Az_1 = \tan^{-1} \left( \frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1} \right)$$

$$\text{se } (y_2 - y_1) < 0 \rightarrow Az_1 = Az_1 + 180^\circ$$

**Equação 8: Determinação do primeiro azimute**

$$Az_n = \theta_{v_{n-1,n,n+1}} + Az_{n-1} + 180$$

$$\text{se } Az_n > 360^\circ \rightarrow Az_n = Az_n - 360^\circ$$

**Equação 9: Determinação dos demais azimutes**

A próxima etapa do processamento dos dados consiste em determinar a distância horizontal através da distância inclinada. Esta determinação é bastante simples, conforme demonstrado pela *Equação 10* (Jelinek, 2004).

$$d_h = D \cdot \cos \theta_v$$

**Equação 10: Determinação da distância horizontal**

A diferença de nível entre a estação e o ponto é determinada utilizando a *Equação 11*. Nota-se que na determinação desta é importante o conhecimento das alturas dos instrumentos (Jelinek, 2004).

$$Dn = D \cdot \sin \theta_v + h_e - h_p$$

**Equação 11: Determinação da diferença de nível**

Por fim, a coordenada da estação é propagada para o ponto visado através da *Equação 12*. Esta coordenada está no sistema local, sendo necessário posteriormente utilizar a *Equação 5* para torná-la uma coordenada global (Jelinek, 2004).

$$x_{n+1} = x_n + d_{h_n} \cdot \sin Az_n$$

$$y_{n+1} = y_n + d_{h_n} \cdot \cos Az_n$$

$$z_{n+1} = z_n + Dn_n$$

**Equação 12: Propagação das coordenadas**

Os erros de fechamento podem ser realizados durante este processamento, verificando se a poligonal fecha corretamente e distribuindo estes erros, ou então através do ajustamento de observações, conforme será explicado na seção 2.5 (Gemael, 1994).

## 2.3 Geodésia

A *geodésia* é definida como a ciência que estuda a forma *matemática* e *física* da Terra, bem como suas representações. Para estes fins, a geodésia pode ser dividida em três grupos: geodésia *geométrica*, geodésia *física* e geodésia *celeste*. A primeira, geodésia geométrica, trata da descrição matemática da Terra, fazendo definições sobre sistemas de referência, elipsóides, cálculo e transporte de coordenadas, dentre outros assuntos. Já a geodésia física trata basicamente do campo gravitacional terrestre, suas



variações e também do geóide<sup>4</sup>. A última, geodésia celeste, trata da definição de parâmetros e da aquisição de coordenadas através de medidas astronômicas, sejam elas referidas a satélites naturais ou artificiais (Gagg, 2008; Gemael, 1999; Monico, 2008).

Um assunto importante tratado pela geodésia são os *sistemas de referência*. Um sistema de referência é constituído pela definição de um *elipsóide*, bem como sua *orientação*, para representar a figura geométrica da Terra. O elipsóide é uma figura geométrica definida por dois parâmetros: o semi-eixo maior  $a$  e o semi-eixo menor  $b$ . A orientação deste elipsóide considera o posicionamento de sua origem e a orientação dos três eixos do sistema cartesiano. Os sistemas de referência modernos normalmente utilizam como origem o *centro de massa da Terra*, enquanto o eixo  $Z$  é direcionado ao pólo Norte, o eixo  $X$  orientado na direção do meridiano de Greenwich e o eixo  $Y$  sendo perpendicular ao plano formado pelos eixos  $X$  e  $Z$  (Gagg, 2008; Monico, 2008).

Com um sistema de referência definido, é possível determinar coordenadas em relação a este sistema. O maior avanço na determinação de coordenadas está relacionado ao advento do *NAVSTAR-GPS*, primeiro sistema de *navegação por satélites*, desenvolvido pelos militares norte-americanos, para determinação de posições na superfície terrestre. Atualmente, é dado o nome de *GNSS* – Global Navigation Satellite System – a todo sistema de navegação por satélite, do qual, além do GPS, fazem parte o Galileo e o GLONASS. Através destes sistemas, é possível obter as coordenadas de um determinado ponto com extrema facilidade. Conforme o tipo de receptor e o tratamento dos dados recebidos dos satélites, pode-se obter precisão centimétrica, o que é excelente, quando se trata de medições que antes poderiam acarretar erros bem maiores (Monico, 2008).

### 2.3.1 Considerações sobre o posicionamento através do GNSS

O princípio de funcionamento do GNSS é bastante simples. Há três segmentos que regem o funcionamento deste sistema: segmento de *controle*, segmento *espacial* e segmento de *usuários*. O segmento de controle é responsável por manter em funcionamento e realizar a manutenção da constelação de satélites. Neste segmento também são previstas e aprimoradas as posições do satélite. Já o segmento espacial

---

<sup>4</sup> O geóide é uma das formas de representação da terra com um conceito físico, e não matemático. A mesma é definida como sendo uma superfície cuja intensidade do campo gravitacional é a mesma em todos seus pontos, possuindo como nível de referência o nível médio dos mares (Gemael, 1999).

consiste na própria constelação de satélites, responsáveis pela emissão do sinal que permite realizar o posicionamento, também conhecido como observável. O último segmento é constituído pelos usuários, que através do receptor captam o sinal emitido pelo satélite, assim determinando sua posição (Monico, 2008).

Para determinar a posição de um receptor, são medidas as *distâncias* entre este receptor e os *satélites*. Esta distância é obtida através das *observáveis* do sistema, que são os sinais emitidos pelo satélite. Há basicamente dois tipos de observáveis: *pseudodistância* e *fase da onda portadora*. A pseudodistância consiste em um código modulado na onda portadora, que permite a obtenção da distância entre o satélite e o receptor de uma forma fácil, ao custo da precisão. Já a fase da onda portadora possui uma excelente precisão, mas em compensação, há o problema da ambigüidade<sup>5</sup> para ser solucionado. Atualmente, um satélite GPS emite dois sinais, um na banda L1 e outro na banda L2, com frequências na faixa dos 1.575,42 MHz e 1227,60 MHz, respectivamente (Monico, 2008).

Há uma série de erros e efeitos associados ao GNSS e sua estrutura. Destes, há alguns que merecem especial atenção. Um dos principais erros é referente ao relógio do receptor e do satélite, que não estão sincronizados. A falta de sincronismo destes acarreta um erro na posição considerada do satélite, ocasionando, obviamente, um deslocamento na posição do receptor. Este primeiro erro normalmente é corrigido no ajustamento realizado para determinação da posição do receptor, sendo conhecido como erro do relógio do receptor – pois o erro é devido ao receptor, não ao satélite. Outro erro referente aos equipamentos é o deslocamento do centro de fase da antena, que também possui uma solução simples, sendo necessário apenas transladar a posição um determinado valor na direção do centro de gravidade da Terra. Já em relação ao sinal e seu meio de propagação, há três principais erros: refração troposférica, refração ionosférica e multicaminho. O primeiro, referente à influência da troposfera no sinal, possui influência considerável apenas quando o caminho percorrido na troposfera é longo. Para solucionar este efeito, basta excluir das observações os satélites com baixo ângulo de inclinação em relação ao horizonte – normalmente abaixo de 15° de elevação. Se necessário, ainda é possível utilizar modelagens que permitem atenuar ainda mais o efeito da refração troposférica. Já a refração ionosférica possui um efeito variável no sinal, tanto em função da frequência do mesmo, quanto em função da atividade solar, que

---

<sup>5</sup> A ambigüidade é o termo dado na geodésia celeste para a incógnita responsável pela determinação do número de ciclos de onda completos, no instante da primeira observação, entre o satélite e o receptor (Monico, 2008).

influencia diretamente nesta camada da atmosfera. Para correção deste efeito, podem-se utilizar manipulações algébricas nas observáveis, ou então modelos ionosféricos. Já o multicaminho é um efeito ocasional, ocorrido quando um sinal é refletido por um objeto e captado pelo receptor, causando o efeito de uma falsa posição. A correção deste efeito pode ser realizada com o uso de antenas específicas para o receptor (Matsuoka, et al., 2007; Monico, 2008).

### 2.3.2 Posicionamento dinâmico através do DGPS

Antes de falar diretamente sobre o DGPS, é importante introduzir o conceito de *posicionamento por ponto*. O posicionamento por ponto consiste na forma mais básica de obtenção de coordenadas através do GNSS. Este método considera apenas quatro variáveis: três coordenadas e o erro do relógio do receptor. Ainda é possível inserir modelos que atenuam os efeitos da ionosfera e troposfera (Monico, 2008).

O conceito do *DGPS* (Differential Global Position System) utiliza o princípio do posicionamento por ponto simples, mas aplica neste algumas correções. Estas correções são determinadas através de uma estação com coordenadas conhecidas, que também recebe as coordenadas do satélite. A comparação entre estas coordenadas permite a realização da correção do DGPS por dois métodos: através da aplicação direta da diferença entre as coordenadas, ou através da determinação da diferença entre as pseudodistâncias esperada e recebida. Este método de melhoria da qualidade dos dados é válido para regiões no entorno da estação de comparação, pois a principal correção efetuada é com relação aos efeitos atmosféricos, que normalmente são comuns a uma determinada região (Monico, 2008).

Conhecido o método de posicionamento do DGPS, também é importante comentar sobre o posicionamento *cinemático*. Um posicionamento cinemático significa que o receptor estará em movimento, e este movimento será considerado. Sendo assim, não serão determinadas as coordenadas de um ponto, e sim as coordenadas de vários pontos que definem um trajeto (Monico, 2008).

### 2.3.3 Posicionamento relativo estático

O *posicionamento relativo* (PR) estático é outro método de determinação das coordenadas de um ponto. O produto deste método é a *diferença* entre as coordenadas de duas estações receptoras. O equipamento mais eficiente para realização deste método é o receptor de dupla frequência, que permite a obtenção da pseudodistância e fase da onda portadora em ambos os canais (L1 e L2). É importante comentar que, para que este método realmente seja eficiente, a coordenada de um dos dois pontos deve ser conhecida com alto nível de precisão, pois então, através desta, é possível determinar as coordenadas do outro ponto, de coordenadas desconhecidas. Uma vantagem importante deste método é que não é necessário realizar a evolução temporal da coordenada, conforme a última realização do referencial<sup>6</sup> (Monico, 2008).

O princípio de funcionamento deste método está baseado no uso das *duplas diferenças*, para determinação da diferença entre as coordenadas de ambas as estações. As duplas diferenças são uma composição linear entre observáveis, que permitem a redução dos efeitos atmosféricos – principalmente da ionosfera. O termo dupla diferença é dado porque, para realização desta combinação, são necessários dois satélites e dois receptores, captando um sinal no mesmo instante (Monico, 2008).

Em relação ao método de posicionamento ser estático, isto significa que haverá apenas uma coordenada final a ser considerada, independente que haja movimento na antena (seja por causa do vento, ou outro motivo qualquer). Sendo assim, é realizado um ajustamento entre todas as observações recolhidas durante o período de observação (Monico, 2008).

## 2.4 Produção de cartas hidrográficas

A etapa final de um projeto cartográfico consiste na apresentação destes dados. Esta apresentação não é feita através de uma lista de números, mas sim através de uma carta ou modelo do trabalho. Atualmente, ainda é padrão a apresentação de trabalhos em cartas planas, que são aproximações do terreno através de projeções. As projeções,

---

<sup>6</sup> Embora o referencial adotado para o sistema GPS, conhecido como ITRS, seja fixo, sua materialização – conhecida como realização, ou ITRF – pode sofrer alterações de coordenadas conforme a tectônica de placas (Monico, 2008).

por sua vez, são modelos matemáticos que permitem aproximar a Terra, em sua representação tridimensional, em um plano, onde são inseridas as informações coletadas.

Esta representação é muito importante em algumas situações, como na hidrografia. Uma das principais funções dos levantamentos hidrográficos é permitir a elaboração de rotas para as embarcações mercantis por locais navegáveis e seguros. A carta é o meio de ilustrar a representação destas rotas, que também permite uma fácil assimilação pelo usuário, ao contrário de volumosas tabelas de dados. No âmbito nacional, a produção de cartas hidrográficas padrões é realizada pela Marinha do Brasil, que possui um manual próprio de símbolos e definições, denominado *Carta 12.000* (Barros, 2001; Marinha do Brasil, 2006).



Figura 20: Cartas padrão da Marinha do Brasil (Marinha do Brasil, 2006)

A nova tendência em termos de representação cartográfica consiste na criação de modelos digitais tridimensionais de cartas. Em comparação às cartas convencionais, estas possuem a vantagem de permitir uma visualização muito mais realista e, por serem, digitais, permitem que seus programas executem diversos cálculos de forma automática, mas em contrapartida, são mais difíceis de serem produzidas. Estes modelos são conhecidos na cartografia pela sigla MDS, ou modelos digitais de superfície.

