

INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA

DAVI DA SILVA NASCIMENTO

**DETERMINAÇÃO DE REFERENCIAL VERTICAL EM
RESERVATÓRIOS PARA POSICIONAMENTO DA BATIMETRIA**

Curitiba

2021

DAVI DA SILVA NASCIMENTO

**DETERMINAÇÃO DE REFERENCIAL VERTICAL EM
RESERVATÓRIOS PARA POSICIONAMENTO DA BATIMETRIA**

Projeto de Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Tecnologia, Área de Concentração de Meio Ambiente e Desenvolvimento, do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, em parceria com o Instituto de Engenharia do Paraná, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento de Tecnologia.

Orientador: Prof. Tania Lucia Graf de Miranda.

Coorientador: Prof. Claudia Pereira Krueger

Curitiba

2021

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

N244d Nascimento, Davi da Silva
Determinação de referencial vertical em reservatórios para
posicionamento da batimetria [recurso eletrônico] / Davi da Silva
Nascimento – Curitiba: LACTEC: IEP, 2021.

Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação em Desenvolvimento de
Tecnologia, Área de Concentração Meio Ambiente e Desenvolvimento (MAD),
do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC), em parceria
com o Instituto de Engenharia do Paraná (IEP).

Orientadora: Prof^a. Dra. Tânia Lucia Graf de Miranda
Coorientadora: Profa. Claudia Pereira Krueger

1. Sistema de Posicionamento Global (GNSS). 2. Nivelamento. I. Miranda,
Tânia Lucia Graf de. II. Bento, Alexandre Rodizio. III. Título. IV. Instituto de
Tecnologia para o Desenvolvimento.

CDD. 526.640285

TERMO DE APROVAÇÃO

DAVI DA SILVA NASCIMENTO

DETERMINAÇÃO DE REFERENCIAL VERTICAL EM RESERVATÓRIOS PARA POSICIONAMENTO DA BATIMETRIA.

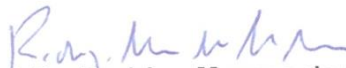
Trabalho de conclusão de curso aprovado como requisito para obtenção do grau de Mestre, no Mestrado Profissional do Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento de Tecnologia, realização do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC) em parceria com o Instituto de Engenharia do Paraná (IEP), pela seguinte banca examinadora:



ORIENTADOR (A): Prof.ª Dr.ª Tânia Lucia Graf de Miranda
Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC)



Prof.ª Dr.ª Mariana D'Orey Gaivão Portella
Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC)



Prof. Dr. Rodrigo Moraes da Silveira
Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC)



Dr.ª Laís Thie Hasuda Nakao
Equilíbrio Ambiental

Curitiba, 27 de agosto de 2021.

Agradecimentos

A Deus pela concepção da vida e a oportunidade de evoluir intelectualmente. Com respeito às pessoas, humildade, dedicação, esforço e por ter aumentado o círculo de amigos, que foram ingredientes importantes para o êxito da conclusão do curso.

Aos meus pais, Antônio e Elizabete, por terem ensinado o caminho certo da vida a ser trilhado.

Em especial a família: Marilda, esposa e companheira, Amanda e Arthur, meus filhos, pelo amor, carinho e compreensão na minha ausência, nesse período de estudos, por não participar de momentos de alegrias e dificuldades.

A todas as pessoas que contribuíram de uma forma ou de outra para a realização do mestrado, principalmente aquelas pessoas, que por ventura não foram lembradas.

A Prof.^a. Dra. Tania Lucia Graf de Miranda, que se dispôs a orientar uma pessoa com um tema um pouco diferente, mesmo assim, teve paciência, empenho nas correções e sugestões para aperfeiçoar o texto. Conduziu o desenvolvimento da dissertação com profissionalismo, abriu novos horizontes, enriquecendo o meu conhecimento científico e pessoal.

A Prof.^a. Dra. Claudia Pereira Krueger (co-orientadora) que não mediu esforços na parte de trabalhos de campo, buscando contatos, agendamentos num período de crise mundial, onde as empresas não estavam trabalhando e a dificuldade em entrar para execução desta pesquisa pareceu muito distante.

Ao meu grande amigo João Lima, pelo empréstimo da estação total para leitura dos dados em campo.

As minhas amigas Ana Paula Oening e Debora Cintia Marcilio, pelas informações iniciais do programa, indicação do mestrado e trocas de conhecimentos.

Ao Fabiano Scheer, gerente de Geossoluções do Lactec, pela liberação dos campos em horário de expediente e empréstimo do sistema GNSS o qual auxiliou o apoio de campo.

A Sanepar, representados pelo Coordenador de Produção GPDAG-SAIC Alcely Jose Wosniak e Mauricio B Scheer, que tornou possível as entradas na barragem para desenvolvimento da pesquisa e fornecimento de dados técnicos da barragem.

A todos os colegas de pós-graduação, pela amizade e troca de conhecimentos, em especial, Bruno, Matheus, Oscar, Rafael, André, Leandro, Igor a famosa galera do fundão.

Agradeço imensamente às pessoas que não foram mencionados, que de certa forma colaboram, até mesmo com palavras simples de moral e conforto.

“A educação não cria o gênio, mas oferece-lhe,
por vezes, oportunidade para se revelar”.

Leoni Kaseff

RESUMO

Diferentes superfícies de referências verticais podem ser empregadas nos levantamentos geodésicos e topográficos. Elas podem ser superfícies matemáticas, como o elipsoide de revolução; ou superfícies físicas, oriundas da maré, ou do campo de gravidade terrestre (Santana, et. al, 2020). Elas são superfícies que se relacionam entre si, mas a separação entre elas será diferente de um lugar para outro.

Atualmente através de técnicas de transporte de coordenadas com o uso do GNSS (*Global Navigation Satellite System*) e métodos para obtenção de uma altitude elipsoidal de maneira rápida, precisa e acurada, é possível determinar um referencial para todos os tipos de empreendimentos.

Localizada no município de Piraquara, a Barragem Piraquara II pertence à SANEPAR e é utilizada como reservatório modelo para testes. Este reservatório compõe o sistema de regularização e reforço para o abastecimento de água da capital Curitiba. Foi realizado um levantamento geodésico com sistema GNSS e, por meio de técnicas topográficas com uso de estação total, foi idealizada uma poligonal. Este teve por objetivo estabelecer as altitudes elipsoidais próximas ao vertedouro onde existe um controle do nível d'água e referenciar uma régua instalada nas medições da Casa da Cultura, pela Universidade Federal do Paraná. Como resultado deste estudo, e com os dados corrigidos no sensor instalado no barramento, foi possível estabelecer um nível de redução máximo e mínimo em altitude elipsoidal para a barragem, onde todos os levantamentos batimétricos futuros poderão utilizar para suas mensurações.

Palavras-chave: Referencial Vertical; Nivelamento; GNSS; Batimetria.

ABSTRACT

Different vertical reference surfaces can be used in geodetic and topographic surveys. Those references can be mathematical surfaces, like the ellipsoid of revolution; or physical surfaces, coming from the tide or from the earth's gravity field (Santana, *et al.*, 2020). Also, those references can be surfaces related to each other, but the separation between them will be different from each place. Currently, through coordinate transport techniques using the GNSS (Global Navigation Satellite System) and methods to obtain an ellipsoidal altitude quickly, precisely and accurately, it is possible to determine a reference for all types of projects. Located in the municipality of Piraquara, Parana state, Brazil, the Piraquara II Dam belongs to SANEPAR and it was used as a model reservoir for tests. This reservoir is part of the regulation and reinforcement system for the water supply of the capital Curitiba, Parana state. A geodetic survey was carried out with the GNSS system and, through topographic techniques with the use of a total station, a polygonal was devised. That geodetic survey had the objective to establish the ellipsoidal altitudes close to the spillway where there is a water level control and a ruler reference installed at the measurements of the place named "Casa da Cultura", by the Federal University of Paraná. As a result of this study with the data corrected in the sensor installed on the dam, it was possible to establish a maximum and minimum reduction level in ellipsoidal altitude for the dam, which all future bathymetric surveys will be able to use for their measurements.

Keywords: Vertical Reference; Leveling; GNSS; Bathymetry.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Superfície Física (SF) e geométrica da Terra. | 19 |
| Figura 2: Relacionamento entre o geoide, o elipsoide e o datum da carta náutica. ... | 23 |
| Figura 3: Níveis de Maré e Nível de Redução da Carta Náutica. | 27 |
| Figura 4: Posicionamento pelo posicionamento relativo estático e estático rápido. ... | 35 |
| Figura 5: Esquema de funcionamento da batimetria em tempo real. | 38 |
| Figura 6: Levantamento de uma poligonal. | 39 |
| Figura 7: Ilustração de poligonal fechada. | 40 |
| Figura 8: Alinhamentos EC001 - P1, EC001- P2, EC001-ARATU e EC001- ANA onde foram realizados nivelamento GNSS e geométrico. | 43 |
| Figura 9: Área de estudo - Barragem de Piraquara II. | 44 |
| Figura 10: Arranjo Geral da Barragem. | 45 |
| Figura 11: Casa da Cultura da Água - Sanepar. | 46 |
| Figura 12: Régua Estadimétrica. | 47 |
| Figura 13: Localização da Base gnss instalada sobre o marco de centragem forçada MRRN-01 | 49 |
| Figura 14 - Vetores linha de base para os vértices implantados em campo. | 50 |
| Figura 15: Localização dos pontos da poligonal de apoio na Casa da Cultura. | 55 |
| Figura 16: Determinação do nível elipsoidal para escala da régua implantada. | 56 |
| Figura 17: Localização dos pontos da poligonal no barramento de Piraquara II. | 57 |
| Figura 18: Vertedor tulipa e Sensor de nível d'água | 58 |
| Figura 19: Pontos de leitura para determinação das altitudes elipsoidais na estrutura da tulipa e local de instalação do nível d'água. | 59 |
| Figura 20: Levantamento relativo estático rápido do nível d'água na Casa da Cultura da Sanepar. | 60 |
| Figura 21: Modelo Geoidal. | 61 |
| Figura 22: Referencial vertical da barragem em altitude elipsoidal | 68 |
| Figura 23: Fluxograma da metodologia. | 69 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Precisão das Técnicas de Posicionamento. | 36 |
| Tabela 2: Monografia do marco MRRN 01 | 48 |
| Tabela 3: Distâncias relativas dos Vértices a Base GNSS..... | 50 |
| Tabela 4: Sistema GNSS. | 51 |
| Tabela 5: Estação Total TS06 R400. | 52 |
| Tabela 6: Softwares para processamento..... | 53 |
| Tabela 7: Parâmetros de transformação WGS84/SIRGAS 2000. | 53 |
| Tabela 8: Tabela de Referência Tempo x Distância para rastreamento GNSS. | 54 |
| Tabela 9: Coordenadas geodésicas dos marcos geodésicos da poligonal de apoio..... | 62 |
| Tabela 10: Solução dos vetores GPS. | 63 |
| Tabela 11: Coeficientes “b”, “d”, “e” e “f” para as diferentes classes e tipos de poligonais. | 63 |
| Tabela 12: Coordenadas planialtimétricas do vertedouro e nível d’água. | 64 |
| Tabela 13: Dados de fechamento da poligonal no barramento | 64 |
| Tabela 14: Coordenadas planialtimétricas dos níveis da régua estadimétrica | 65 |
| Tabela 15: Dados de fechamento da poligonal na Casa da Cultura | 66 |
| Tabela 16: Comparativo entre as altitudes ortométricas nos pontos de medição e controle de nível na barragem..... | 66 |
| Tabela 17: Dados técnicos convertidos em altitudes elipsoidais..... | 67 |
| Tabela 18: Cotas para o nível de redução batimétrico na Barragem de Piraquara II | 68 |
| Tabela 19: Comparativo entre os níveis d’ água no barramento e Casa da Cultura | 72 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|-------------|---|
| AS | <i>Anti Spoofing</i> (Antifraude) |
| ANA | Agencia Nacional de Águas |
| C/A | <i>Coarse Acquisition</i> (Fácil aquisição) |
| DCN | Datum de Carta Náutica |
| DGH | Datum Geodésico Horizontal |
| DGPS | <i>Differential GPS</i> (Diferencial GPS) |
| DoD | <i>Department of Defense</i> (Departamento de defesa dos Estados Unidos) |
| erD (Máx) | Erro médio relativo máximo aceitável entre duas estações |
| GLONASS | <i>Global Navigation System</i> |
| GNSS | Sistema Global de Navegação por Satélite |
| GPS | Sistemas de Posicionamento Global |
| h | Altitude Elipsoidal ou Geométrica |
| H | Altitude Ortométrica |
| ICAO | <i>International Civil Aviation Organization</i> |
| OHI | <i>International Hydrographic Organization</i> |
| LAT | <i>Lowest Astronomical Tide</i> |
| L1 | Onda portadora L1 (sinal enviado por cada satélite do sistema NAVSTAR/GPS de frequência igual a 1.575,42 Mhz) |
| L2 | Onda portadora L2 (sinal enviado por cada satélite do sistema NAVSTAR/GPS de frequência igual a 1.227,60 Mhz) |
| MAPGEO 2015 | MAPGEO2015 - Sistema que fornece a ondulação geoidal (N) necessária à conversão de altitudes elipsoidais, obtidas com os Sistemas de Navegação Global por Satélite (GNSS), em altitudes ortométricas. |
| MPR | Método de Posicionamento Relativo |
| N | Ondulação Geoidal |