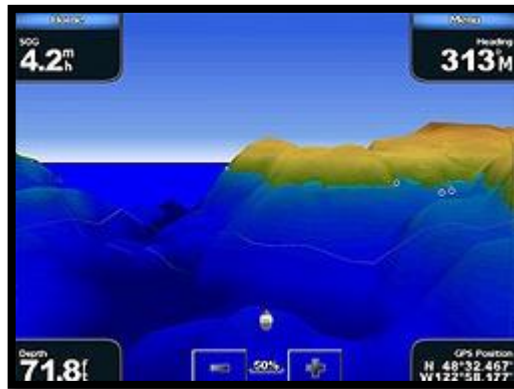


Figura 21: Carta representada por MDS (Garmin, 2010)

#### 2.4.1 Modelos digitais de superfície

Os modelos digitais de superfície são uma representação tridimensional dos dados coletados em campo. Esta representação tem se tornado comum com o advento da computação, que permitiu trabalhar com longas séries de dados e com a visualização de objetos no próprio computador. As vantagens de um MDS estão principalmente na semelhança que este pode possuir com o terreno, facilitando a interpretação do usuário. Também é uma grande vantagem, por estar em meio digital, seu uso associado a algum programa que permita realizar medições no mesmo, o que resulta em informações precisas e em tempo real, principalmente para navegação. Em compensação, há algumas deficiências nesta técnica, pois para ela ser confiável, é necessário haver um grande número de observações, o que resulta em um pequeno valor de erro, tanto devido à interpolação realizada quanto pela precisão do dado.

A criação de um MDS constitui-se basicamente de 3 etapas: definição da malha, definição do interpolador e avaliação do resultado. Há dois tipos de malha, cada um com seus devidos interpoladores, que serão explicados no próximo parágrafo. Já a avaliação do trabalho é realizada analisando a precisão gerada através das informações dos dados e da interpolação, que também podem ser comparados a pontos experimentais em campo, para realizar uma comparação entre o modelo e o terreno.

A primeira malha a ser discutida é a malha regular. Esta malha se caracteriza por ser uma matriz regular de pontos, onde os pontos coletados em campo são dispostos sobre esta matriz. Sendo assim, é pouco possível que os pontos do terreno coincidam com os pontos da matriz, o que torna necessário o uso de interpoladores para definir os valores dos pontos da matriz em função dos pontos do terreno. Há uma grande variedade

de interpoladores, que devem ser escolhidos conforme as necessidades e características de cada um destes. Dentre os principais pode-se citar os seguintes interpoladores:

- Vizinho mais próximo;
- Inverso da distância;
- Splines;
- Krigagem.

Quanto às malhas irregulares, estas utilizam os próprios pontos levantados como vértices. A ligação destes vértices é a chamada poligonização ou triangulação, sendo a triangulação de Delaunay um dos métodos mais utilizados atualmente. Uma das principais vantagens deste método é que, como os vértices são os próprios pontos, nestes há uma precisão considerável em relação ao terreno.

Comparando as duas malhas, pode-se dizer que a geração e armazenamento da grade regular é mais fácil, do que a irregular, pois na primeira são armazenadas coordenadas somente, enquanto no segundo são armazenadas coordenadas e as ligações entre os pontos. Em compensação, a grade irregular permite avaliar melhor a distribuição dos pontos, o que torna possível ver possíveis vazios no terreno. Em relação à visualização, a grade regular apresenta maior suavidade em comparação à irregular, que, se não for utilizado um filtro suavizador, torna-se angulosa, o que a deixa menos realista.

## 2.5 Ajustamento de observações

Uma das mais poderosas ferramentas matemáticas utilizadas na cartografia é o *ajustamento de observações*. Esta ferramenta consiste em um conjunto de matrizes e equações que permite a solução de diversos problemas, fornecendo inclusive a qualidade desta solução. O princípio básico do ajustamento está na *redundância de observações*, ou seja, é necessário um número maior de observações do que de parâmetros. A matemática envolvida neste assunto utiliza o *método dos mínimos quadrados* para que a solução encontrada do problema resulte nos menores resíduos possíveis. Ao final de um ajustamento, também é possível realizar uma análise estatística do mesmo, cuja função é validar o ajustamento (Gemael, 1994).

São três os modelos mais comuns de ajustamento: *paramétrico*, *correlatos* e *combinado*. A diferença entre estes modelos, no quesito aplicabilidade, está em como

são formuladas as equações de condição. Estas equações são a relação matemática entre os parâmetros e as observações. A *Tabela 3* apresenta estes três métodos (Gemael, 1994).

<b>Método</b>	<b>Descrição</b>	<b>Vantagem</b>	<b>Desvantagem</b>
<b>Paramétrico</b>	Método utilizável quando é possível isolar de um lado da equação as observações.	Fácil de utilizar.	Nem sempre é possível isolar as observações.
<b>Correlatos</b>	Método utilizável quando é possível trabalhar somente com as observações.	Fácil de utilizar.	É difícil encontrar aplicabilidade prática.
<b>Combinado</b>	Método utilizável em qualquer sistema.	Não há restrições.	Grande número de operações.

*Tabela 3: Modelos de ajustamento de observações (Gemael, 1994)*

O uso de cada método varia conforme a necessidade e a compatibilidade das equações com o método. O método combinado é utilizável por qualquer problema, sob o custo de pesadas contas. Já os dois outros métodos são, na verdade, uma simplificação do método combinado, adequadas para situações específicas (Gemael, 1994).

### 2.5.1 Considerações iniciais do ajustamento de observações

Inicialmente, é necessário apresentar e definir dois elementos básicos do ajustamento, conhecidos como observações e parâmetros. As observações são um conjunto de elementos dos quais se possui informação sobre o mesmo e sua qualidade – desvio padrão. Já os parâmetros são representados pelas variáveis, as quais estão relacionadas às observações através de equações, mas não possuem um valor conhecido (Gemael, 1994).

Um terceiro elemento importante para o ajustamento é justamente as equações de condição, que são um conjunto de equações que permite relacionar as observações com os parâmetros. Conforme a forma destas equações pode-se decidir entre qual dos modelos de ajustamentos irá se utilizar (Gemael, 1994).

Além destes conceitos, também pode haver outros tipos de dados no ajustamento, como as injunções, que não serão tratadas neste trabalho. O uso de outros modelos de ajustamento também não serão tratados, mas podem ser encontrados na bibliografia indicada (Gemael, 1994).



### 2.5.2 Ajustamento paramétrico simples

O ajustamento paramétrico simples pode ser utilizado quando as equações de condição permitem que sejam isolados os parâmetros das observações. A seguir, são apresentados os vetores e matrizes utilizados para realização deste ajustamento (Gemaël, 1994).

$$\begin{aligned}
 X_0 &= \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_m \end{bmatrix} \\
 L_b &= \begin{bmatrix} o_1 \\ \vdots \\ o_n \end{bmatrix} \\
 P &= \sigma_0^2 \cdot \Sigma_{L_b}^{-1} \\
 F(X_0) &= \begin{cases} f_1(X_0) = o_1 \\ \vdots \\ f_n(X_0) = o_n \end{cases} \\
 L_0 &= F(X_0) \\
 A &= \left. \frac{\partial F}{\partial X_a} \right|_{X_0} \\
 L &= L_0 - L_b \\
 N &= A^t \cdot P \cdot A \\
 U &= A^t \cdot P \cdot L \\
 X &= -N^{-1} \cdot U \\
 X_a &= X_0 + X \\
 \Sigma_{X_a} &= \sigma_0^2 \cdot N^{-1}
 \end{aligned}$$

**Equação 13: Modelo utilizado no ajustamento pelo método paramétrico**

Onde:

- $x_m$  representa os parâmetros, onde o  $m$  é o índice do parâmetro;
- $o_n$  representa as observações, onde o  $n$  é o índice da observação;
- $\sigma_0^2$  representa o sigma a priori ao quadrado, que pode ser considerado um valor qualquer, que será utilizado também no teste estatístico – mais detalhes sobre o teste estatístico podem ser encontrados na bibliografia;
- $\Sigma_{L_b}$  representa a matriz variância-covariância das observações;

- $A$  representa a matriz Jacobina do sistema de funções, derivada em relação aos parâmetros;
- $X_a$  representa o vetor das observações ajustadas;
- $\Sigma_{X_a}$  representa a matriz variância-covariância dos parâmetros ajustados.

Há dois pontos que merecem destaque nas informações acima. O primeiro diz respeito ao vetor  $X_0$ , consistido dos parâmetros iniciais do ajustamento. Estes parâmetros são aproximações do valor real dos mesmos, que são informados ao ajustamento. Se o sistema de equações for linear, qualquer valor é aceito como aproximação, mas se o sistema for não-linear, a qualidade desta aproximação influencia diretamente no método. O segundo ponto fala exatamente da solução de problemas com funções não lineares, pois nesta situação, a solução do ajustamento vem pelo método iterativo. Quando um sistema é não-linear, após a primeira solução deste ajustamento, os dados encontrados são informados novamente como sendo os parâmetros iniciais, e então os cálculos são refeitos e assim é obtido um novo valor, e assim sucessivamente. O número de iterações depende da qualidade que se deseja obter. Estas duas observações são válidas também para os demais modelos aqui apresentados (Gemael, 1994).

### 2.5.3 Ajustamento por correlatos

Em certas ocasiões, é possível que se deseje ajustar somente as observações, que possuem uma dependência fixa entre si. O ajustamento por correlatos permite realizar este tipo de ajustamento. Como exemplo deste modelo, pode-se citar o ajustamento dos ângulos de um triângulo, que, necessariamente, devem somar 180 graus. A seguir serão apresentados os vetores e matrizes deste método, a exceção dos que já foram definidos na seção 2.5.2 (Gemael, 1994).

$$F(L_b) = \begin{cases} f_1(L_b) = r_1 \\ \vdots \\ f_{n'}(L_b) = r_{n'} \end{cases}$$

$$W = F(L_b)$$

$$B = \left. \frac{\partial F}{\partial L_a} \right|_{L_b}$$

$$M = B \cdot P^{-1} \cdot B^t$$

$$K = -M^{-1} \cdot W$$

$$V = P^{-1} \cdot B^t \cdot K$$

$$L_a = L_b + V$$

$$\Sigma_{L_a} = \Sigma_{L_b} \cdot (I - B^t \cdot M^{-1} \cdot B \cdot P^{-1})$$

**Equação 14: Modelo utilizado no ajustamento pelo método de correlatos**

Onde:

- $r_{n'}$  representa os resíduos das equações de observação, onde  $n'$  é o índice do resíduo;
- $B$  representa a matriz Jacobina do sistema de funções, derivada em função das observações;
- $L_a$  representa o vetor das observações ajustadas;
- $\Sigma_{L_a}$  representa a matriz variância-covariância das observações ajustadas.

#### 2.5.4 Ajustamento combinado simples

O último modelo de ajustamento aqui apresentado é o combinado, que pode ser utilizado em inúmeras aplicações, desde que seja obedecida a condição que haja mais observações do que parâmetros. A seguir, serão apresentados os vetores e matrizes deste método.

$$F(X_0, L_b) = \begin{cases} f_1(X_0, L_b) = r_1 \\ \vdots \\ f_{n'}(X_0, L_b) = r_{n'} \end{cases}$$

$$W = F(X_0, L_b)$$

$$M = B \cdot P^{-1} \cdot B^t$$

$$X = -(A^t \cdot M^{-1} \cdot A)^{-1} \cdot A^t \cdot M^{-1} \cdot W$$

$$X_a = X_0 + X$$

$$K = -M^{-1} \cdot (A \cdot X + W)$$

$$V = P^{-1} \cdot B^t \cdot K$$

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{V^t \cdot P \cdot V}{S}$$

$$\Sigma_{X_a} = \hat{\sigma}_0^2 \cdot (A^t \cdot M^{-1} \cdot A)^{-1}$$

**Equação 15: Modelo utilizado no ajustamento pelo método combinado**

## 2.6 Cálculo numérico e programação

Nesta seção serão apresentadas duas ferramentas muito úteis no ramo da engenharia: o cálculo numérico e a programação de computadores. O cálculo numérico é a área da matemática responsável pela solução de problemas complexos, que não possuem uma solução padrão. Dentre os problemas mais comuns solucionados pelo cálculo numérico estão os sistemas de equações não lineares, integrais, equações diferenciais, dentre outros problemas (Burden, et al., 2003).

Já a programação de computadores fornece um método mais eficiente de realização de cálculos do que as calculadoras ou planilhas de cálculo. Embora haja a necessidade de aprender uma linguagem de programação, esta é uma ferramenta extremamente versátil, que permite não só a execução dos cálculos, como a determinação do seu método e a visualização gráfica do resultado, fora o fato de que, após concluído, o programa executa a ação programada de forma imediata, tornando mais rápido o processo de cálculos (Jamsa, et al., 1999; Stroustrup, 2000).

## 3 Materiais e Métodos

### 3.1 Materiais utilizados

Esta seção é dividida em duas partes: uma para recursos humanos e outra para recursos materiais.

#### 3.1.1 Recursos humanos

A *Tabela 4* apresenta o quadro técnico necessário para realização do levantamento.

ID	Pessoal	Uso
1.	Engenheiro Cartógrafo	Realização do trabalho.
2.	Supervisor	Orientação do trabalho.
3.	Supervisor de batimetria	Orientação e auxílio na realização do levantamento batimétrico.
4.	Assistentes	Auxílio nos levantamentos topográfico e hidrográfico
5.	Motorista	Dirigir o transporte utilizado nas saídas de campo.
6.	Piloto	Pilotar a embarcação utilizada no levantamento hidrográfico.

Tabela 4: Equipe necessária

#### 3.1.2 Recursos materiais

As três tabelas a seguir apresentam, respectivamente, o material necessário para realização do levantamento batimétrico, o material necessário para o levantamento topográfico e o material necessário para o processamento dos dados.

<b>ID</b>	<b>Equipamento</b>	<b>Uso</b>
7.	Ecobatímetro	Obtenção das medidas de profundidade.
8.	Embarcação	Meio de transporte para realização do levantamento hidrográfico, incluindo combustível.
9.	Sistema de navegação GPS	Auxílio para navegação da embarcação.
10.	Receptor DGPS	Coleta de pontos cuja profundidade foi medida pelo ecobatímetro.
11.	Suprimentos	Papel, caneta, pilhas, e demais materiais de campo.
12.	Transporte	Transporte para ir ao local do levantamento, incluindo combustível.

Tabela 5: Equipamentos do levantamento batimétrico

<b>ID</b>	<b>Equipamento</b>	<b>Uso</b>
13.	Estação total	Realização do levantamento topográfico.
14.	Prisma	Refletor para o MED da estação total.
15.	Receptor GNSS geodésico	Par de receptores com objetivo de obtenção das coordenadas dos pontos de apoio.
16.	Suprimentos	Piquetes, prancheta, papel, lápis, borracha e demais materiais de campo.
17.	Transporte	Transporte para ir ao local do levantamento, incluindo combustível.

Tabela 6: Equipamentos do levantamento topográfico

<b>ID</b>	<b>Equipamento</b>	<b>Uso</b>
18.	Computador e periféricos	Realização do processamento de dados e elaboração do relatório. Inclui impressora, teclado, mouse, scanner e som.
19.	Local	Base para realização do trabalho.
20.	Material bibliográfico	Livros e material de pesquisa necessários durante a realização do trabalho.
21.	Programas	Softwares associados à realização do trabalho, como editor de texto, CAD, gerador de superfícies, etc.
22.	Suprimentos	Materiais de escritório, como papel, caneta, tinta para impressora, etc.

Tabela 7: Equipamentos necessários em escritório

### 3.2 Orçamento dos materiais

A seguir, serão apresentados os orçamentos dos materiais utilizados, supondo o caso deste serviço ser prestado por uma empresa. Da mesma forma que na seção anterior, os materiais são divididos conforme sua função. Ao fim da seção, é apresentado o orçamento final do projeto, assim como a fonte de recursos para realização do mesmo.

Os materiais que possuem seu custo em função do tempo utilizado contabilizam este tempo em dias.

#### 3.2.1 Orçamento da equipe

ID	Qtd.	Meses	Diárias	Custo	Custo/Dia	Total
1.	1	1	-	R\$ 3.500,00	-	R\$ 3.500,00
2.	1	1	-	R\$ 6.000,00	-	R\$ 6.000,00
3.	1	-	1	-	R\$ 200,00	R\$ 200,00
4.	2	-	3	-	R\$ 45,00	R\$ 270,00
5.	1	-	3	-	R\$ 25,00	R\$ 75,00
6.	1	-	1	-	R\$ 25,00	R\$ 25,00
<b>Total</b>						<b>R\$ 10.070,00</b>

Tabela 8: Orçamento da equipe

## 3.2.2 Orçamento do material

ID	Qtd.	Diárias	Custo	Custo/Dia	Total
7.	1	1	-	R\$ 150,00	R\$ 150,00
8.	1	1	-	R\$ 150,00	R\$ 150,00
9.	1	-	R\$ 1.200,00	-	R\$ 1.200,00
10.	1	1	-	R\$ 50,00	R\$ 50,00
11.	-	-	R\$ 100,00	-	R\$ 100,00
12.	1	1	-	R\$ 50,00	R\$ 50,00
<b>Total</b>					<b>R\$ 1.700,00</b>

Tabela 9: Orçamento dos materiais do levantamento hidrográfico

ID	Qtd.	Diárias	Custo	Custo/Dia	Total
13.	1	2	-	R\$ 120,00	R\$ 240,00
14.	2	2	-	R\$ 40,00	R\$ 80,00
15.	1	1	-	R\$ 150,00	R\$ 150,00
16.	-	-	R\$ 150,00	-	R\$ 150,00
17.	1	2	-	R\$ 50,00	R\$ 100,00
<b>Total</b>					<b>R\$ 720,00</b>

Tabela 10: Orçamento dos materiais do levantamento topográfico

ID	Qtd.	Diárias	Custo	Custo/Dia	Total
18.	1	-	R\$ 5.000,00	-	R\$ 5.000,00
19.	1	30	-	R\$ 20,00	R\$ 600,00
20.	-	-	R\$ 1.500,00	-	R\$ 1.500,00
21.	-	-	R\$ 2.500,00	-	R\$ 2.500,00
22.	-	-	R\$ 500,00	-	R\$ 500,00
<b>Total</b>					<b>R\$ 10.100,00</b>

Tabela 11: Orçamento dos materiais de escritório



### 3.2.3 Orçamento final e fonte de recursos

<b>Etapa</b>	<b>Custo</b>
<b>Equipe</b>	R\$ 10.070,00
<b>Levantamento hidrográfico</b>	R\$ 1.700,00
<b>Levantamento topográfico</b>	R\$ 720,00
<b>Equipamento de escritório</b>	R\$ 10.100,00
<b>Total</b>	<b>R\$ 22.590,00</b>

Tabela 12: Orçamento final



Figura 22: Gráfico das fontes de recursos

### 3.2.4 Orçamento real

Como o trabalho em questão não foi realizado com o intuito comercial, é apresentado também o orçamento real do trabalho. Neste orçamento são considerados apenas os gastos ocorridos, desconsiderando o uso de equipamentos e materiais que já eram possuídos pelo aluno ou que foram cedidos pela universidade.

<b>Material</b>	<b>Unidades</b>	<b>Custo unitário</b>	<b>Custo total</b>
Gasolina	150 l	R\$ 2,50	<b>R\$ 375,00</b>
Diesel	25 l	R\$ 2,10	<b>R\$ 52,50</b>
Refeição	8 un.	R\$ 12,00	<b>R\$ 96,00</b>
Diárias	2	R\$ 170,00	<b>R\$ 340,00</b>
<b>Total</b>			<b>R\$ 863,50</b>

Tabela 13: Orçamento real do projeto

### 3.3 Cronogramas

Basicamente, são necessários dois cronogramas para execução de um trabalho: um cronograma físico e um cronograma financeiro. Nas duas próximas seções, são apresentados e explicados estes dois cronogramas.

#### 3.3.1 Cronograma físico teórico

O cronograma físico teórico do trabalho demonstra a carga horária dedicada a cada tarefa do mesmo, conforme a listagem abaixo. Este cronograma representa as tarefas desenvolvidas na faculdade com o fim de realizar este trabalho de conclusão.

- A. Revisão bibliográfica;
- B. Levantamento topográfico;
- C. Levantamento hidrográfico;
- D. Processamento dos dados;
- E. Geração da carta hidrográfica;
- F. Apresentação do trabalho;

Tarefa	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	
A.	■	■	■	■	■	■	
B.					■	■	
C.					■		
D.					■	■	
E.						■	■
F.							■

Tabela 14: Cronograma físico do trabalho

#### 3.3.2 Cronograma físico de execução

Este cronograma simula o tempo necessário para realização do levantamento em uma situação real.

- A. Reconhecimento do local;
- B. Levantamento topográfico;
- C. Levantamento hidrográfico;
- D. Processamento dos dados;
- E. Geração da carta;
- F. Entrega do material;

Tarefa	1ª Semana	2ª Semana	3ª Semana	4ª Semana
A.	█ █ █ █ █			
B.		█ █ █ █ █		
C.		█ █ █ █ █		
D.		█ █ █ █ █	█ █ █ █ █	
E.			█ █ █ █ █	█ █ █ █ █
F.				█ █ █ █ █

Tabela 15: Cronograma empresarial

A simbologia utilizada neste cronograma considera os seguintes padrões para as cores nele apresentadas:

- Preto: fins de semana;
- Cinza escuro: data para realização da tarefa;
- Cinza claro: prazo máximo para realização da tarefa.

O prazo excedente foi considerado pela razão da possibilidade de ocorrência de imprevistos durante a realização do levantamento. Sendo assim, o ideal é que o levantamento seja realizado cumprindo o cronograma apresentado em cinza escuro, mas, se por acaso houver contratempos, poderá se estender até o limite da demarcação em cinza claro.

### 3.3.3 Cronograma fiscal

O cronograma fiscal demonstra o gasto semanal do trabalho, conforme o cronograma da seção 3.3.2. Estes gastos são os mesmos estimados no orçamento do trabalho, na seção 3.2.

Item	1ª Semana	2ª Semana	3ª Semana	4ª Semana	Total
1.				R\$ 3.500,00	<b>R\$ 3.500,00</b>
2.				R\$ 6.000,00	<b>R\$ 6.000,00</b>
3.	R\$ 200,00				<b>R\$ 200,00</b>
4.	R\$ 270,00				<b>R\$ 270,00</b>
5.	R\$ 75,00				<b>R\$ 75,00</b>
6.	R\$ 25,00				<b>R\$ 25,00</b>
7.	R\$ 150,00				<b>R\$ 150,00</b>
8.	R\$ 150,00				<b>R\$ 150,00</b>
9.	R\$ 1.200,00				<b>R\$ 1.200,00</b>
10.	R\$ 50,00				<b>R\$ 50,00</b>
11.	R\$ 100,00				<b>R\$ 100,00</b>
12.	R\$ 50,00				<b>R\$ 50,00</b>
13.	R\$ 240,00				<b>R\$ 240,00</b>
14.	R\$ 80,00				<b>R\$ 80,00</b>
15.	R\$ 150,00				<b>R\$ 150,00</b>
16.	R\$ 150,00				<b>R\$ 150,00</b>
17.	R\$ 100,00				<b>R\$ 50,00</b>
18.	R\$ 5.000,00				<b>R\$ 5.000,00</b>
19.				R\$ 600,00	<b>R\$ 600,00</b>
20.		R\$ 500,00	R\$ 500,00	R\$ 500,00	<b>R\$ 1.500,00</b>
21.	R\$ 1.000,00	R\$ 1.500,00			<b>R\$ 2.500,00</b>
22.	R\$ 125,00	R\$ 125,00	R\$ 125,00	R\$ 125,00	<b>R\$ 500,00</b>
<b>Totais</b>	<b>R\$ 9.115,00</b>	<b>R\$ 2.125,00</b>	<b>R\$ 625,00</b>	<b>R\$ 10.725,00</b>	<b>R\$ 22.590,00</b>

Tabela 16: Cronograma fiscal do trabalho

### 3.4 Realização do levantamento

Para realização do trabalho aqui proposto, o primeiro a ser seguido é a escolha do local. Esta escolha deve ser feita de forma a permitir o menor tempo de deslocamento possível com translados até o local de trabalho, o que gera um gasto não somente de capital como também de tempo. Sendo assim, as características necessárias para a escolha do local são:

- Local próximo à marina que será a base de operações;
- Possibilidade de atracar na margem da ilha ou local onde será realizado o levantamento;
- Corpo d'água com profundidade suficiente para realizar a batimetria;
- Escolha da época de levantamento propícia, com condições favoráveis a realização dos trabalhos;
- Locais com visibilidade para coleta de dados.

Além destes fatores, é necessário também considerar que, como o levantamento dura normalmente os turnos da manhã e tarde, é necessário levar suprimentos nestas saídas de campo.

Com o local definido, deve ser planejada a poligonal para realização do levantamento topográfico. Esta poligonal deve permitir que sejam visados seus próprios pontos, além das margens do local onde será realizado o levantamento. No caso de haver regiões onde não seja possível utilizar o ecobatímetro, estas podem ser levantadas com a topografia. Durante o levantamento, também devem ser coletados dois pontos da poligonal, para amarração geodésica desta. É previsto o uso de um ou dois dias para realização deste levantamento.

Já o levantamento batimétrico deve ser realizado de forma mais simples. Antes do levantamento, é necessário verificar a funcionabilidade do equipamento e definir as rotas e limites da área a ser levantada. O processo de medição deve ser executado percorrendo a região delimitada, evitando deixar áreas de vazio na região. Este controle pode ser realizado com o auxílio do receptor GPS de navegação, que permite não só a delimitação da área como também a demarcação da rota já percorrida. Ao todo, o levantamento hidrográfico deve durar aproximadamente um dia.

Um ponto importante a ser considerado em ambos os levantamentos é o nível do rio no dia. Como os levantamentos não serão realizados na mesma data, é possível que haja uma variação no nível da água entre estas datas. Havendo o registro do nível do rio

nestas datas, é possível determinar o nível médio do rio através da comparação dos dados coletados com os registros provenientes do monitoramento que a marinha realiza sobre o nível do rio.

### 3.5 Processamento dos dados

Realizados os levantamentos, há a necessidade de baixar os dados coletados para o computador e processá-los. Como os dados são provenientes de duas fontes diferentes, a compatibilização entre estes dados é um passo importante do processamento dos mesmos.

Os primeiros dados a serem processados são provenientes do levantamento topográfico. Durante o levantamento, são coletadas informações sobre ângulos e distâncias medidos em campo. Através das equações mostradas na seção 2.2, é possível transformar estas informações em coordenadas cartesianas locais ou globais. Para realização deste processo, primeiramente deve-se obter as coordenadas dos pontos de apoio levantados em campo. Se estas coordenadas forem coletadas como coordenadas cartesianas, é necessário transformá-las para um sistema topográfico local, conforme indicado na seção 2.2.5. Caso elas sejam coletadas como coordenadas projetadas UTM, não há necessidade desta transformação, mas, em compensação, o sistema UTM é uma projeção, o que traz um erro sistemático associado. Para calcular as coordenadas dos pontos irradiados e dos pontos da poligonal, é possível utilizar um ajustamento com o método paramétrico, conforme indicado na seção 2.5. Ao final, é gerada uma lista de coordenadas no sistema topográfico local, que pode ser transformada novamente em um sistema cartesiano global.