| | |
|------|---|
| PDOP | <i>Position Dilution of Precision</i> |
| RBMC | Rede Brasileira De Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS |
| RN | Referencia de Nível |
| RTK | <i>Real Time Kinematic</i> |
| SA | <i>Selective Availability</i> (Disponibilidade seletiva) |
| SGR | Sistema Geodésico de Referência |
| UTM | Universal Transversa de Mercator |
| UFPR | Universidade Federal do Paraná |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 14 |
| 1.1 | CONTEXTO | 14 |
| 1.2 | OBJETIVOS | 15 |
| 1.2.1 | Objetivo Geral..... | 15 |
| 1.2.2 | Objetivos Específicos | 15 |
| 1.3 | JUSTIFICATIVA | 16 |
| 1.4 | ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO | 17 |
| 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 18 |
| 2.1 | Geodésia..... | 18 |
| 2.2 | Datum..... | 19 |
| 2.2.1 | Datum da Carta Náutica | 20 |
| 2.3 | Referencial Altimétrico | 21 |
| 2.3.1 | Superfícies de Referência Verticais para o cálculo de modelos de separação (SEP)..... | 22 |
| 2.3.2 | Superfície elipsoidal..... | 23 |
| 2.3.3 | Superfície geoidal | 24 |
| 2.3.4 | Superfícies a partir do NMM | 24 |
| 2.4 | Nível de Redução..... | 26 |
| 2.5 | Sistema Geodésico de Referência..... | 28 |
| 2.5.1 | Sistema Córrego Alegre | 29 |
| 2.5.2 | Sistema SAD69 | 29 |
| 2.5.3 | Sistema SIRGAS | 29 |
| 2.6 | GNSS – Global Navigation Sattelite System | 30 |
| 2.6.1 | Pseudodistância | 32 |
| 2.6.2 | Fase de onda portadora | 33 |
| 2.6.3 | Métodos de posicionamento | 34 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 2.6.3.1 | Posicionamento relativo estático | 34 |
| 2.6.3.2 | Posicionamento relativo estático rápido | 36 |
| 2.7 | Levantamento Batimétrico..... | 37 |
| 2.8 | Levantamento Topográfico..... | 38 |
| 2.8.1 | Poligonal..... | 39 |
| 3 | ESTADO DA ARTE | 40 |
| 4 | ÁREA DE ESTUDO | 44 |
| 4.1 | Implantação de Régua Estadimétrica..... | 45 |
| 4.2 | Materialização dos vértices de apoio | 47 |
| 4.2.1 | Estação Base GNSS | 47 |
| 5 | MATERIAIS..... | 51 |
| 6 | MÉTODO | 53 |
| 6.1 | Método do Posicionamento GNSS..... | 54 |
| 6.2 | Levantamento topográfico..... | 54 |
| 6.3 | Ondulação Geoidal..... | 60 |
| 7 | RESULTADOS..... | 62 |
| 7.1 | Processamento dos vértices | 62 |
| 7.2 | Processamento das poligonais | 63 |
| 7.3 | Comparativo entre cotas por técnicas diferentes | 66 |
| 7.4 | Determinação do referencial vertical..... | 67 |
| 8 | CONCLUSÕES | 70 |
| | REFERÊNCIAS | 74 |
| | ANEXO I..... | 78 |
| | CADERNETAS DE CAMPO E PROCESSAMENTO DOS DADOS..... | 78 |
| | ANEXO II..... | 86 |
| | RESULTADO DOS PROCESSAMENTOS DOS DADOS GPS..... | 86 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO

A diversificação no uso de várias técnicas de obtenção de uma coordenada altimétrica, confere uma importância crescente para a necessidade de se relacionarem diferentes referências de forma que a qualidade do dado ali levantado seja integrado a uma única informação. Os sistemas GNSS nos fornecem altitudes elipsoidais (h) atreladas a um elipsoide de revolução e podendo apresentar distintas acurácias dependendo do método de posicionamento empregado no levantamento. As referências de nível (RN), por sua vez, têm suas altitudes ortométricas (H) determinadas a partir de nivelamentos geométricos efetuados entre uma RN pertencente ao sistema de referência vertical e a RN de interesse, por exemplo, as réguas linimétricas em geral estão atreladas a RN localizadas nas suas imediações, logo, georreferenciadas as altitudes ortométricas.

A integração entre referências terrestres e marítimas, fluviais, lagunares tem sido uma necessidade cada vez maior (Santana et al 2020), pode-se destacar, o estudo de Curva Cota Área e Volume e estudos hidrológicos para geração de planos de ação emergencial para barragens.

O emprego do GNSS de alta precisão permite a redução nas incertezas verticais dos levantamentos batimétricos, contudo a determinação deste modelo de separação é de extrema importância. Se os dados batimétricos necessitam da diminuição de incertezas verticais e estiver atrelado a uma superfície de referência vertical ao longo do tempo, então, pesquisar soluções para a adoção de um referencial vertical local, estável o suficiente para minimizar os problemas decorrentes da variação espacial e temporal dos dados batimétricos tendo como área de estudo a barragem do reservatório de Piraquara II é de extrema importância para, por exemplo, estudos de variação volumétrica deste reservatório ao longo do tempo.

1.2 OBJETIVOS

Diante das dificuldades em comparar dados ao longo do tempo, levantamentos batimétricos são estabelecidos e seus dados calculados sobre um referencial absoluto determinado pelo GNSS no momento da coleta dos dados. Diante dessa falta de controle, esta dissertação objetivou pesquisar uma solução para adoção de um nível de redução local na Barragem de Piraquara II em Piraquara:

1.2.1 Objetivo Geral

O desenvolvimento da presente dissertação teve como principal objetivo, determinar um referencial vertical estável dentro dos padrões mínimos sugeridos pela OHI e ANA visando reduções batimétricas ao longo do tempo para a mesma superfície de referência.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para atender o objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Realizar inventário referente à instrumentação, dados georreferenciados, planialtimétricos, marcos, referências de nível e controle de nível do local;
- b) Sumarizar os padrões mínimos exigidos pelas resoluções da OHI e ANA;
- c) Avaliar as precisões das coordenadas geodésicas obtidas com o GNSS por meio do método de posicionamento relativo (MPR) visando estabelecer as coordenadas acuradas de pontos em estudo;
- d) Analisar a acurácia das técnicas aplicadas através das altitudes elipsoidais fornecidas pelo MPR;
- e) Quantificar o erro presente no processo de determinação do referencial vertical local a partir dos métodos empregados;
- f) Avaliar a necessidade de aplicação de zoneamento quanto da execução de levantamentos batimétricos;

- g) Estabelecer um nível de redução local (máximo e mínimo) a partir do nivelamento trigonométrico com poligonal referenciado ao elipsoide de revolução.

1.3 JUSTIFICATIVA

A metodologia que emprega as altitudes geométricas obtidas pelo sistema de posicionamento GNSS para redução batimétrica é descrita no Manual de Hidrografia da OHI (2005), porém somente os Serviços Hidrográficos de alguns países tem utilizado esta técnica, tais como Estados Unidos, Canadá, Austrália e Japão (Ramos, 2007).

Uma visão histórica sobre os modelos de separação entre as superfícies por estes e outros países podem ser visualizados em Santana *et al* (2020). Percebe-se uma busca e aprimoramento constante visando a continua visualização, gerenciamento e representação de profundidades em tempo real aos navegantes.

No Brasil as profundidades representadas nas cartas náuticas estão referenciadas ao Datum da Carta Náutica (DCN), o qual é conhecido como nível de redução e corresponde aproximadamente à Média das Baixa-mares de Sizígia (MLWS - *Mean Low Water Springs*) (MARINHA DO BRASIL, 2020). O DCN é uma superfície permanentemente estável, geralmente a baixa-mar, à qual estão referenciadas as sondagens ou alturas de maré, sendo também chamado de nível de referência ou plano de referência (OHI, 2020c).

Nos reservatórios brasileiros é interessante que estudos fundamentem a elaboração de Normas Técnicas específicas para este tipo de levantamento, assim como de uma boa modelagem da separação entre os níveis de redução locais e o elipsoide de referência, já que por ter pouca variação de nível nos reservatórios pouco se aplica esse nível e os levantamentos são em quase totalidade referenciados a um referencial altimétrico dado pelo elipsoide de referência no dia do levantamento, o que pode possibilitar imprecisões, e variações dos dados medidos do fundo de um reservatório, por exemplo, ao corrigirmos as profundidades medidas para o referencial altimétrico.