Após serem processados os dados do levantamento topográfico, há a necessidade de processar os dados do levantamento hidrográfico. Novamente, é necessário transformar as coordenadas dos pontos de cartesiano global para local, mas tomando o cuidado de utilizar os mesmos pontos de apoio do levantamento topográfico como pontos iniciais para esta transformação. Com os pontos no sistema local, é possível determinar as coordenadas dos pontos no fundo do corpo d'água simplesmente subtraindo a profundidade da coordenada  $z$  medida. Pronto este processo, estará criada outra lista de coordenadas, compatível com a primeira, que irão compor a carta hidrográfica a ser gerada neste trabalho.

É válido lembrar que, como os pontos utilizados para a conversão entre os sistemas local e global podem ser os mesmos tanto no levantamento topográfico quanto no hidrográfico, ambas as listas são compatíveis, estando elas no mesmo sistema. Se este detalhe não for considerado, é necessário levar ambas as listas do sistema local para o global, utilizando seus respectivos pontos de transformação, e então unir estas listas, podendo passá-las novamente para o sistema local sem problemas após esta união.

### 3.6 Criação da carta hidrográfica

Com o conjunto de pontos devidamente processados, é possível gerar o MDS do trabalho. A geração deste MDS pode ser realizada através de diversos programas, tal como Surfer ou ArcGIS. O tipo de coordenada recomendado para esta geração é do sistema local, pois permite uma orientação mais realista do modelo. Em compensação, o uso do sistema de coordenadas globais informa as coordenadas reais do modelo. No caso do MDS, não é necessária escolha da projeção, pois este trabalha de forma tridimensional, considerando a curvatura terrestre e a terra como uma forma tridimensional, ao contrário da carta plana.

Por fim, deve ser criada uma carta hidrográfica tendo como base os padrões da Marinha do Brasil. Ao contrário do MDS, a carta hidrográfica irá possuir informações de profundidades e coordenadas planas, sendo as profundidades referentes ao nível do rio no dia. Idealmente, o nível utilizado deveria ser a média das mínimas do rio.

## 4 Resultados

### 4.1 Definição do local do levantamento

#### 4.1.1 Opções de locais

O trabalho foi planejado para ser executado no Delta do Jacuí, sendo previstos alguns locais mais adequados para realização do mesmo, conforme indicado a seguir.



Figura 23: Proximidades do Clube Navegantes São João, na Ilha do Pavão



Figura 24: Ilhas perto do canal do pólo petroquímico de Triunfo, no Rio Jacuí





Figura 25: Canal do Laje, na Ilha do Laje



Figura 26: Ilha do Lino e Ilha do Laje

#### 4.1.2 Local escolhido e motivos

Dentre estas alternativas, a escolha ficou com a *Figura 26*, localizada ao norte da ilha do Laje. O principal motivo desta escolha é a possibilidade de descer na ilha, o que permite a realização do levantamento topográfico. Também serve como justificativa a proximidade com o iate clube onde a embarcação é guardada – em torno de 15 minutos de navegação. A seguir, são apresentadas algumas imagens do local. Em circunstâncias

comerciais, também se pode justificar a escolha deste local pelo intenso tráfego de embarcações de comércio, o que traz a necessidade de ter o canal principal do rio mapeado de forma atualizada.



Figura 27: Vista da embarcação utilizada com o piloto



Figura 28: Aproximação das ilhas escolhidas



**Figura 29: Outra vista das ilhas escolhidas**



**Figura 30: Um dos pontos onde é possível acessar a ilha**

#### 4.1.3 Características do local

A *Figura 31* mostra em uma imagem mais ampla a localização destas ilhas.



**Figura 31: Localização das ilhas**

A *Figura 32* mostra o local onde será realizado o levantamento.

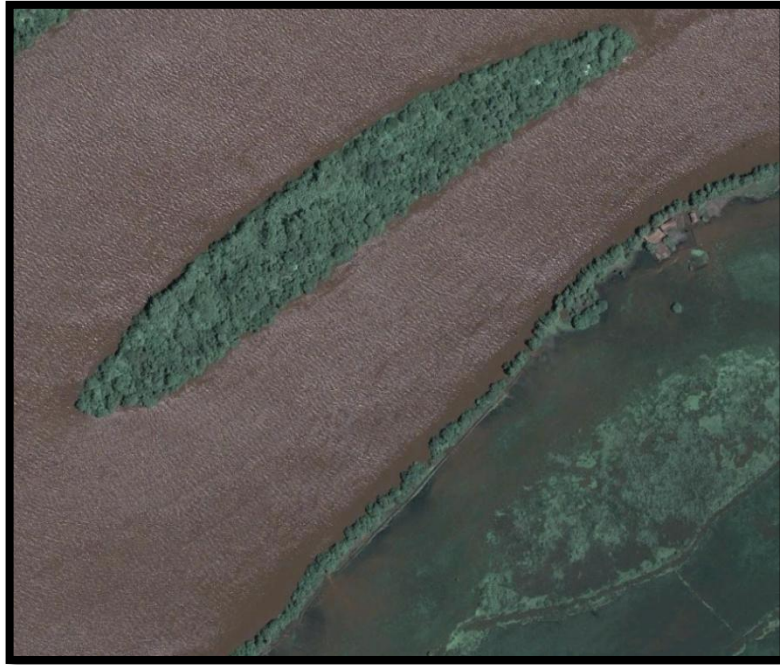


Figura 32: Local do levantamento

A Figura 33 exibe uma análise prévia da região, contendo informações sobre o relevo e solo desta região.

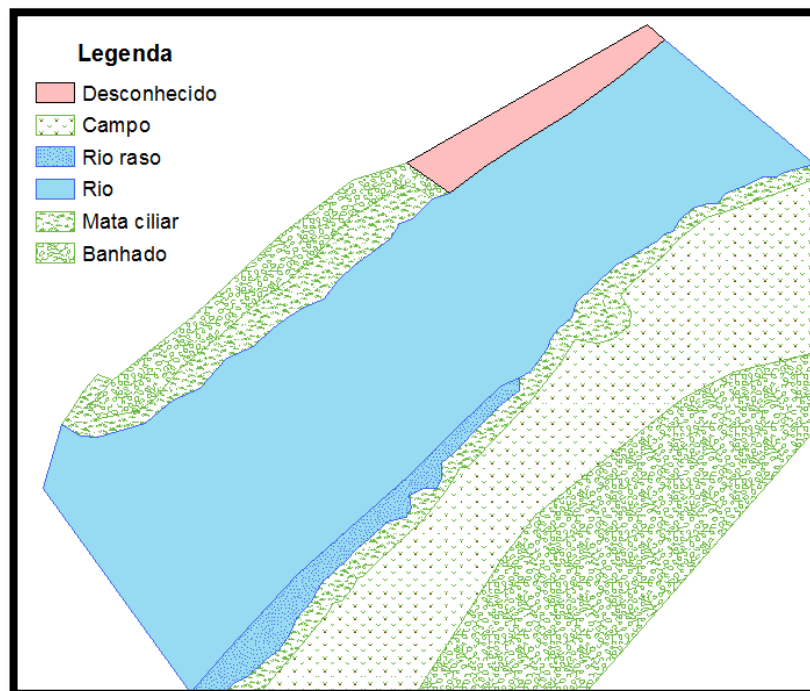


Figura 33: Análise de campo da região escolhida

Já a Figura 34 exibe uma prévia de onde será realizado o levantamento topográfico e batimétrico desta região, bem como as dimensões estimadas do local.

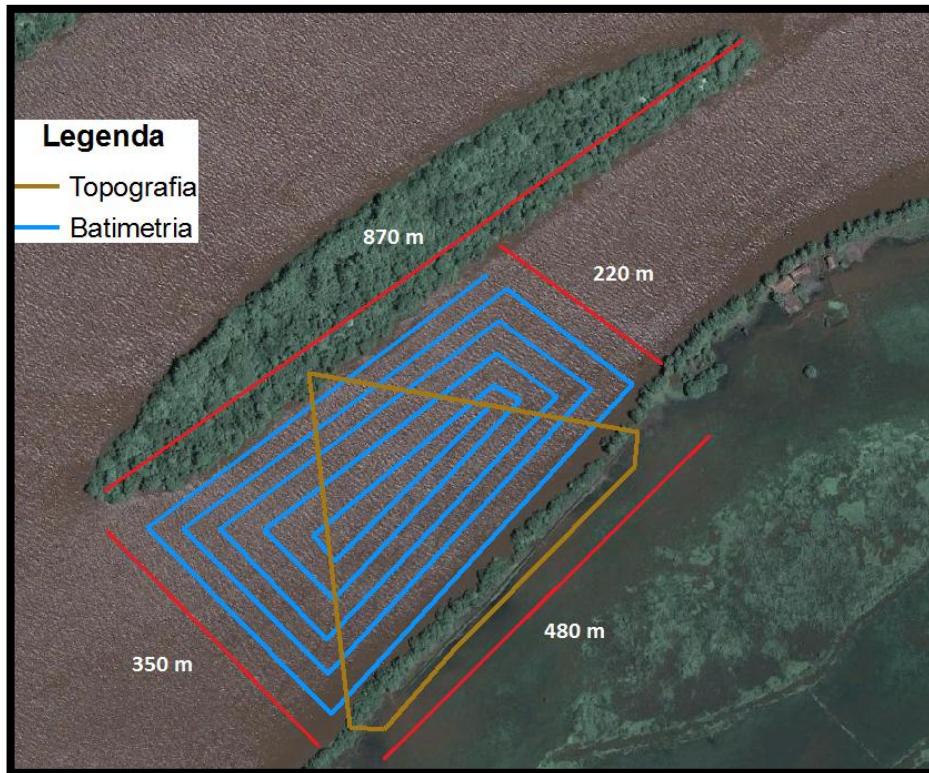


Figura 34: Prévia dos levantamentos e dimensões do local

#### 4.1.4 Imagens características do local



Figura 35: Embarcação naufragada na Ilha do Laje



Figura 36: Nevoeiro intenso, comum em certas épocas do ano



Figura 37: Embarcação de grande porte no canal principal do rio

## 4.2 Levantamento topográfico

O levantamento topográfico foi realizado criando uma poligonal fechada apoiada, da qual foram visados pontos nas margens das Ilhas do Lino e do Laje. Esta poligonal foi constituída por um total de seis pontos, sendo dois deles rastreados através do receptor GNSS. O tempo necessário para realização do levantamento foi de dois dias, o que resultou em aproximadamente 10 horas de levantamento.

Devido a presença intensa de mata ciliar nas margens das ilhas, foi necessário visar os irradiamentos que demarcaram a região de estudo utilizando a estação em uma das ilhas e visando a outra. Este procedimento tornou necessária a presença de pontos

da poligonal em ambas as ilhas, sendo que a Ilha do Laje serviu como localidade para implantação dos pontos rastreados, pois nesta havia áreas de campo que permitiam uma boa recepção para o GNSS. Um esboço da poligonal e dos pontos irradiados pode ser visto na *Figura 38* a seguir.

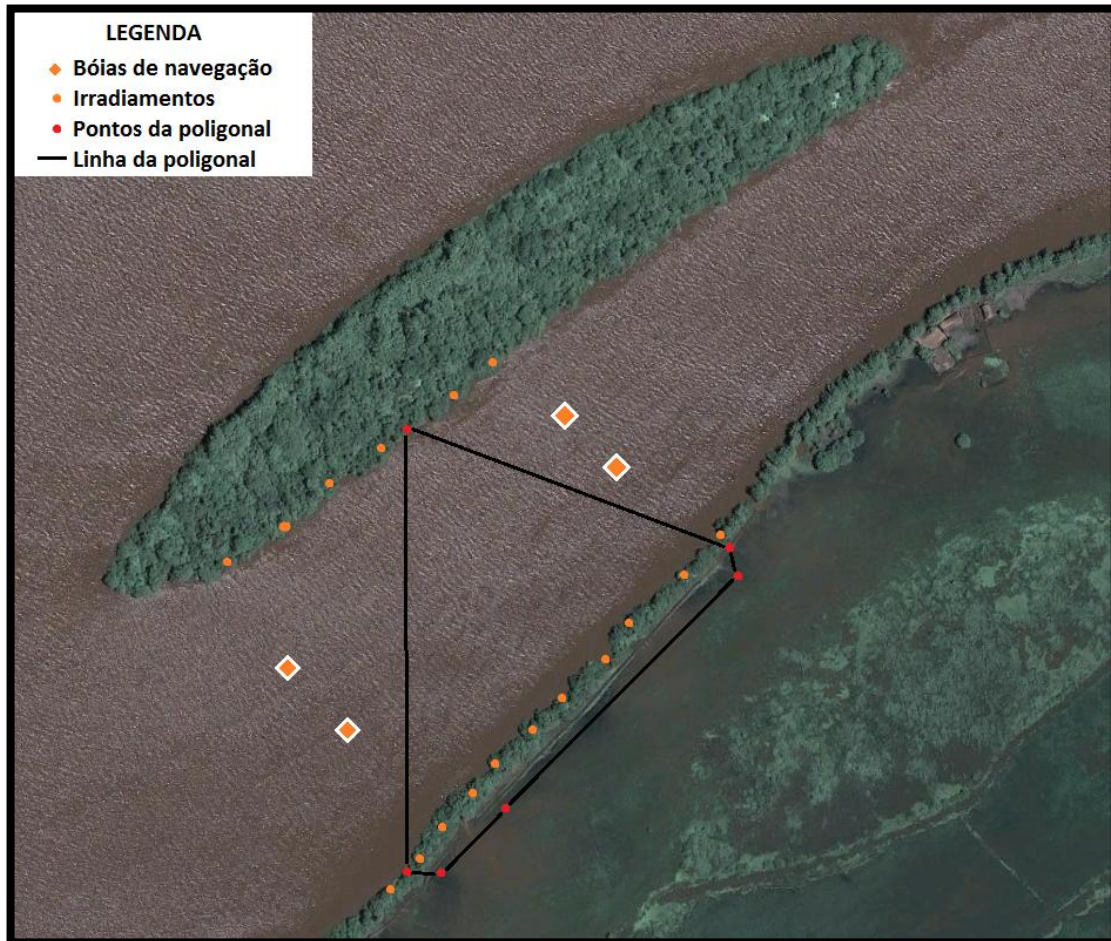


Figura 38: Esboço do levantamento topográfico

O resultado do levantamento topográfico foi uma planilha, passada para o formato Excel, contendo informações referentes a ângulos relativos e distâncias entre pontos. Para estimativa das coordenadas das quatro bóias pertencentes a esta região, foram também medidos os ângulos relativos destas bóias em duas estações, o que permite obter suas coordenadas através do cálculo da interseção entre estas retas.

#### 4.2.1 Equipamentos utilizados no levantamento topográfico

- Estação total Leica;
- Receptores GNSS EPOCH L1/L2;



- Acessórios da estação total;
- Acessórios do GNSS;
- Material de campo.

#### 4.2.2 Imagens do levantamento topográfico

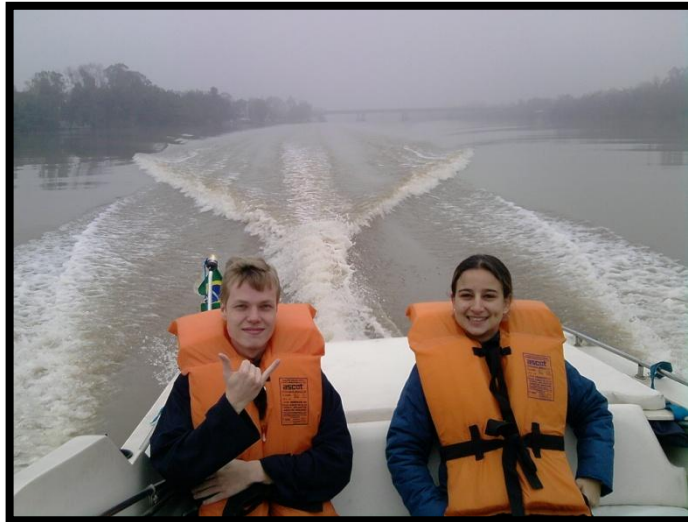


Figura 39: Parte da equipe técnica



Figura 40: Um dos prismas utilizados



**Figura 41: Clube náutico de onde a lancha partiu**



**Figura 42: Campo e banhado na Ilha do Laje**

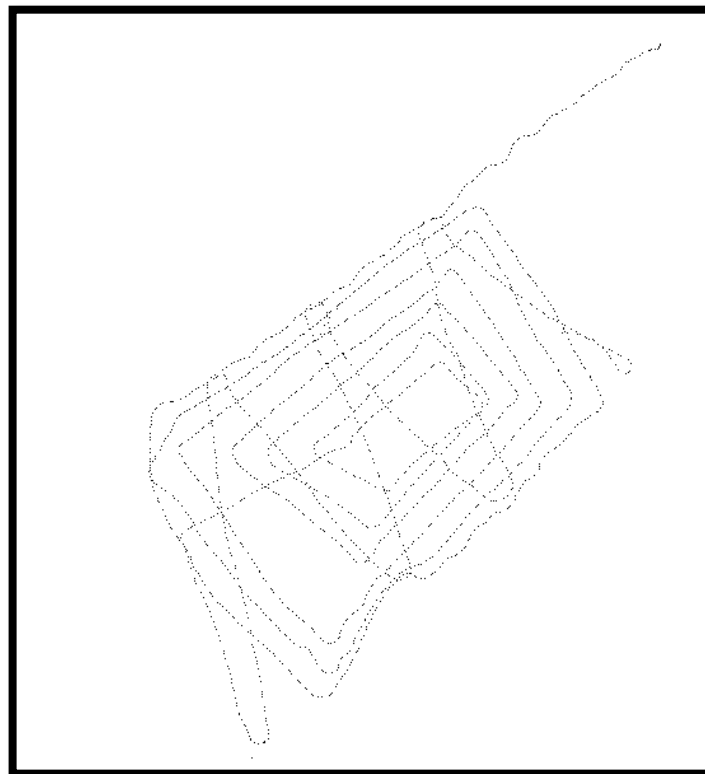


**Figura 43: Um dos pontos irradiados na Ilha do Laje**

### 4.3 Levantamento batimétrico

O levantamento batimétrico é a principal fase deste trabalho, pois se concentra na obtenção das medidas de profundidades necessárias para geração da carta hidrográfica. Esta etapa foi realizada com auxílio do pessoal do IPH (Instituto de Pesquisas Hidráulicas) da UFRGS.

Este levantamento consiste em percorrer um trajeto, cujas coordenadas são definidas através do receptor GNSS, onde são medidas as profundidades deste trajeto através de um ecobatímetro. Com o IPH, foi utilizado uma das embarcações padrão para este tipo de tarefa, que possui um sistema que permite acoplar o receptor GNSS ao ecobatímetro. A *Figura 34* mostra parte do trajeto realizado pela embarcação, sendo que foram realizadas também medidas nas seções transversais do rio, de modo a permitir a detecção correta do canal. Como área limitante para efetuar o levantamento, foram escolhidos os dois pares de bóias do canal – os mesmos definidos no levantamento topográfico.



**Figura 44: Pontos coletados no levantamento batimétrico**

Antes e depois do levantamento, foram tomadas medidas do nível da água, que, neste caso, permaneceu constante durante o levantamento.

#### 4.3.1 Equipamentos utilizados no levantamento batimétrico

- Ecobatímetro Raytheon;
- Receptor GPS Trimble;
- Estrutura de montagem dos equipamentos;
- Embarcação em alumínio de 5 metros;
- Material de campo;
- Equipamentos de segurança da embarcação.

#### 4.3.2 Imagens do levantamento batimétrico



Figura 45: Ecobatímetro e receptor GNSS utilizados no levantamento batimétrico

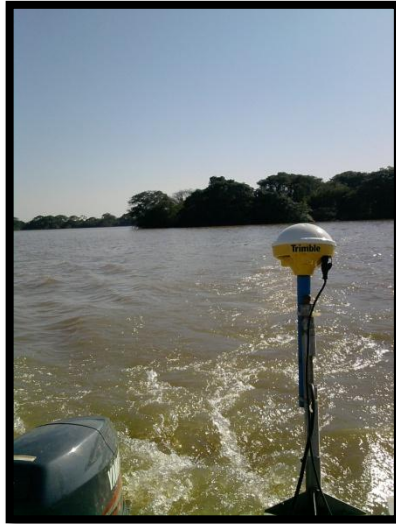


Figura 46: Transdutor e antena GNSS utilizados no levantamento batimétrico



Figura 47: Equipe de campo

#### 4.4 Processamento dos dados

Como já mencionado, os dados provenientes da topografia são uma listagem de ângulos e distâncias, que permitem propagar as coordenadas de um ponto conhecido ou arbitrado. Como pontos conhecidos foram utilizados os dois pontos cujas coordenadas foram rastreadas através do receptor GNSS, denominados  $E_1$  e  $E_2$ . Os demais pontos da poligonal foram denominados  $E_3$  a  $E_6$ , formando assim a poligonal fechada. Os pontos irradiados foram denominados  $P_n$ , onde  $n$  varia de 1 até 20, sendo estes a representação das margens das ilhas, ao nível do rio daquele dia. Utilizando a formulação já indicada, foi gerada uma lista com as coordenadas dos pontos irradiados, assim como dos pontos da poligonal. O controle de erros angulares foi realizado com a verificação da soma dos ângulos internos da poligonal e com a comparação dos azimutes obtidos do primeiro

ponto. O controle dos erros das coordenadas foi realizado também comparando as coordenadas verdadeiras dos pontos iniciais com suas coordenadas calculadas. O erro obtido foi aceitável e distribuído entre os pontos, sendo o erro de fechamento de 0,71 m (tamanho do vetor de erro) e o erro angular de 1,3452°. O sistema de referência destes dados foi adotado como o SIRGAS 2000, por se tratar do sistema padrão do receptor GNSS e também por ser o mesmo utilizado na batimetria. As tabelas com os dados do levantamento topográfico podem ser encontradas no *Anexo I – Tabelas e Planilhas*.

Os dados provenientes da batimetria são outra listagem de pontos, que quando processados no programa do IPH – GPS Pathfinder – já fornecem as coordenadas do fundo do rio. Devido a estas facilidades, os dados não necessitam da realização desta tarefa, de subtrair a profundidade da altitude do ponto, pois o receptor está no nível da água. Como já mencionado, estes dados também estão no sistema SIRGAS 2000, o que possibilita a compatibilização com os dados da topografia.

A união de ambas as listas foi realizada de duas formas, para verificação de possíveis erros. A primeira forma utilizada foi transformar as coordenadas das duas listas para o sistema topográfico local, conforme sugerido na metodologia (seção 3.5), e então unir as listas. A segunda forma foi utilizando a projeção UTM em ambas as listas para unir estes dados em um mesmo sistema projetado. Como o resultado foi idêntico visualmente e devido a projeção UTM proporcionar uma referência espacial melhor que o plano topográfico local, o segundo método foi utilizado para dar continuidade neste trabalho.

#### 4.5 Geração do MDS

Através da lista completa de coordenadas foi possível criar o modelo digital do terreno. Para criação deste, é necessário definir uma malha e um método de interpolação. O conjunto escolhido foi a malha regular e o interpolador por Krigagem. Esta escolha se deve ao fato do relevo do rio possuir uma característica suave, sem muitas irregularidades, o que torna possível e eficiente o uso da Krigagem. A geração do MDS foi feita com o programa Surfer, que criou os dois modelos apresentados a seguir.