Quando há interesse na determinação de assoreamentos em reservatórios, estimativas de volumes, servir de base de dados para projeções futuras da capacidade de armazenamento de água, geração de energia elétrica, ter um

referencial vertical estabelecido em altitude elipsoidal confiável é importante para levantamentos batimétricos em que os dados originados pelos ecobatímetro precisem ser corrigidos e integrados a dados terrestres com periodicidade.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Esta dissertação se encontra organizada em 8 capítulos, sendo estes:

- No Capítulo 2 estão apresentados os conceitos que serão base para elaboração deste trabalho. Encontram-se destacados o Sistema Geodésico Brasileiro, os Sistemas de Referência Altimétrico, Nível de redução e técnicas posicionamento como uso do sistema GNSS, Levantamentos batimétricos e topográficos;
- No Capítulo 3 estão apresentados alguns trabalhos que contribuem com o embasamento desta pesquisa detalhada nesta dissertação;
- No Capítulo 4 estão apresentados a área de estudo e a prática do trabalho;
- No Capítulo 5 estão apresentados os equipamentos e software utilizados para o desenvolvimento da pesquisa;
- No Capítulo 6 estão descritos a metodologia aplicada e o planejamento para determinação dos parâmetros que servirão de base a determinação do referencial vertical;
- No Capítulo 7 a determinação das altitudes referenciadas ao elipsoide por meio do levantamento topográfico combinado com o sistema GNSS.
- Por fim, no Capítulo 8 estão apresentadas as principais conclusões obtidas ao longo de todo o trabalho, recomendações para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

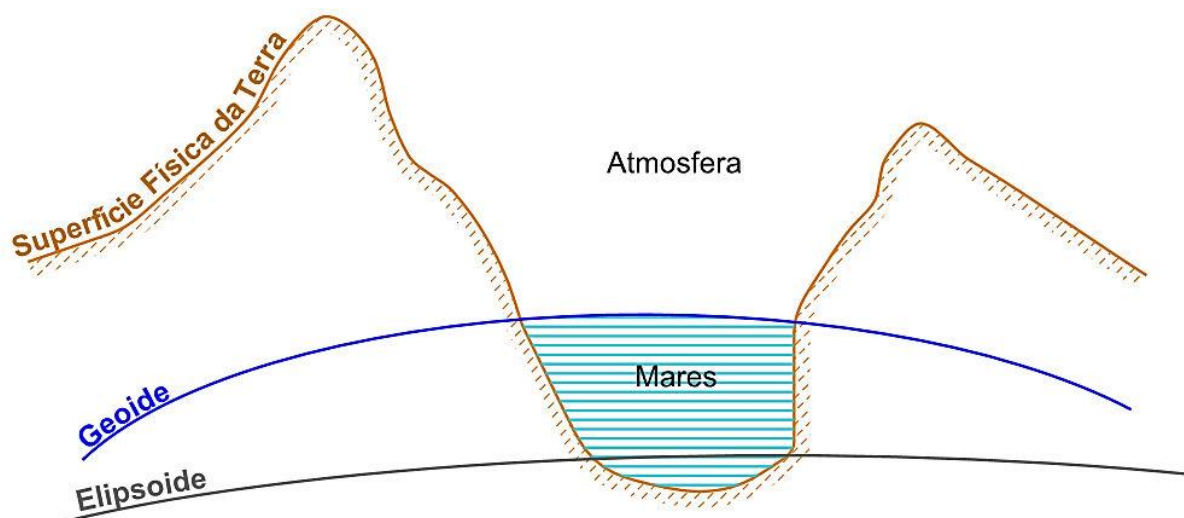
2.1 Geodésia

Seeber (1993) define que a geodésia consiste na ciência que trata da determinação do tamanho, da forma e dos parâmetros definidores do campo da gravidade da Terra. A forma irregular da superfície terrestre (superfície topográfica) incorpora dificuldades na realização de cálculos matemáticos, resultando em diversos problemas na sua representação cartográfica.

O geóide é uma superfície equipotencial que mais se aproxima do nível médio dos mares, prolongado através dos continentes. A adoção do geóide como superfície matemática de referência detém-se no conhecimento limitado do campo da gravidade, além de seu equacionamento matemático complexo, devido a sua forma irregular. Portanto, o geóide não é conveniente para servir como superfície de referência para as redes geodésicas horizontais e para modelo de representação cartográfica da terra. Deste modo, o elipsóide de revolução é a figura geométrica que possibilita o tratamento matemático adequado para representação da forma da Terra, tendo em vista ser um modelo com definição matemática precisa que mais se aproxima do geóide (GEMAEL, 1999).

A Figura 1 apresenta a Superfície Física da Terra ou também conhecida por superfície topográfica, onde são realizadas as operações geodésicas e topográficas, é definida como o limite entre as massas sólidas ou fluidas (continentes e oceanos) e atmosfera, caracteriza-se por ser uma superfície irregular e de geometria complexa, na qual, traz muitas dificuldades para descrever matematicamente sobre tal superfície a posição espacial dos pontos na Terra (ROMÃO, 2005).

Figura 1: Superfície Física (SF) e geométrica da Terra.



Fonte: Adaptada de Seeber (2003).

2.2 Datum

Segundo a Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2006), Datum Geodésico é o conjunto dos parâmetros que constituem a referência de um determinado sistema de coordenadas, e que inclui a definição do elipsóide de referência e a sua posição relativamente ao globo terrestre. Historicamente, antes das técnicas espaciais de posicionamento, os referenciais geodésicos, conhecidos pela denominação de Datum Geodésico Horizontal (DGH) eram obtidos através das seguintes etapas:

a) Escolha de um sólido geométrico (elipsóide de revolução), cujos parâmetros definidores são o achatamento e semi-eixo maior. Este sólido por sua vez representará de uma maneira aproximada às dimensões da Terra, no qual serão desenvolvidos os cálculos geodésicos:

b) Definição do posicionamento e orientação do referencial, feita através de parâmetros topocêntricos.

A materialização do referencial é feita através do cálculo de coordenadas dos pontos a partir de observações geodésicas de distâncias, ângulos e azimutes, ou seja, observações de origem terrestre. Os métodos geodésicos clássicos, triangulação e poligonação, permitem que se obtenham coordenadas em tantos pontos quantos necessários, devidamente materializados no terreno, vinculadas ao ponto origem. O conjunto de marcos assim estabelecidos com as respectivas

coordenadas leva ao conceito de sistema geodésico materializado. O que se deseja é uma perfeita coerência entre o sistema definido e o materializado; entretanto, os erros inerentes aos processos de medição não permitem geralmente uma completa identificação entre os mesmos (IBGE, 2006).

2.2.1 Datum da Carta Náutica

De acordo com a publicação C-32 do Dicionário Internacional de Hidrografia, o Datum da Carta Náutica (DCN) é uma superfície permanentemente estável, geralmente a baixa-mar, à qual estão referenciadas as sondagens ou alturas de maré, sendo também chamado de nível de referência ou plano de referência (OHI, 2020c).

Visando a segurança da navegação, a OHI recomenda que, em áreas oceânicas sob influência de maré, a Menor Maré Astronômica (LAT) ou um nível equivalente próximo, seja adotado como DCN para as profundidades. Define-se a LAT como a menor baixa mar prevista para ocorrer sob condições meteorológicas médias e sob qualquer condição astronômica (OHI, 2018). Simon (2013) ressalta que a LAT é um valor aproximado e não é possível calculá-lo de maneira acurada e estável, pois depende da qualidade e da duração dos dados observados, da correção dos efeitos meteorológicos e oceanográficos, do método de cálculo, do tipo e da amplitude das marés. Entretanto uma vez definido, pode ser utilizado como DCN.

Alguns países, como o Canadá, utilizam outros níveis de referência, baseados em critérios astronômicos, como a média em cada ano das menores baixa-mares previstas (LLWLT - *Lower Low Water, Large Tide*), em um ciclo de 19 anos (CHS, 2013). Já para os Estados Unidos e o Japão, ao invés de previsões de maré, o DCN é baseado na média das mais baixas marés (MLLW - *Mean Lower low Water*) observadas em um período chamado de Época Nacional dos Dados Maregráficos (NTDE - *National Tidal Datum Epoch*) (NOAA, 2020a; ROEBER, 2016). Nas cartas náuticas brasileiras, o DCN é conhecido como nível de redução e corresponde aproximadamente à Média das Baixa-mares de Sizígia (MLWS - *Mean Low Water Springs*) (MARINHA DO BRASIL, 2020).

Na definição do DCN pode ocorrer que o registro da variação da curva de maré em uma única estação não seja suficiente para representar toda a área de um

levantamento hidrográfico. Uma alternativa seria realizar o zoneamento de marés, que consiste na interpolação, ou na extrapolação linear dos dados observados entre duas estações maregráficas situadas nos extremos da área, dividindo-a em zonas (DHN, 2017). Entretanto, “dependendo da região este método pode ser impreciso porque assume que as componentes que não são astronômicas, variam no espaço e no tempo da mesma forma que as componentes das marés.” (HESS *et al.*, 1999, p.11). Países estrangeiros utilizam outras técnicas, integrando estações maregráficas; modelos hidrodinâmicos e oceânicos globais; modelos geoidais locais e modelos globais do geopotencial para assim, definir o modelo de separação (SEP).

Há regiões no Brasil, como o Rio Madeira que estão sobre influencia fluviométrica que o nível do rio varia aproximadamente 8 metros entre o nível de cheia e seca.

2.3 Referencial Altimétrico

Até 1946, não existia no Brasil uma superfície equipotencial de referência a partir da qual permitisse os cálculos das altitudes, ou seja, ainda não havia sido determinado o datum vertical brasileiro. Somente depois que o IBGE deu início à sua Rede de Nivelamento de Precisão, é que foi adotado a Referência de Nível (RN) do Marégrafo de Torres-RS, como o primeiro datum vertical brasileiro (IBGE, 1990). Em 1958, quando a Rede Altimétrica contava com cerca de 30.000 km de linhas de nivelamento, houve a substituição do datum Torres pelo datum Imbituba, definido pela estação maregráfica de Imbituba, localizada no município de mesmo nome, no litoral do Estado de Santa Catarina, do qual prevalece até os dias atuais (IBGE, 2011).

Os pontos conhecidos pela RN têm sua altitude ortométrica (H) determinada por técnicas de nivelamento de precisão e gravimetria. De modo que as altitudes ortométricas estão vinculadas a um conceito físico do campo de gravidade da Terra, podendo ou não ter uma interpretação geométrica (DE FREITAS; BLITZKOW, 1999). Assim a altitude ortométrica de um ponto é à distância deste ponto até o geóide, medido ao longo da vertical (NGS, 1981).

No estabelecimento das redes verticais existe maior preocupação com a precisão das altitudes do que com a precisão das coordenadas horizontais. No entanto, assim como as coordenadas geodésicas, as altitudes das RN's do Sistema

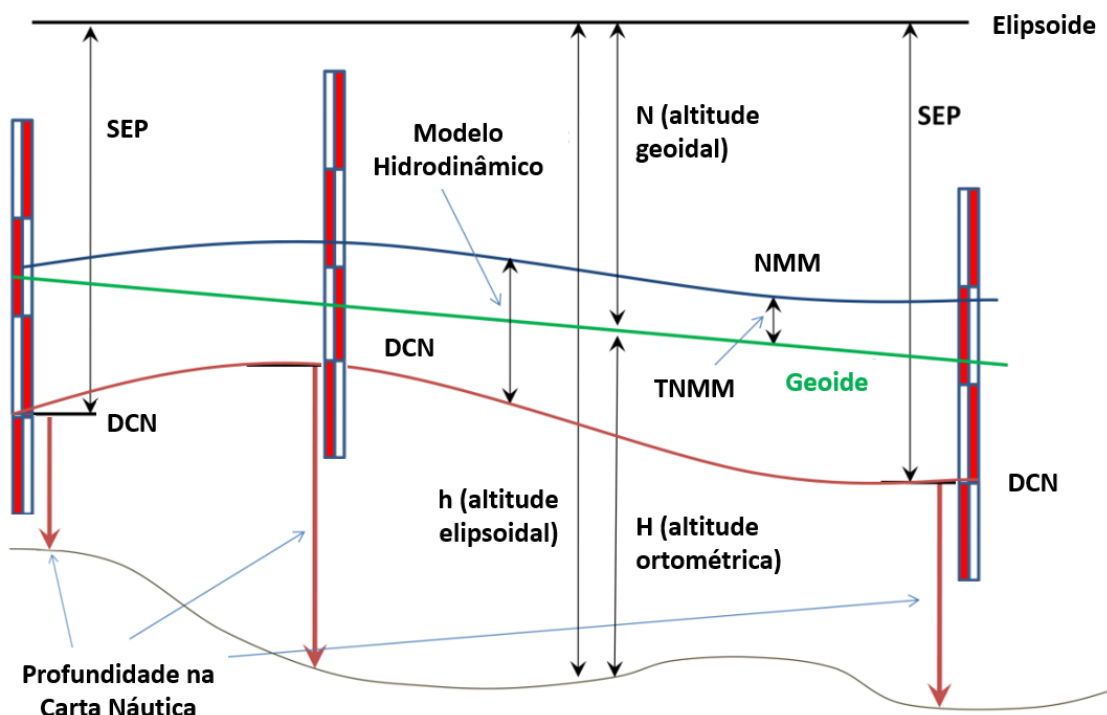
Geodésico Brasileiro são periodicamente recalculadas, em função da incorporação de novas observações, correção de inconsistências, e utilização de novas técnicas de observação e cálculo, pelo IBGE (IBGE, 2011).

2.3.1 Superfícies de Referência Verticais para o cálculo de modelos de separação (SEP)

Para sondagens, levantamentos batimétricos, onde é imprescindível uma redução de sondagem se faz necessário um modelo o qual trabalhará entre um Datum de Carta Náutica (DCN) e o elipsoide de referencia chamado de modelo de separação (SEP).

Em zonas costeiras diferentes superfícies de referências verticais podem ser empregadas para a determinação do SEP, elas podem ser matemáticas, como o elipsoide de revolução; ou físicas, oriundas da maré, ou do campo de gravidade terrestre. Na Figura 2 observa-se o relacionamento entre estas superfícies envolvendo a determinação da Topografia do Nível Médio do Mar (TNMM). O SEP refere-se à separação entre o DCN e o elipsoide nas estações maregráficas. A linha verde representa o geoide. As linhas onduladas representam o NMM e o DCN e pode-se verificar tendências semelhantes. Isso indica que apesar de estarem relacionados, a separação entre estas superfícies será diferente de um lugar para outro. O modelo hidrodinâmico representa esta diferença. Também está indicada nesta figura a separação entre o geoide e o NMM, denominada de TNMM (FIG, 2014).

Figura 2: Relacionamento entre o geóide, o elipsoide e o datum da carta náutica.



Fonte: Adaptada de DODD e MILLS (2012).

2.3.2 Superfície elipsoidal

O Elipsoide de revolução é a superfície matemática, baseada em convenções, representações e cálculos que mais se aproxima da superfície terrestre, sem contar a topografia. E a partir desta superfície, são contadas as altitudes elipsoidais calculadas pelas observáveis transmitidas pelos satélites.

Para garantir uma maior acurácia, o elipsoide precisa estar orientado e fixado em uma determinada época do ITRF, o qual materializa a superfície terrestre a partir de uma série de observações efetuados por diversos sistemas como GNSS, SLR (*Solar Laser Range*), LLR (*Lunar Laser ranger*), VLBI (*Very Long Baseline Inteferometry*) e outros (SIMON, 2013).

Segundo Altamini et al. (2017), a diferença entre o ITRF 2008 e o ITRF 2014, na época, 2010,0 para os eixos x, y e z foi de 1,6 mm, 1,9 mm e 2,4 mm. Assim, as observações GNSS sobre estações maregráficas e referências de nível, promovem altitudes elipsoidais (h) que permitem as transformações entre os sistemas de referência terrestre e oceânicos. (KEYSERS; QUADROS; COLLIER, 2015).

2.3.3 Superfície geoidal

Segundo Sánchez *et al.* (2016), que se baseia nas definições clássicas de Gauss (1876) e Listing (1873), o geóide é dado por W_0 , que é o valor do geopotencial em uma superfície de nível que melhor se aproxima (no sentido dos mínimos quadrados) à superfície do nível médio do mar global, quando este, se encontra totalmente calmo. O valor de W_0 convencionado para a época 2010,0 e adotado em resolução pela IAG (*International Association of Geodesy*) é de $62.636.853,4 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ com erro formal de $\pm 0,02 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ (IAG, 2015; SÁNCHEZ *et al.*, 2016). A modelagem do campo de gravidade é um tanto laboriosa e leva a uma investigação baseada em levantamentos *in situ* com gravímetros supercondutores, relativos e/ou absolutos.

Além das determinações *in situ*, podem ser feitas observações com gravímetros embarcados em aeronaves, navios e em plataformas orbitais (PLAG *et al.*, 2009). Nessa esfera, destacam-se principalmente as contribuições das missões *Challenging Mini-satellite Payload* (CHAMP), *Gravity Recovery and Climate Experiment* (GRACE) e *Gravity Field and steady state Ocean Circulation Explorer* (GOCE) (FLECHTNER; SCHUH; SNEEUW, 2014). Ao longo dos anos, com as missões para modelagem do campo da gravidade, a maior disponibilidade de observações geodésicas terrestres e o desenvolvimento da computação possibilitaram o cálculo de mais de centenas de modelos de Terra, ditos, Modelos Globais do Geopotencial (MGGs), que têm o geóide e o quase geóide como uma das funcionais do campo da gravidade, como EGM2008 (SÁNCHEZ; SIDERIS, 2017).

2.3.4 Superfícies a partir do NMM

De acordo com Feng, Jin e Zhang (2012), mensurações do nível do mar são realizadas a partir de duas técnicas principais: observações em estações maregráficas e a altimetria por satélites. As estações maregráficas fixas à crosta terrestre medem o nível do mar de maneira pontual, cujas medidas sofrem influência da dinâmica da crosta terrestre, precisando de correções. (FENG; JIN; ZHANG, 2012). Além disto, verifica-se uma baixa distribuição espacial de marégrafos e as

observações são efetuadas de maneira relativa ao nível zero do instrumento de medida.

Visando o monitoramento do nível do mar em regiões próximas à costa, em estuários ou baías, Pineau-Guillou e Dorst (2012) apresentam uma solução que consiste no uso de boias ou navios dotados de receptores GNSS. Analogamente, a publicação FIG (2014) descreve a utilização de marégrafos de fundo, utilizando embarcações com receptores GNSS sob os marégrafos para referenciar suas medições ao elipsoide de referência.

Os produtos derivados de satélites altimétricos, por sua vez, são disponibilizados por diversos institutos de pesquisas. Com o lançamento da missão altimétrica Topex/Poseidon (T/P), em 1992, observações absolutas do nível do mar começaram a ser realizadas diretamente nos oceanos e relacionadas a um elipsoide de referência (SLOBBE; KLEES, 2012). Esta técnica, apesar de possuir perda de precisão na costa devido à interação oceano/continente, proporciona um recobrimento espacial sem precedentes nas observações do nível do mar. Por exemplo, o *The National Space Institute at the Technical University of Denmark* (DTU Space), instituto dinamarquês de pesquisas vinculado à Universidade Técnica da Dinamarca, gera diversos produtos como: Estimativas da alteração do Nível do Mar, Modelos Globais de Batimetria, Modelos Globais do Campo de Gravidade, Modelos Globais de Marés, Modelo da superfície LAT, Modelos Globais da Superfície Média do Mar e Modelos da Topografia Dinâmica do Mar (DTU, 2020).

Os modelos de superfície derivados de missões altimétricas possuem perda de precisão na costa, conforme citado anteriormente, todavia podem ser corrigidos por modelos hidrodinâmicos. Estes modelos descrevem a reação do corpo d'água introduzindo condições de contorno (batimetria e linha de costa) e forçantes externas (sistema Solar/Lunar e efeitos meteoceanográficos). Ele utiliza um conjunto de algoritmos baseados na dinâmica de fluidos, derivados das leis do movimento de Newton, porém necessitam ser calibrados por estações maregráficas e meteoceanográficas (FIG, 2014; MMA, 2018; DTU, 2020).

Assim, a TNMM, também chamada de *Sea Surface Topography* (SST), pode ser medida por meio da média do desvio entre a superfície dos oceanos em relação ao geoide, sendo influenciada por diversos fatores meteorológicos e oceanográficos. Pode ser determinada na costa por estações maregráficas onde o nível médio do mar foi observado e nivelado ao referencial altimétrico terrestre; ou nos oceanos,

pelos satélites altimétricos, obtido pela diferença entre a Superfície Média do Mar (MSS – *Mean Sea Surface*) e o geoide, caso em que também é chamada de Topografia Dinâmica Oceânica Média (MDOT – *Mean Dynamic Ocean Topography* ou MDT - *Mean Dynamic Topography*) (FIG, 2014).

2.4 Nível de Redução

É um plano de referencia ao quais todas as profundidades cartografadas estão relacionadas em um determinado local, em muitas literaturas também chamado de Plano Comum, Datum Vertical e Datum de nível d'água. Segundo (OHI, 2005), o Nível de Redução (NR) é um plano tão baixo que a maré, em condições normais, não fique abaixo dele.