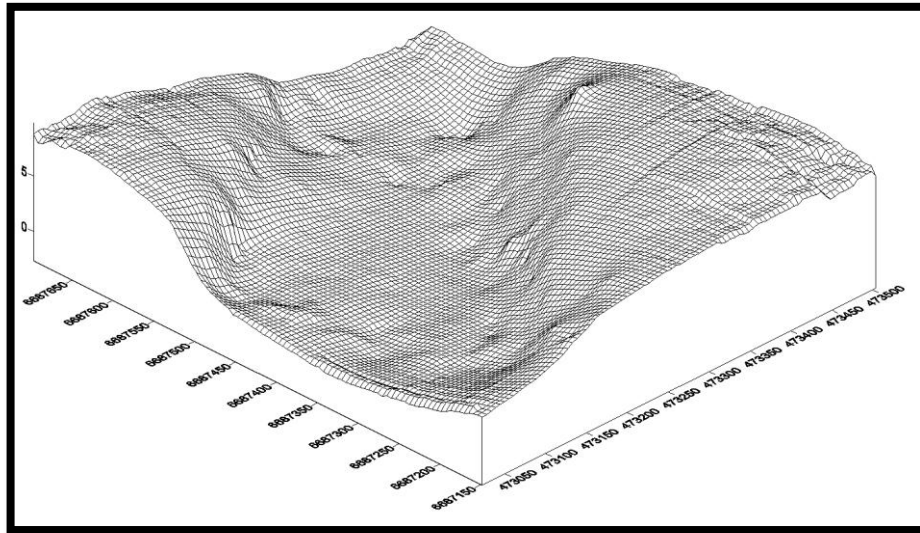


Figura 48: Modelo Wireframe do levantamento

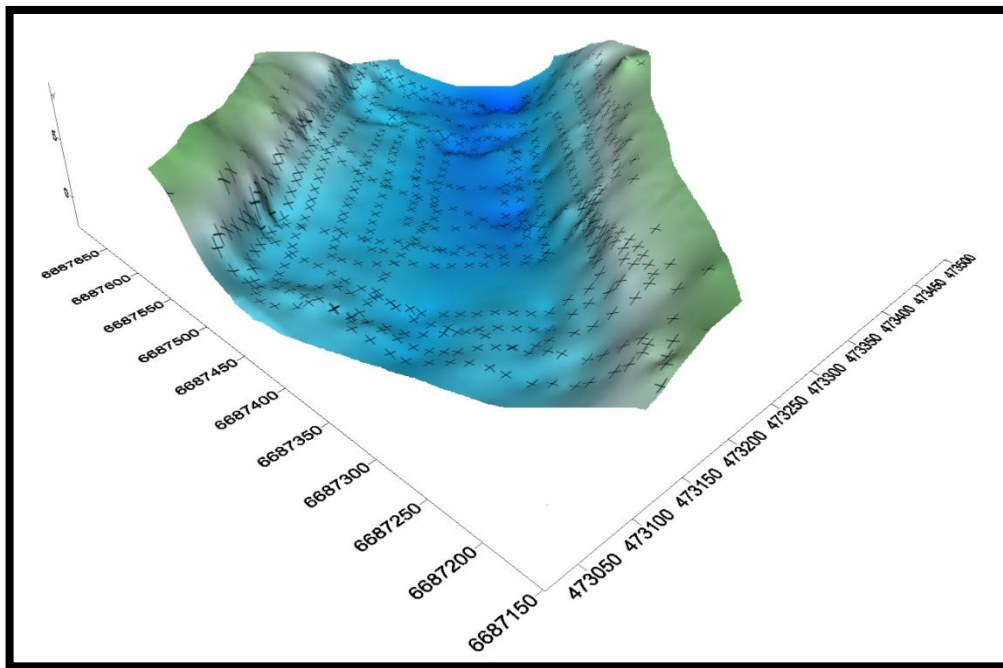


Figura 49: Composição colorida do MDS, com os pontos medidos

#### 4.5.1 Outros modelos com diferentes interpoladores

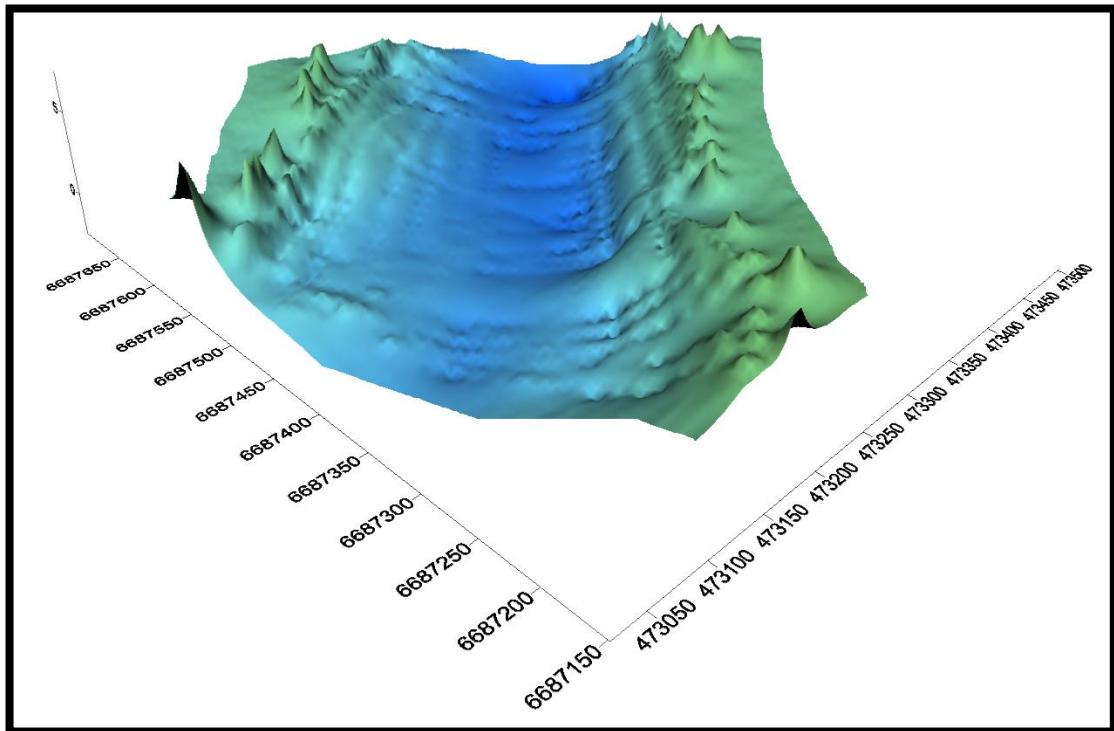


Figura 50: Inverso da distância ao quadrado

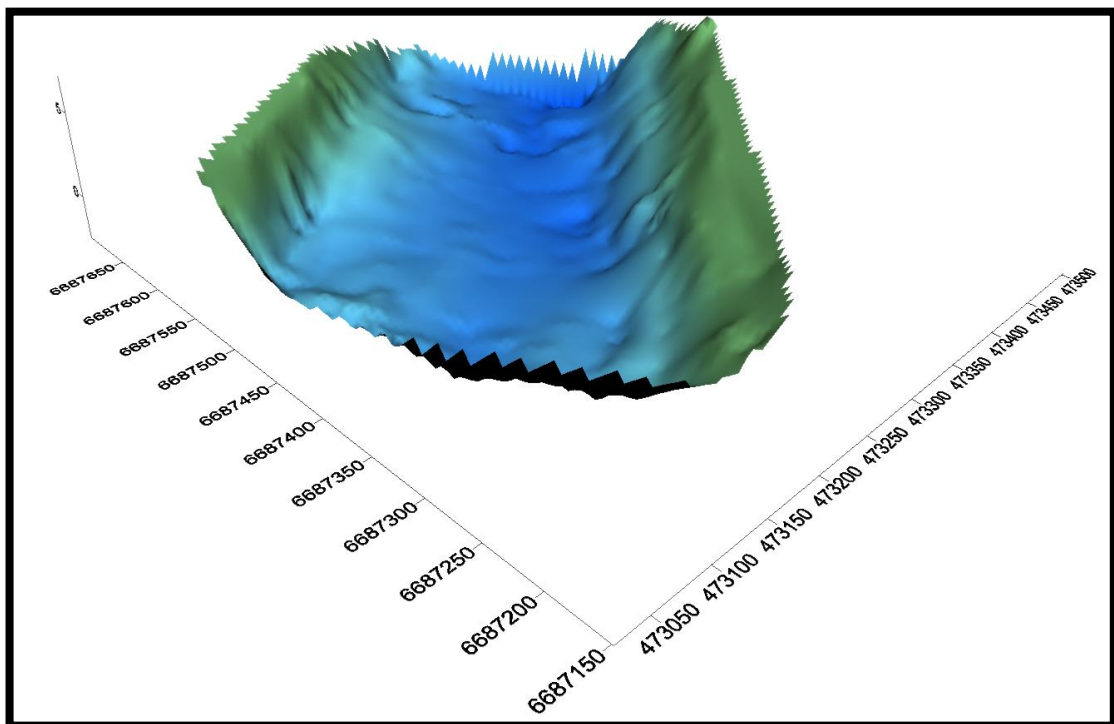


Figura 51: Vizinho natural



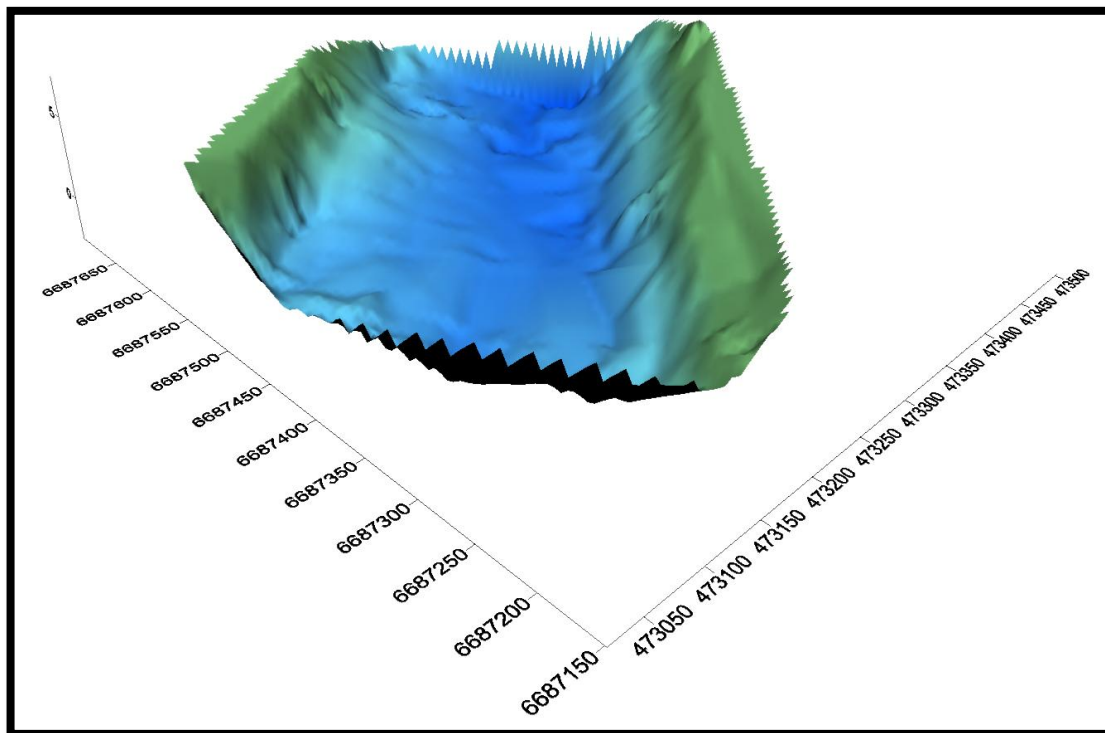


Figura 52: Triangulação

#### 4.6 Geração da carta hidrográfica

O próprio programa Surfer permite que sejam criados planos batimétricos através dos dados fornecidos. Sendo assim, foi gerada também uma prévia da carta hidrográfica, contendo apenas as linhas isobatimétricas. Esta carta pode ser exportada para o programa ArcGIS, onde, além das linhas, foram inseridas informações sobre a localização das margens do rio, posição das bóias de sinalização, demarcação do canal e localização do naufrágio da região. Uma versão preliminar desta carta pode ser encontrada a seguir, e uma versão aprimorada no *anexo III* do trabalho.

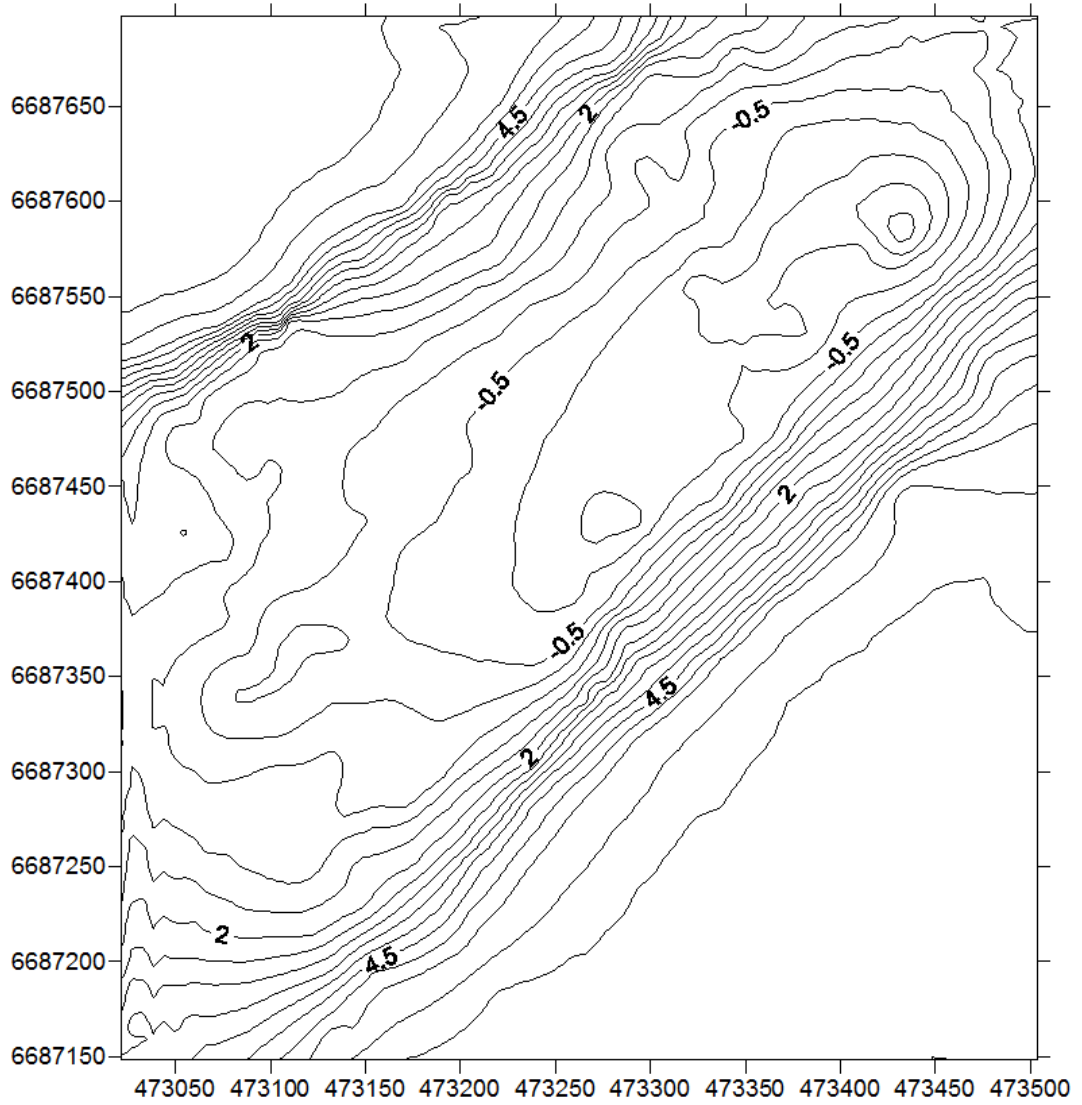


Figura 53: Base das linhas isobatimétricas

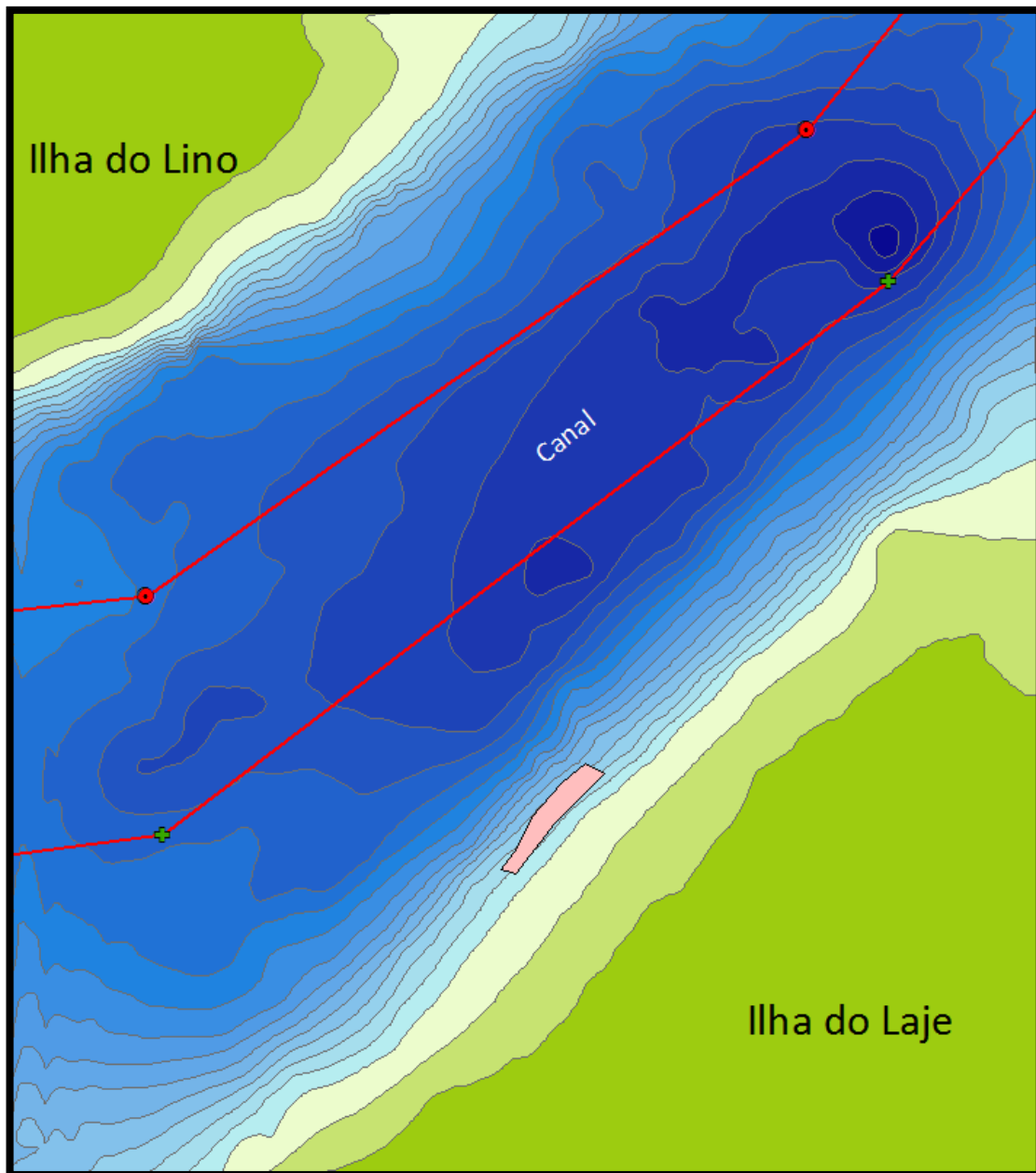


Figura 54: Prévia da carta hidrográfica

Vale notar que, devido às dimensões da área, foram adotadas algumas convenções diferentes daquelas definidas pela Marinha do Brasil. Destas alterações, serve especial destaque para a utilização de cores na carta. O espaçamento das linhas isobatimétricas adotado foi de 0,5 m, enquanto o espaçamento das linhas isoaltimétricas adotado foi de 1 m. O nível da água adotado foi o do dia, estando na cota de 5,822 m em relação ao elipsóide do sistema adotado (SIRGAS 2000).

## 5 Considerações Finais

Ao final deste trabalho, posso dizer o quão prazeroso foi sua realização, não somente pelo assunto, de meu interesse pessoal, mas também pela interação com os demais colegas e professores, que auxiliaram na execução do mesmo. Mesmo prazeroso, houveram momentos de dificuldades, principalmente pelo assunto não possuir muitas referências aqui no Brasil, sendo necessário buscar principalmente nos sites europeus a teoria envolvida no trabalho. Em contrapartida, todo material necessário, no quesito equipamentos, foram cedidos pela Universidade, o que viabilizou a realização do mesmo, principalmente devido ao auxílio do IPH, que permitiu a realização do levantamento batimétrico da região.

Este trabalho é realmente uma introdução a um assunto fascinante, que abrange uma grande área de aplicações na cartografia. Pode-se dizer que, ao fim do mesmo, os objetivos propostos foram plenamente cumpridos, podendo ser visto o resultado dos levantamentos nos anexos *II* e *III*. Embora pioneiro no curso de Engenharia Cartográfica da UFRGS, o êxito na realização do trabalho pode ser conferido aos professores deste curso, que forneceram o conhecimento necessário para realização de cada uma das etapas do mesmo. Espero que futuramente, mais cartógrafos desta universidade venham a realizar trabalhos nesta área.

Cairos A. K. Pacheco

## Bibliografia

- Azambuja, José Luiz Fay de e Matsuoka, Marcelo Tomio. 2007.** Topografia e GPS - Conquistas e Desafios. [ed.] Sérgio Florêncio de Souza e Marcelo Tomio Matsuoka. *Série em Geomática*. 2007, Vol. I, pp. 13-18.
- Barros, Geraldo Luiz Miranda de. 2001.** *Navegar é Fácil*. 11ª Edição. Rio de Janeiro : Catau, 2001. p. 505. ISBN 85-86200-04-2.
- Burden, Richard L. e Faires, J. Douglas. 2003.** *Análise Numérica*. [ed.] Leonardo Freire Mello. [trad.] Ricardo Lenzi Tombi. São Paulo : Pioneira Thomson Learning, 2003. p. 736. ISBN 85-221-0297-X.
- Corrêa, Iran Carlos Stalliviere. 2007.** *Batimetria com Submergível Autônomo*. Departamento de Geodésia, Instituto de Geociências - UFRGS. Porto Alegre : s.n., 2007. p. 8, Tradução.
- . **2010.** Histórico da Topografia. *Museu de Topografia - UFRGS*. [Online] 04 de Março de 2010. [Citado em: 23 de Abril de 2010.] [http://www.ufrgs.br/museudetopografia/p\\_inicio.htm](http://www.ufrgs.br/museudetopografia/p_inicio.htm).
- . **2009.** *Tipos e História da Cartografia*. Departamento de Geodésia, Instituto de Geociências - UFRGS. Porto Alegre : s.n., 2009. p. 32, Tradução e ampliação.
- Felipe, Jaime Roberto da Costa. 2010.** *Capitão Amador - Navegação Segura em Cruzeiros de Alto-Mar*. 2ª. Rio de Janeiro : s.n., 2010. p. 501. ISBN 978-85-907678-1-7.
- Gagg, Gilberto. 2008.** *Geodésia I*. Departamento de Geodésia, Instituto de Geociências - UFRGS. Porto Alegre : s.n., 2008. p. 107, Notas de aula.
- Garmin. 2010.** BlueChart g2 Vision. *Garmin*. [Online] 2010. [Citado em: 27 de Abril de 2010.] <https://buy.garmin.com/shop/shop.do?pID=9618#overviewTab>.
- Gemael, Camil. 1999.** *Introdução à Geodésia Física*. Curitiba : UFPR, 1999. p. 304. ISBN 8573350296.
- . **1994.** *Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas*. Curitiba : UFPR, 1994. p. 319. ISBN 85-84132-92-2.
- Halliday, David, Resnick e Walker, Jearl. 2009.** *Fundamentos de Física - Eletromagnetismo*. [ed.] Ronaldo Sérgio de Biasi. [trad.] Ronaldo Sérgio de Biasi. 8ª Edição. Rio de Janeiro : LTC, 2009. p. 395. Vol. III. ISBN 978-85-216-1607-8.

- . 2009. *Fundamentos de Física - Gravitação, Ondas e Termodinâmica*. [ed.] Ronaldo Sérgio de Biasi. [trad.] Ronaldo Sérgio de Biasi. 8ª Edição. Rio de Janeiro : LTC, 2009. p. 295. Vol. II. ISBN 978-85-216-1606-1.
- . 2008. *Fundamentos de Física - Mecânica*. [ed.] Ronaldo Sérgio de Biasi. [trad.] Ronaldo Sérgio de Biasi. 8ª Edição. Rio de Janeiro : LTC, 2008. p. 349. Vol. I. ISBN 978-85-216-160-5.
- . 2009. *Fundamentos de Física - Óptica e Física Moderna*. [ed.] Ronaldo Sérgio de Biasi. [trad.] Ronaldo Sérgio de Biasi. 8ª Edição. Rio de Janeiro : LTC, 2009. p. 416. Vol. IV. ISBN 978-85-216-1608-5.
- Hibbeler, R. C.** 2005. *Mecânica para Engenharia - Dinâmica*. [trad.] Mário Alberto Tenan. 10ª Edição. São Paulo : Prentice Hall, 2005. p. 572. Vol. II. ISBN 85-87918-96-6.
- . 2005. *Mecânica para Engenharia - Estática*. [ed.] Wilson Carlos da Silva Junior. [trad.] Everi Antonio Carrara e Joaquim Nunes Pinheiro. 10ª Edição. São Paulo : Prentice Hall, 2005. p. 540. Vol. I. ISBN 85-87918-97-4.
- IHO.** 2005. *Manual on Hydrography*. Mônaco : International Hydrographic Bureau, 2005. p. 540.
- IPH.** *Instituto de Pesquisas Hidráulicas*. [Online] IPH. [Citado em: 30 de Julho de 2010.] <http://www.iph.ufrgs.br/>.
- Jamsa, Kris e Klander, Lars.** 1999. *Programando em C/C++ - A Bíblia*. [trad.] Jeremias René D. Pereira dos Santos. São Paulo : Pearson Education do Brasil, 1999. p. 1012. 85.346.1025-8.
- Jelinek, Andréa.** 2004. *Topografia I*. Instituto de Geociências - UFRGS. Porto Alegre : s.n., 2004. p. 97, Apostila de Aula.
- Magro, Francisco Humberto Simões.** 2008. A Engenharia Cartográfica na UFRGS. [ed.] Sérgio Florêncio de Souza e Marcelo Tomio Matsuoka. *Série em Geomática*. 2008, Vol. II, p. 3 a 9.
- Marinha do Brasil.** 2006. Cartas Náuticas. *Diretoria de Hidrografia da Marinha do Brasil*. [Online] 2006. [Citado em: 27 de Abril de 2010.] <https://www.mar.mil.br/dhn/dhn/index.html>.
- Matsuoka, Marcelo Tomio e Camargo, Paulo de Oliveira.** 2007. Ciclo de Manchas Solares e o Posicionamento por Ponto com GPS. *Série em Geomática*. 2007, Vol. I, pp. 1-8.

**Monico, João Francisco Galera. 2008.** *Posicionamento pelo GNSS - Descrição, fundamentos e aplicações.* [ed.] Jézio Hernani Bomfim Gutierre. 2ª Edição. São Paulo : UNESP, 2008. p. 476. ISBN 978-85-7139-788-0.

**Royal College of Physicians. 2007.** *Spiegel der Zeevaert. Royal College of Physicians.* [Online] 3 de Julho de 2007. [Citado em: 24 de Abril de 2010.] <http://www.rcplondon.ac.uk/heritage/BookOfTheMonth/2007-04/index.htm>.

**Stroustrup, Bjarne. 2000.** *A Linguagem de Programação C++.* [trad.] Maria Lúcia Blanck Lisbôa e Carlos Arthur Lang Lisbôa. 3ª Edição. Porto Alegre : Bookman, 2000. p. 823. ISBN 85-7307-699-2.

**Wikipedia. 2010a.** Bathymetry. *Wikipedia.* [Online] Wikimedia, 1 de Abril de 2010a. [Citado em: 5 de Maio de 2010.] <http://en.wikipedia.org/wiki/Bathymetry>.

—. **2010b.** Carta Náutica. *Wikipedia.* [Online] Wikimedia, 18 de Abril de 2010b. [Citado em: 2010 de Abril de 24.] [http://pt.wikipedia.org/wiki/Carta\\_n%C3%A1utica](http://pt.wikipedia.org/wiki/Carta_n%C3%A1utica).

—. **2010c.** Cartografia. *Wikipedia.* [Online] 19 de Abril de 2010c. [Citado em: 23 de Abril de 2010.] <http://pt.wikipedia.org/wiki/Cartografia>.