Conforme Miguens (1996), o NR adotado pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) é normalmente o nível médio das baixa-mares de sizígia (MLWS), geralmente se encontram maiores profundidades que as sondagens lançadas na carta, entretanto, por ocasião das baixa-mar de sizígia, podem ser encontradas profundidades menores que as constantes da carta. Seguem os conceitos:

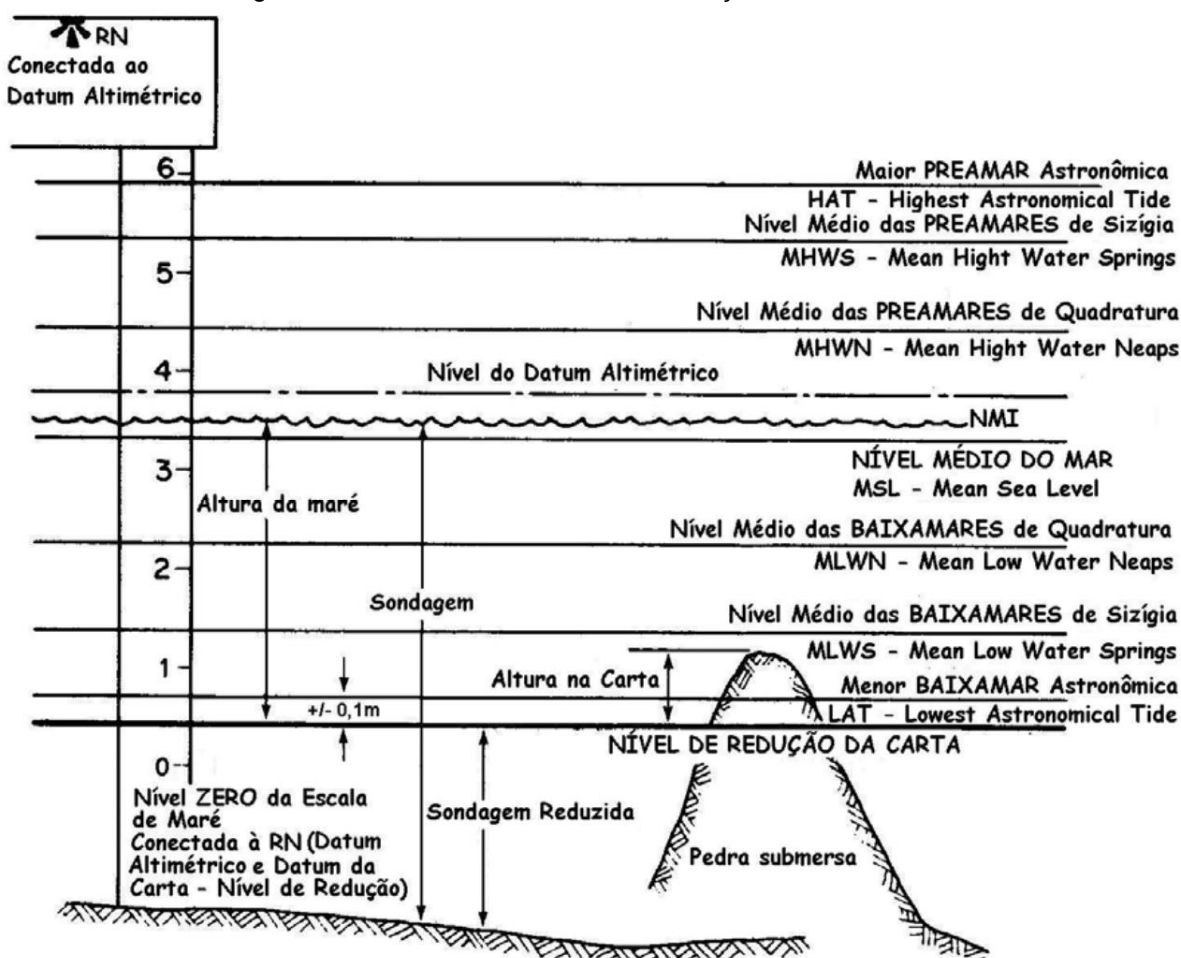
- BAIXA-MAR (BM): Menor altura que alcançam as águas em uma oscilação;
- PREAMAR (PM): Maior altura que alcançam as águas em uma oscilação;
- AMPLITUDE DA MARÉ: Distância vertical entre uma PM e uma BM consecutivas. Para esclarecimento, nas luas nova e cheia, a força gravitacional do Sol atua na mesma direção que a da Lua, produzindo marés mais altas, chamadas marés de sizígia.
- MLWS ("*Mean Low Water Springs*") – média das BM de sizígia ou altura da BM média de sizígia, (altura média, deduzida de uma longa série de observações, das alturas das BM de sizígia). No Brasil, o plano do MLWS materializa o NR, sendo adotado pela DHN como Nível de Redução (NR) nas cartas náuticas brasileiras. O MLWS é obtido a partir da análise harmônica de registros temporais da variação do nível do mar para uma estação maregráfica específica.

- Nível Médio do Mar (NM): altura média da superfície do mar para todos os estágios de oscilação da maré, que foram observados em um longo período de tempo (maior que 18,6 anos).

Em áreas cujas variações de maré sejam pequenas (amplitudes centimétricas), como no caso da região dos Grandes Lagos na fronteira dos Estados Unidos e Canadá, é adotado o LWD (*Lower Water Datum*), baseado em análises de médias mensais do nível do mar (MILLS e GILL, 2005).

Visando uma padronização mundial, foi adotado pela OHI o plano definido pela LAT (*Lowest Astronomical Tide*) como padrão internacional para o NR (OHI, 2005). Alguns planos de variação de marés são apresentados na Figura 3.

Figura 3: Níveis de Maré e Nível de Redução da Carta Náutica.



Fonte: Adaptado de INGHAM (1984).

O LAT é definido como o nível de maré mais baixo previsto para ocorrer, sob condições meteorológicas médias e quaisquer combinações de condições astronômicas, no Brasil conforme explicado dentro do subitem 2.2.1, não é utilizado. Deve ser calculado para um período mínimo de 19 anos, a partir de componentes harmônicas obtidas a partir de um período mínimo de um ano (OHI,2005).

2.5 Sistema Geodésico de Referência

Segundo Mônico (2008), um Sistema Geodésico de Referência (SGR) é definido com base num conjunto de parâmetros e convenções, acoplado a um elipsóide adequado às dimensões da Terra, constituindo um referencial apropriado para atribuição das posições de pontos sobre a superfície terrestre. A materialização do sistema é definida através da determinação de um conjunto de coordenadas de estações, obtidas por diferentes técnicas de posicionamento, criando a estrutura ou rede de referência.

Um SGR é ainda um Sistema Terrestre Convencional (CTS - *Conventional Terrestrial System*) associado às constantes geométricas e físicas do campo gravitacional. Um CTS é um sistema cartesiano geodésico onde sua origem está situada no centro de massa da Terra. São derivados de observações do campo da gravidade terrestre, partindo de observações de satélites e definidos por modelos, parâmetros e constantes (TORGE, 2001).

A evolução tecnológica propiciou o melhoramento dos Sistemas Geodésicos de Referência - SGR's ao longo do tempo, tanto no aspecto de definição, como no de realização do sistema. Assim, os produtos cartográficos nacionais, gerados em diferentes épocas, estão referenciados com base em diferentes sistemas, a saber: Córrego Alegre (realizações 1961 e 1970/1972), SAD69 (realização inicial, realização 1996, realização técnica Doppler ou GPS), e por último, o SIRGAS2000 (materialização 2000,4).

O conhecimento das características mais importantes desses sistemas, a quantificação das diferenças entre eles e as formas adequadas de conversões são aspectos muito importantes para a qualidade dos trabalhos e análises cartográficas.

2.5.1 Sistema Córrego Alegre

O Datum Córrego Alegre foi oficialmente adotado no país da década de 1950 e utilizado até a década de 1970. Na definição deste sistema adotou-se como superfície de referência o Elipsóide Internacional de Hayford de 1924, caracterizado por um semieixo maior, $a = 6.378.388\text{m}$ e achatamento $f = 1/297$. Como ponto origem foi escolhido o vértice geodésico Córrego Alegre, situado em Minas Gerais, no qual o posicionamento e a orientação do elipsóide de referência foram feitos astronomicamente. Neste vértice adotaram-se valores nulos para as componentes do desvio da vertical e para a ondulação geoidal. Existem duas materializações do Córrego Alegre, a materialização de 1961 e a materialização de 1970 - 1972 (IBGE, 1996).

2.5.2 Sistema SAD69

O South American Datum 1969 (SAD69) foi adotado como sistema de referência oficial no Brasil no final da década de 70, tomando como modelo geométrico da Terra, o Elipsóide de Referência Internacional de 1967 ($a = 6.378.160\text{m}$ e $f = 1/298,25$) e como origem, o vértice geodésico Chuá em Minas Gerais. O SAD69 foi estabelecido antes do surgimento das técnicas espaciais de posicionamento. Assim, corresponde a um sistema de referência clássico, cuja materialização foi realizada através de técnicas e metodologias de posicionamento terrestre. Além disso, possui caráter regional ou local, não existindo coincidência entre o centro do elipsóide e o centro de massa da Terra (IBGE, 1989).

2.5.3 Sistema SIRGAS

O projeto SIRGAS teve início em 1993, com a finalidade de estabelecer um sistema de referência geocêntrico para a América do Sul. Foi decidido adotar o elipsóide GRS80 ($a = 6.378.137\text{ m}$ e $f = 1/298,257222101$), além de estabelecer e manter uma rede de referência e um Datum (modelo matemático da Terra) geocêntrico. Entre os meses de maio e junho de 1995 realizou-se a primeira parte do projeto, formando uma rede GPS de precisão com 58 estações para toda a América do Sul.

A Resolução do IBGE Nº1/2005 de 25/02/2005 estabeleceu o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), em sua realização do ano de 2000 (SIRGAS2000), como novo SGR para o SGB e para o Sistema Cartográfico Nacional (SCN). Com essa adoção garante-se a qualidade dos levantamentos GPS, devido à necessidade de um sistema de referência geocêntrico compatível com a precisão dos métodos e técnicas de posicionamento atuais e com os demais sistemas adotados em outros países (ZANETTI, 2006).

2.6 GNSS – Global Navigation Sattelite System

Segundo Seeber (2003), o termo GNSS foi criado pela ICAO (*International Civil Aviation Organization*) durante a X Conferência de Navegação Aérea em 1991, onde reconheceu que a tendência seria que a navegação por satélites artificiais se tornasse cada vez mais baseada em uma composição de sistema de navegação global.

O termo GNSS é atualmente empregado quando o usuário emprega mais de um sistema de posicionamento por satélites, como: GPS, GLONASS, Galileo e o BeiDou. Existem também, sistemas que são usados para melhorar o desempenho dos sistemas globais de navegação por satélite, como os Sistemas de Aumento Baseados em Satélites (SBAS) e os Sistemas de Aumento Baseados em Estações Terrestres (GBAS). Exemplos de SBAS são: WAAS (*Wide Area Augmentation System* – EUA), EGNOS (*Geostationary Navigation Overlay Service Europeia*), GAGAN (*GPS Aided Geo Augmented Navigation* – Índia), dentre outros.

O GPS, foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América (DoD) no início da década de 1960, sob o nome de projeto NAVSTAR-GPS (*Navigation Satellite with Time and Ranging*), visando ser o principal sistema de navegação das forças armadas americanas. Os objetivos originais do GPS eram a determinação instantânea da posição, velocidade (navegação) e a coordenação precisa do tempo (transferência de tempo), a princípio, apenas para uso militar. Porém, o Congresso dos EUA, dada solicitação do presidente, orientou o DoD a promover seu uso civil. Este sistema deixou de ser restritamente militar no ano 2000. O segmento de usuários fornece dois níveis de serviço: o Serviço de Posicionamento Padrão (SPS) para usuários civis; e o Serviço de Posicionamento

Preciso (PPS) para usuários autorizados (MONICO, 2008; HOFMANN-WELLENHOF *et al.*, 2008).