—. **2010d.** Portulano. *Wikipedia.* [Online] Wikimedia, 6 de Março de 2010d. [Citado em: 23 de Abril de 2010.] <http://pt.wikipedia.org/wiki/Portulano>.

—. **2010e.** Topografia. *Wikipedia.* [Online] Wikimedia, 5 de Abril de 2010e. [Citado em: 24 de Maio de 2010.] <http://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Topografia&action=history>.

## Anexo I – Tabelas e Planilhas

<b>Ré</b>	<b>Estação</b>	<b>Vante</b>	$\theta_v$	$\theta_h$	<b>D</b>	$h_e$	$h_p$
E1	E2	-	0°00'00''	0°28'02''	66,454	1,360	2
-	E2	E3	235°42'42''	-1°22'25''	2,997	1,360	2
-	E2	P1	285°37'37''	-2°06'40''	22,526	1,360	2
E2	E3	-	0°00'00''	2°41'10''	30,032	1,438	1,5
-	E3	E4	253°13'35''	0°04'03''	462,469	1,438	2
-	E3	P2	254°32'32''	0°03'22''	441,694	1,438	2
-	E3	P3	246°45'21''	0°03'21''	403,034	1,438	2
-	E3	P4	242°53'06''	0°03'20''	388,287	1,438	2
-	E3	P5	241°10'51''	0°03'24''	383,193	1,438	2
-	E3	P6	233°24'15''	0°13'32''	387,756	1,438	2
-	E3	E4	257°13'56''	0°04'26''	462,466	1,438	2
-	E3	E4i	77°14'05''	0°04'04''	462,461	1,438	2
-	E3	P7	131°56'23''	0°09'24''	14,793	1,438	2
-	E3	P8	306°20'18''	0°23'14''	12,626	1,438	2
E3	E4	-	359°59'18''	0°04'38''	462,462	1,380	2
E3i	E4	-	180°00'05''	0°04'11''	462,466	1,380	2
-	E4	P9	355°04'02''	0°03'23''	434,148	1,380	2
-	E4	P10	351°08'28''	0°02'26''	4163185	1,380	2
-	E4	P11	348°08'13''	0°02'47''	396,517	1,380	2
-	E4	P12	343°17'38''	0°03'12''	366,537	1,380	2
-	E4	P13	333°28'06''	0°03'58''	324,183	1,380	2
-	E4	P14	328°34'10''	0°04'18''	316,387	1,380	2
-	E4	P15	322°46'05''	0°04'21''	305,385	1,380	2
-	E4	P16	315°42'59''	0°04'20''	298,684	1,380	2



Ré	Estação	Vante	$\theta_v$	$\theta_h$	D	$h_e$	$h_p$
-	E4	P17	311°24'05''	0°04'41''	302,171	1,380	2
-	E4	E5	298°48'50''	0°21'33''	308,727	1,380	2
E4	E5	-	359°59'55''	0°08'39''	308,728	1,500	2
E4i	E5	-	180°00'03''	0°08'37''	308,719	1,500	2
-	E5	P18	4°20'31''	0°11'57''	299,936	1,500	2
-	E5	P19	10°03'37''	0°10'54''	300,968	1,500	2
-	E5	P20	11°21'38''	-8°05'50''	5,066	1,500	2
-	E5	E6	209°54'42''	0°12'45''	16,836	1,500	2
E5	E6	-	359°53'21''	1°39'57''	16,888	1,302	2
E5i	E6	-	179°50'07''	1°39'19''	16,886	1,302	2
-	E6	E1	248°54'00''	0°19'47''	329,270	1,302	2,5
E6	E1	-	0°00'00''	0°01'29''	329,256	1,320	2
-	E1	E2	189°23'58''	0°42'49''	66,461	1,320	2

Tabela 17: Dados coletados em campo no levantamento topográfico

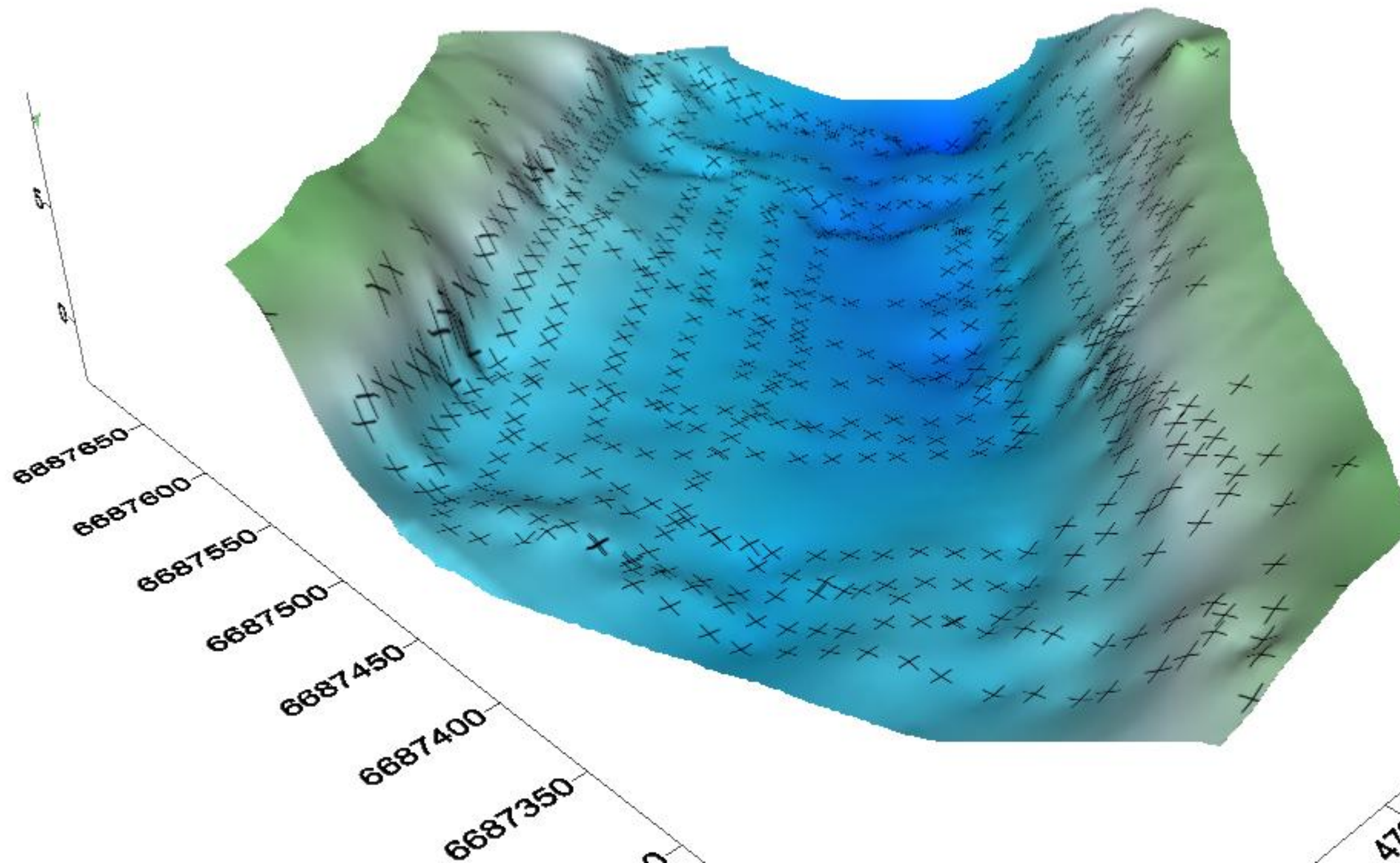
Ponto	X	Y	Z
<b>E1</b>	473216,5705	6687188,9525	7,3696
<b>E2</b>	473163,7675	6687148,3759	7,4700
<b>E3</b>	473135,4894	6687,158,4107	6,1105
<b>E4</b>	473179,2014	6687618,6901	6,0640
<b>E5</b>	473434,2747	6687444,8155	7,3319
<b>E6</b>	473441,5623	6687429,5418	6,7221
<b>P1</b>	473155,8669	6687169,4546	6,0002
<b>P2</b>	473166,8201	6687598,8796	5,9338
<b>P3</b>	473109,3403	6687560,4961	5,8940
<b>P4</b>	473084,1934	6687543,2017	5,8777
<b>P5</b>	473073,5913	6687536,4815	5,8802

<b>Ponto</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
<b>P6</b>	473021,6502	6687529,0004	7,0277
<b>P7</b>	473122,3957	6687151,2416	5,4608
<b>P8</b>	473145,8451	6687165,3881	5,4159
<b>P9</b>	473175,2560	6687184,4539	5,8239
<b>P10</b>	473203,9189	6687203,1401	5,6913
<b>P11</b>	473223,4577	6687224,5561	5,7177
<b>P12</b>	473250,7092	6687259,1098	5,7379
<b>P13</b>	473295,7619	6687316,1186	5,7707
<b>P14</b>	473317,7493	6687334,1933	5,7924
<b>P15</b>	473339,9895	6687359,0155	5,7831
<b>P16</b>	473366,4356	6687385,9490	5,7732
<b>P17</b>	473385,7932	6687398,1595	5,8083
<b>P18</b>	473199,7637	6687631,8201	5,7420
<b>P19</b>	473218,8349	6687654,9668	5,8304
<b>P20</b>	473430,6704	6687448,2944	6,0711

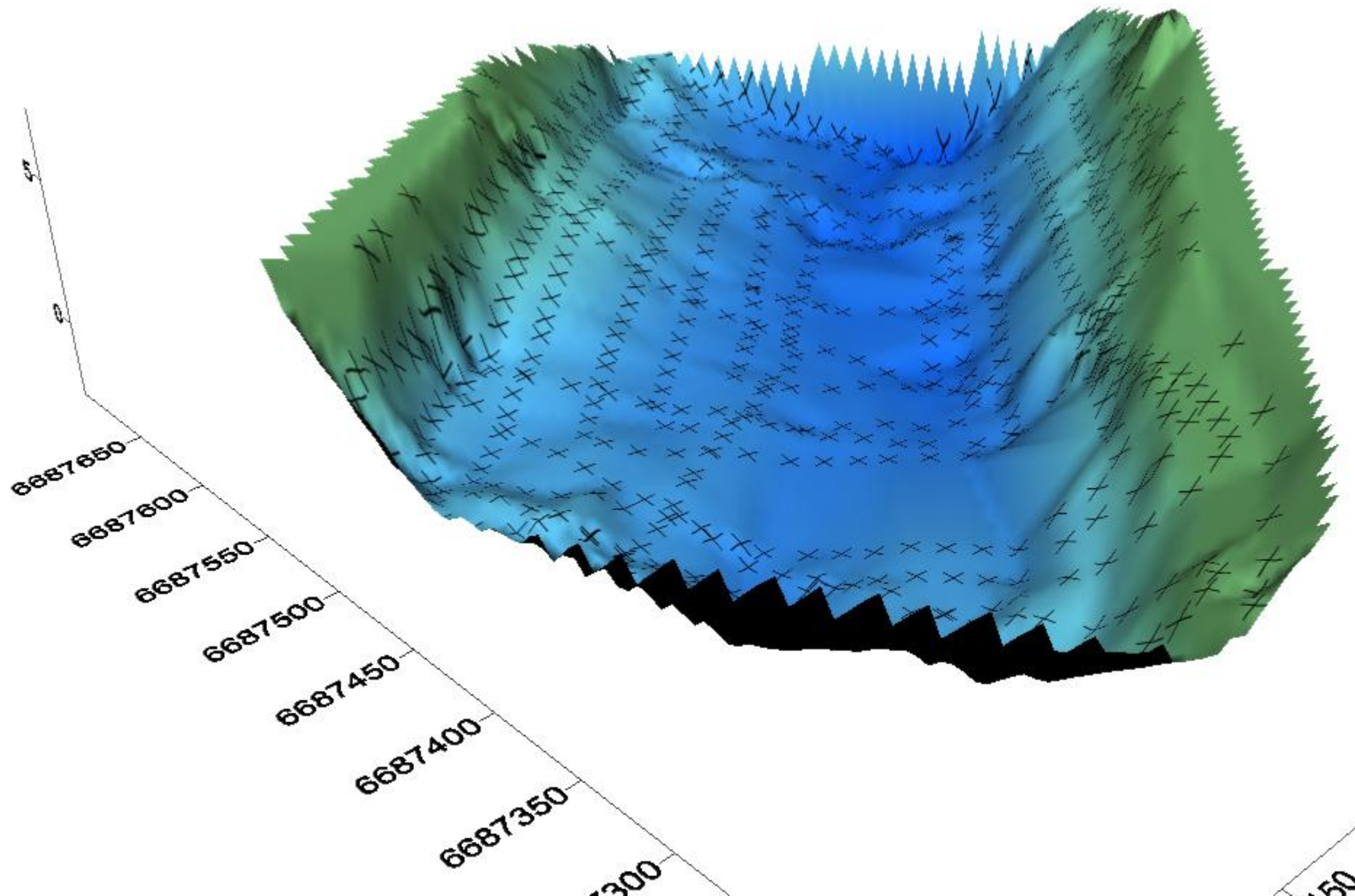
Tabela 18: Coordenadas dos pontos do levantamento topográfico (UTM SAD-69)

## Anexo II – MDS

*Modelado através da krigagem*



*Modelado através da triangulação*



# CARTA HIDROGRÁFICA

Canal entre as Ilhas do Lino e do Laje