O sistema GLONASS, foi inicialmente desenvolvido pela extinta União Soviética (USSR) e hoje é de responsabilidade da República da Rússia, sendo controlado e desenvolvido pela *Russian Federation Space Forces*. Similar ao GPS, foi desenvolvido inicialmente para fins militares, porém em maio de 1988, em um Comitê Especial do ICAO, foi disponibilizado a comunidade mundial o uso gratuito dos sinais de navegação do GLONASS. Foi declarado operacional em 1995 com 24 satélites, mas por falta de manutenção, em 2002 se encontrava com apenas 7 satélites operacionais. Desde 2011 o sistema conta com pelo menos 24 satélites em funcionamento (JEREZ; ALVES, 2018).

A Comissão Europeia, juntamente com a ESA (*European Space Agency*) e Indústria europeia, desenvolvem um Sistema de Navegação por Satélite Europeu, o sistema Galileo. O sistema recebe este nome em homenagem ao cientista e astrônomo italiano Galileu Galilei (1564-1642) (HOFMANN-WELLENHOF *et al.*, 2008). O sistema Galileo pretende oferecer cinco níveis de serviço, com assinaturas necessárias para alguns dos mesmos, sendo os cinco serviços: serviço aberto (OS); serviço comercial (CS); serviço de salvaguarda da vida humana (SOL); serviço público regulado (PR); e serviço de busca e salvamento (SAR).

O sistema será controlado pelas autoridades civis e terá interoperabilidade com GPS e GLONASS (SEEBER, 2003). Desde 2014, satélites têm sido lançados continuamente visando atingir a fase operacional (FOC - *Full Operational Capability*) (SETTI JÚNIOR; GOUVEIA; ALVES, 2016). Ele deverá ser declarado operacional em 2021 (Da SILVA, 2021), enquanto o sistema não é declarado operacional, a ESA (*European Space Agency*) não garante que os sinais Galileo estejam disponíveis.

BeiDou é o sistema global de navegação por satélite da China, que está sendo desenvolvido de forma independente, iniciado como um serviço regional que se expandiu para um serviço global. A estrutura do BeiDou é semelhante aos outros sistemas globais. De acordo com Hofmann-Wellenhof *et al.* (2008), a constelação de satélites BeiDou será composta por 27 satélites MEO (Medium Earth Orbit), 5 satélites em Órbita Geoestacionária (GEO) e mais 3 satélites em Órbita Geossíncrona Inclinada (IGSO). O sistema global terá quatro níveis de serviços: Serviço Aberto (OS), para usuários civis; Serviço Comercial (CS), serviço complementar ao OS com características diferentes afim de atender o cliente;

Serviço de Regulação Pública (PRS), serviço restrito ao governo; e Serviço de Busca e Resgate (SAR), contribuição para buscas e resgates em desastres. Segundo Da Silva (2021) o sistema foi declarado operacional em julho de 2020.

2.6.1 Pseudodistância

A pseudodistância, a partir de medições de código, é obtida da correlação entre o código gerado pelo satélite no instante de transmissão e sua réplica gerada no receptor no instante de recepção, multiplicado pela velocidade da luz (SEEBER, 2003). É a distância medida entre o satélite e a antena do receptor, referida às épocas de emissão e recepção dos códigos (LEICK, 1995). A equação de observação da pseudodistância é descrita abaixo (adaptada de MONICO, 2008):

$$PD_r^S = \rho_r^S + c [dt_r - dt^S] + I_r^S + T_r^S + b_r + b^S + dm_r^S + \varepsilon_{PD_r}^S \quad (1)$$

onde:

ρ_r^S - distância geométrica entre o centro de fase da antena do receptor, no instante de recepção do sinal, e do satélite no instante de transmissão do sinal;

c - velocidade da luz no vácuo;

dt_r - erro do relógio do receptor no instante t_r em relação ao tempo GPS;

dt^S - erro do relógio do satélite no instante t^S em relação ao tempo GPS;

t_r - instante de recepção do sinal;

t^S - instante de transmissão do sinal;

I_r^S - erro causado pela refração ionosférica;

T_r^S - erro causado pela refração troposférica;

b_r - componentes do atraso de hardware, em metros, originados no receptor;

b^S - componentes do atraso de hardware, em metros, originados no transmissor do satélite;

dm_r^S - erro causado pelo multicaminhamento;

$\varepsilon_{PD_r}^S$ - resíduo da pseudodistância contendo os erros não modelados.

Na distância geométrica ρ_r^S estão implícitas as coordenadas da antena do receptor e do satélite. A ρ_r^S sendo expressa em função dessas coordenadas é apresentada na expressão abaixo:

$$\rho_r^S(t) = \sqrt{(X^S(t) - X_r)^2 + (Y^S(t) - Y_r)^2 + (Z^S(t) - Z_r)^2} \quad (2)$$

Onde:

t – época de interesse;

X^S, Y^S, Z^S – coordenadas da antena do satélite (s);

X_r, Y_r, Z_r – coordenadas da antena do receptor (r).

2.6.2 Fase de onda portadora

A fase da onda portadora é a observável básica para a maioria das atividades geodésicas. Muito mais precisa que a pseudodistância, ela é igual à diferença da fase do sinal do satélite, recebido no receptor, e a fase do sinal gerado no receptor, ambas no instante de recepção do sinal. Os receptores medem a parte fracional da portadora, restando um número inteiro de ciclos no instante inicial do rastreamento, denominado de ambiguidade. A equação de observação da fase da onda portadora, em metros, pode ser escrita como (adaptada de MONICO, 2008):

$$\varphi_r^S(t) = f \left(\frac{\rho_r^S + I_r^S + T_r^S + dm_r^S}{c} \right) + f(dt_r - dt^S) + \left(\varphi^S(t_0) - \varphi_r(t_0) \right) + \bar{N}_r^S + \varepsilon_{\varphi_r}^S \quad (3)$$

f – frequência da onda portadora;

$\varphi^S(t_0)$ - fase da portadora gerada no satélite s e recebida no receptor r na época de referência t_0 ;

$\varphi_r(t_0)$ - fase gerada no receptor na época de referência t_0 ;

\bar{N}_r^S - é a ambiguidade inteira e os componentes do atraso de hardware;

$\varepsilon_{\varphi_r}^S$ - outros erros não modelados na fase da onda portadora.

2.6.3 Métodos de posicionamento

A partir de técnicas de posicionamento são possíveis obter as coordenadas que comporão um determinado projeto, essas podem ser calculadas de acordo com as pseudodistâncias observadas ou com as informações das fases das ondas portadoras. Pode-se empregar um posicionamento por ponto ou relativo. No primeiro caso as coordenadas são fornecidas, instantaneamente, em relação ao geocentro de um sistema geodésico de referência, por exemplo, WGS-84 (GPS) e PZ-90 (GLONASS) e no segundo caso tem-se a determinação do vetor formado entre as estações base e móvel, obtendo-se as coordenadas da estação móvel após o fornecimento das coordenadas da estação base num sistema de referência. Neste ultimo caso alguns erros atuantes no posicionamento (por exemplo, atmosféricos, de orbita, do sincronismo dos relógios em relação ao tempo GPS) podem ser praticamente eliminados se a linha de base formada entre as estações for curta.

Outro conceito importante no geoposicionamento é o conceito de posicionamento em tempo real e o pós-processado. No primeiro caso, a estimativa da posição da estação de interesse ocorre praticamente no mesmo instante em que as observações são coletadas. No pós-processado, as posições dos pontos em que dados foram coletados são estimativas num processamento posterior à coleta dos dados (Hofmann-Wellenhof *et al*, 1997).

Na literatura têm-se diferentes classificações quanto aos métodos de posicionamento, cita-se: posicionamento por ponto (instantâneo), posicionamento por ponto preciso (pós-processado), posicionamento relativo (estático, estático rápido, cinemático); posicionamento em tempo real em linha de base (por exemplo DGPS, RTK) e posicionamento em tempo real em rede (por exemplo WADGPS, RTG). Na sequencia são abordados os métodos empregados nesta pesquisa e mais detalhes sobre os demais consultar Seeber, Mônico, Krueger *et al.* (2020).

2.6.3.1 Posicionamento relativo estático

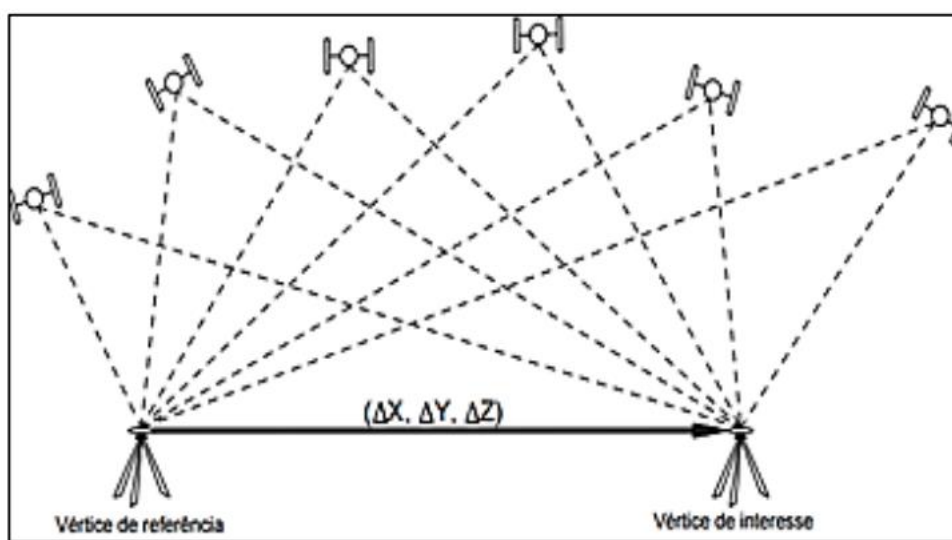
É uma técnica de posicionamento relativo associado à utilização da fase da onda portadora foi à primeira técnica que possibilitou ao GPS alcançar a precisão centimétrica, ampliando largamente suas potencialidades (REMONDI, 1986). O conceito fundamental do posicionamento relativo é que os dois ou mais receptores

envolvidos rastreiam, simultaneamente, um grupo de pelo menos quatro satélites simultaneamente.

De acordo com Briceno (2001), a observável normalmente adotada no posicionamento relativo estático é a dupla diferença da fase de batimento da onda portadora, podendo também ser utilizado a dupla diferença da pseudodistância ou ambas. Os melhores resultados em termos de acurácia ocorrem quando se tem duas observáveis.

Nos métodos relativo estático e estático rápido, podem-se utilizar receptores simples (L1) ou dupla frequência (L1 e L2). No campo deve-se ter um receptor fixo servindo de base, coletando dados simultaneamente, enquanto o outro receptor percorre as áreas e pontos de interesse, conforme Figura 4.

Figura 4: Posicionamento pelo posicionamento relativo estático e estático rápido.



Fonte: IBGE.

Neste tipo de posicionamento, os receptores rastreiam por um período de tempo que pode variar de dezenas de minutos (20 minutos no mínimo) até algumas horas. Devido ao longo período de ocupação das estações este método utiliza mais a fase de onda portadora cuja precisão é superior ao da pseudodistância, que só é utilizada no pré-processamento. Devido ao cuidado e apoio ser de mais longo tempo é o mais preciso e mais adequado para levantamentos geodésicos e geodinâmicos.

2.6.3.2 Posicionamento relativo estático rápido

Para Costa (2002), o posicionamento relativo estático rápido difere do estático somente pelo tempo durante o período de ocupação da estação, que neste caso não passa de 20 minutos. A utilização deste método é propícia para levantamentos em que se deseja alta produtividade.

Nesta técnica de posicionamento, os receptores em movimento, permanecem sobre os vértices de interesse de 5 a 20 minutos para cada coleta de dados. Não há necessidade da continuidade de rastreamento durante as mudanças de pontos de interesses nem do receptor permanecer ligado durante o percurso.

Os dados coletados da estação base e do receptor de caminhada são processados para que se solucione o vetor de ambiguidade e se consiga uma melhor precisão. Este método é adequado para levantamentos em torno de dez quilômetros de raio da estação base.

A Tabela 1 traz um resumo das técnicas de posicionamento mais utilizadas, bem como o tipo de observação e precisão obtida em condições ideais.

Tabela 1: Precisão das Técnicas de Posicionamento.

| Técnica | | Observação | Precisão (nível de confiança de 68,2%) |
|----------------|-----------------|---------------------------|---|
| Por | Convencional | Pseudodistância | 15,3m |
| Ponto | Preciso | Pseudodistância e fase | 0,02m |
| Relativo | Estático | DD Pseudodistância e fase | 0,01 a 1ppm |
| | Estático Rápido | DD Pseudodistância e fase | 1 a 10ppm |

Fonte: IBGE.

2.7 Levantamento Batimétrico

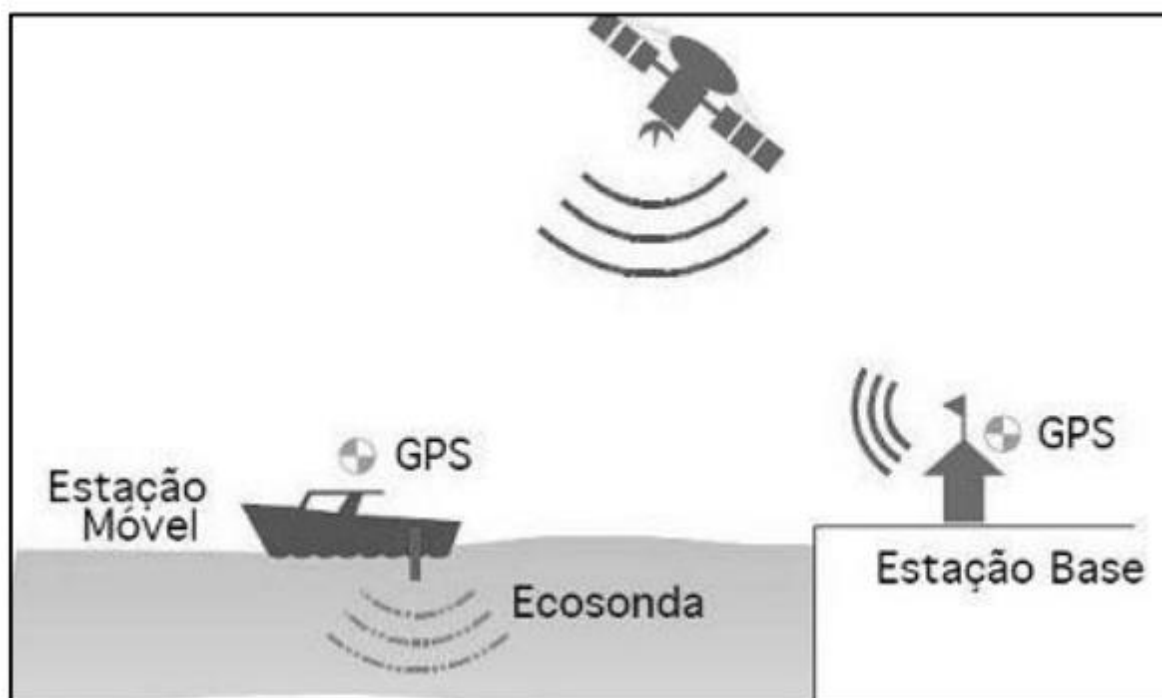
Os levantamentos batimétricos automatizados são realizados a bordo de embarcações utilizando-se de ecobatímetros para medição de profundidades numa alta taxa de amostragem e de um ou mais receptores GPS (*Global Positioning System*) para o posicionamento planimétrico diferencial. Estes levantamentos são relativamente de baixo custo, reduzido tempo de execução e com alto grau de eficiência (IHO, 2005).

O princípio fundamental de funcionamento de um ecobatímetro consiste na transmissão vertical de um feixe de ondas sonoras ou ultra-sonoras por um emissor instalado na embarcação de sondagem, chamado transdutor. As ondas sonoras emitidas pelo transdutor atravessam o meio líquido e atingem o fundo. Parte da energia refletida, o eco, retorna a superfície, onde é detectada pelo transdutor, o tempo decorrente da emissão e recepção da onda sonora é então medido pelo ecobatímetro. Conhecendo-se a velocidade de propagação do som na água é possível medir a profundidade. A profundidade medida é tecnicamente conhecida como 'sondagem' (IHO, 2005; RIBEIRO, 2008).

Uma das maiores dificuldades em levantamentos batimétricos sempre foi o controle do posicionamento planimétrico da embarcação de sondagem, em razão da impossibilidade de se materializar pontos estáveis de observação (marcos) e tampouco efetuar medições repetidas, para um posterior ajustamento das profundidades (RAMOS, 2007).

No início dos anos 90 uma nova técnica, denominada RTK (Real Time Kinematic), foi desenvolvida como alternativa para melhorar a precisão do método diferencial baseado em observações do código ou código suavizado pela onda portadora (DGPS). O princípio básico do funcionamento do sistema RTK consiste no posicionamento em tempo real de uma estação móvel através das correções diferenciais geradas na estação de referência, como pode ser visto na Figura 5. A transmissão dos dados para a estação móvel é de extrema importância e pode ser realizado via link de rádio, celular ou algum outro tipo de sistema de comunicação (KRUEGER, 1999; MÔNICO, 2007).

Figura 5: Esquema de funcionamento da batimetria em tempo real.



Fonte: Ferreira Et. Al. (2012)

A análise batimétrica possibilita a obtenção de um mapa de profundidade, garantindo uma maior segurança na tomada de decisões que visem o uso e a gestão sustentável de um determinado corpo hídrico.

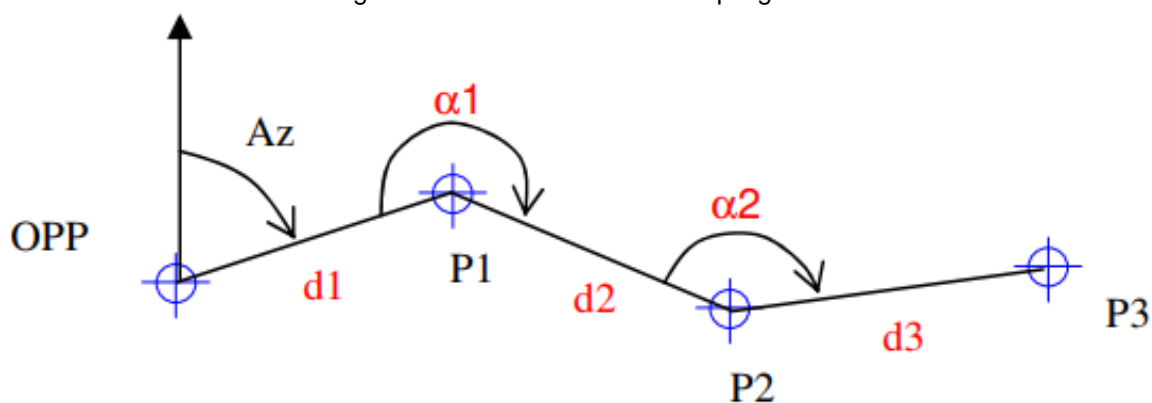
2.8 Levantamento Topográfico

De acordo com a ABNT NBR 13133, é o conjunto de métodos e processos que, através de medições de ângulos horizontais e verticais, de distâncias horizontais, verticais e inclinadas, com instrumental adequado à exatidão pretendida, primordialmente, implanta e materializa pontos de apoio no terreno, determinando suas coordenadas topográficas. A estes pontos se relacionam os pontos de detalhes visando à sua exata representação planimétrica numa escala predeterminada e à sua representação altimétrica por intermédio de curvas de nível, com equidistância também predeterminada e/ ou pontos cotados.

2.8.1 Poligonal

A poligonação é um dos métodos mais empregados para a determinação de coordenadas de pontos em topografia, principalmente para a definição de pontos de apoio planimétricos. Uma poligonal consiste em uma série de linhas consecutivas onde são conhecidos os comprimentos e direções, obtidos através de medições em campo. O levantamento de uma poligonal é realizado através do método de caminhamento, percorrendo-se o contorno de um itinerário definido por uma série de pontos, medindo-se todos os ângulos, lados e uma orientação inicial (Figura 6). A partir destes dados e de uma coordenada de partida, é possível calcular as coordenadas de todos os pontos que formam esta poligonal.

Figura 6: Levantamento de uma poligonal.



Fonte: UFPR - Fundamentos de Topografia.

A partir de uma poligonal é possível estabelecer uma série de vértices os quais auxiliarão o levantamento ao longo da área de interesse, estes terão suas coordenadas obtidas a partir de uma coordenada e orientação ou de dois pares de coordenadas iniciais.

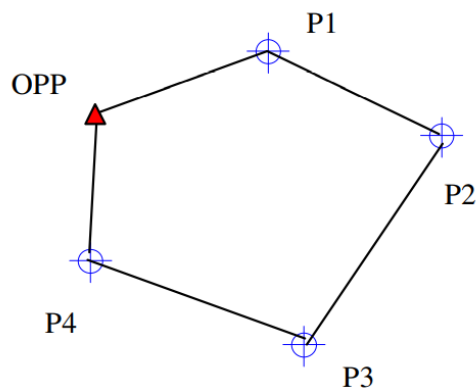
A ABNT NBR 13133 (ABNT, 1994) classifica as poligonais em principal, secundária e auxiliar:

- Poligonal principal: poligonal que determina os pontos de apoio topográfico de primeira ordem;
- Poligonal secundária: aquela que, apoiada nos vértice da poligonal principal determina os pontos de apoio topográfico de segunda ordem;

- Poligonal auxiliar: poligonal que, baseada nos pontos de apoio topográfico planimétrico, tem seus vértices distribuídos na área ou faixa a ser levantada, de tal forma que seja possível coletar, direta ou indiretamente, por irradiação, interseção ou ordenadas sobre uma linha de base, os pontos de detalhes julgados importantes, que devem ser estabelecidos pela escala ou nível de detalhamento do levantamento.

No estudo para determinação das coordenadas dos vértices que formam a poligonal e principalmente nivelar a régua implantada adotou-se a técnica de poligonal fechada (Figura 7), sendo a grande vantagem a verificação dos erros de fechamento angular e linear do levantamento sendo amparado pela norma NBR 13.133.

Figura 7: Ilustração de poligonal fechada.



Fonte: UFPR - Fundamentos de Topografia.

Segundo a ABNT NBR 13133 (ABNT, 1994 p.7), na hipótese de o apoio topográfico vincular-se à rede geodésica (Sistema Geodésico Brasileiro - SGB), a situação ideal é que pelo menos dois pontos de coordenadas conhecidas sejam comuns.

3 ESTADO DA ARTE

Nos levantamentos hidrográficos em geral, as profundidades que são obtidas incluem a variação do nível d'água no instante da medição, a qual podem variar de centímetros ou metros de um local para outro. Em 2002 foi criado o Grupo de Trabalho 4.2 "Vertical Reference Frames", dentro da Comissão 4 (*Hydrography*) da FIG (*Fédération Internationale des Géomètres*), que vem desenvolvendo

juntamente com a Comissão 5 (*Positioning and Measurements*) pesquisas para o estabelecimento de uma superfície de referência vertical global para Hidrografia (VRSH - *Vertical Reference Surface for Hydrography*), através de modelos de separação entre os diversos dados locais e um datum vertical global para Hidrografia (ADAMS, 2005). Este objetivo se junta com o desenvolvimento de um Sistema de Referência Vertical Global conduzido pela IC-P1.2 (*Inter-Commission Project*) da IAG (*International Association of Geodesy*). A FIG sugere a adoção do elipsóide GRS80, orientado em relação ao ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*) a uma determinada época (FIG, 2006). Dentre as principais vantagens dos modelos de separação estão: aperfeiçoamento de estudos relacionados aos fenômenos costeiros, tais como inundações decorrentes da ação de furacões e tsunamis, otimização do gerenciamento de zonas costeiras e definição de limites marítimos.

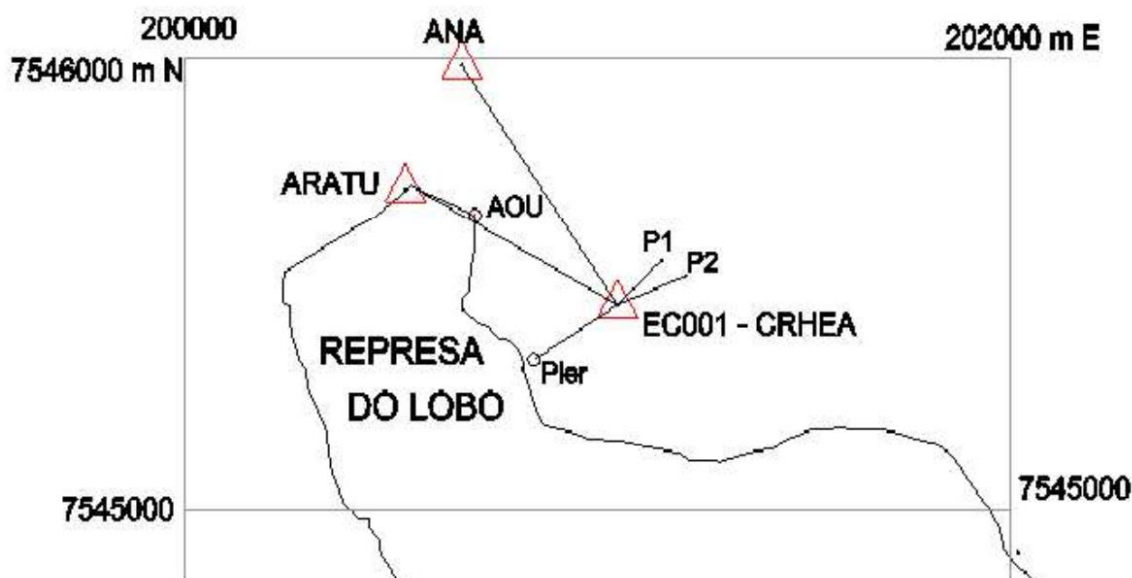
Definida a relação entre o nível de redução local e um elipsóide de referência, torna-se factível o emprego de sistemas GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) de alta precisão para o controle vertical de levantamentos hidrográficos. Desta forma, observações maregráficas costeiras e algumas correções verticais aplicadas ao transdutor dos ecobatímetros, tornam-se dispensáveis. Isto é possível a partir do correto alinhamento e sincronismo entre os sensores empregados (posicionamento, acústicos e inerciais) nos levantamentos. Atualmente esta integração é executada através dos programas hidrográficos de aquisição automática, que envolvem a etapa de planejamento, aquisição dos dados, processamento e elaboração de produtos (mapas, modelos 3D etc).

Ramos (2009), aplicou técnicas com GPS de alta precisão para estabelecer um controle vertical. No estudo foram analisados o Erro Total Propagado (ETP) a partir das diferenças observadas na comparação entre as sondagens regular e de verificação, segundo os padrões recomendados pela OHI. A área de estudo foi na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro (RJ), tendo sido empregadas as estações maregráficas de Ilha Fiscal e Ponta da Armação para controle de qualidade dos resultados, obtidos pelos sistemas RTK (*Real Time Kinematic*) Trimble 7400 e NovAtel FlexPak, além do sistema C-Nav 2050M RTG (*Real Time GIPSY*), empregado pela primeira vez em levantamentos hidrográficos no Brasil para controle vertical. Ramos (2009) chegou ao resultado em que as separações verticais entre os Níveis de Redução e o elipsóide associado ao sistema WGS-84 G1150, em ambas as estações maregráficas, apresentaram uma diferença de 5,3cm. Enquanto os

valores de Z_0 entre as estações era de apenas 2,3cm. Estas diferenças não foram significativas em termos de reduções batimétricas, uma vez que a DHN estabelece um erro máximo de até 10cm (DHN, 1998). Considerando as características da circulação hidrodinâmica na Baía de Guanabara, a maior variação dos valores de Z_0 ocorre no sentido do escoamento, aproximadamente alinhado ao eixo Norte-Sul. Como as estações maregráficas estão dispostas muito próximas ao mesmo paralelo, eram esperadas estas pequenas diferenças em Z_0 .

Vitti (2016), determinou através de técnicas com GNSS em locais onde a gravidade é desconhecida calculou a componentes do desvio da vertical para correção do nivelamento GNSS e assim obteve o desnível geométrico de um alinhamento com referência ao geoide local. A Figura 8, apresenta a área de estudo nas adjacências da represa do Lobo, entre os municípios de Itirapina e Brotas, São Paulo foi realizado o nivelamento GNSS com receptores Leica GS-15 RTK no método rápido estático com 1000 posições a uma taxa de coleta de 1 segundo e nivelamento geométrico com nível Leica Sprinter 150M de 4 alinhamentos, em que foram determinados os valores das componentes do desvio da vertical ζ e η e a correção a ser aplicada ao nivelamento GNSS. Os valores encontrados foram 1,89" para ζ e 9,84" para η que possibilita a correção do nivelamento GNSS para pontos nivelados a partir da base geodésica EC001, localizada no CRHEA (Centro de Recursos Hídricos e Estudos Ambientais).

Figura 8: Alinhamentos EC001 - P1, EC001- P2, EC001-ARATU e EC001- ANA onde foram realizados nivelamento GNSS e geométrico.



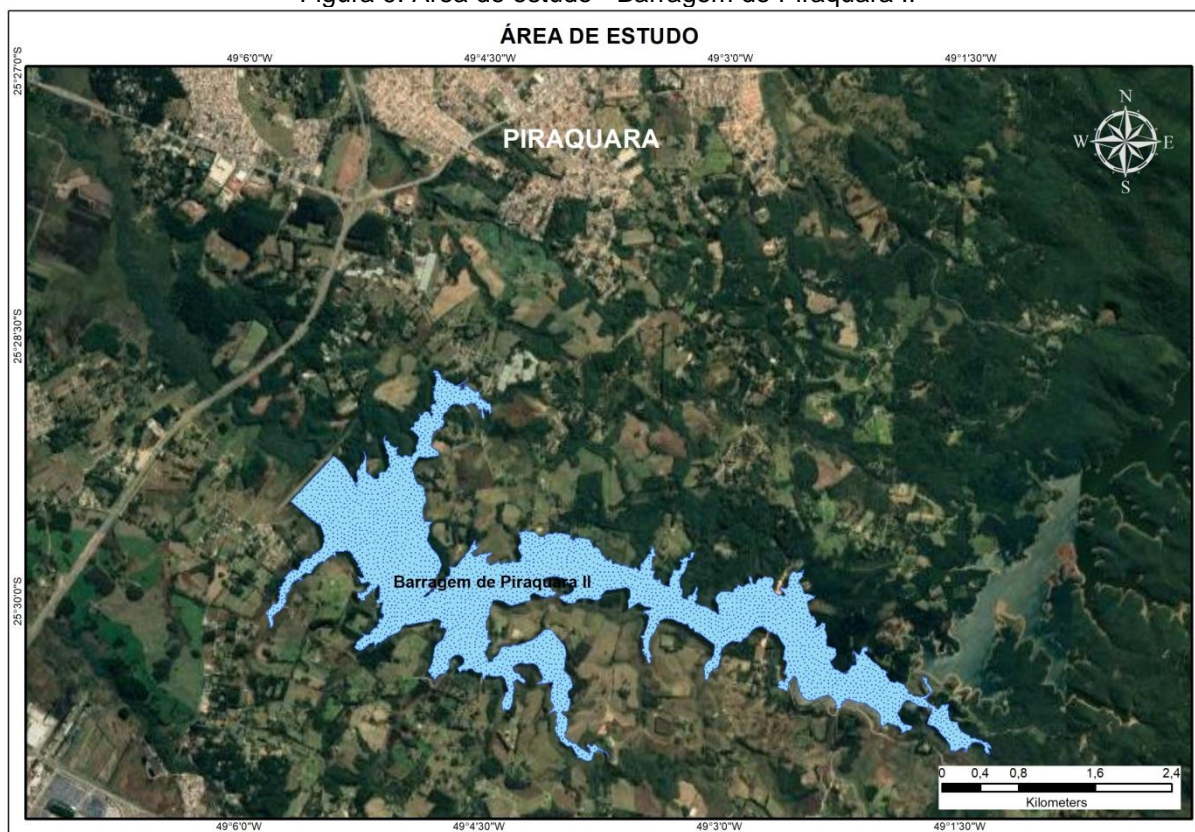
Fonte: Revista Brasileira de Cartografia (2017), No 69/2: 253-261 – Texto Artigo: 183001-1-10-20180817

Vitti, concluiu que o método combinado de nivelamento e nivelamento GNSS e geométrico é uma alternativa para se obter as componentes do desvio da vertical em um ponto. Com as componentes determina-se as correções devido ao efeito desse desvio a serem aplicadas nos desníveis GNSS e assim, determinar o desnível ortométrico. No estudo, as correções devidas ao efeito do desvio da vertical calculadas por este método foram inferiores as diferenças determinadas no nivelamento GNSS e geométrico. Assim, a aplicação das correções no nivelamento GNSS não trouxe diferença significativa na diferença entre nivelamento GNSS e geométrico. Para a finalidade de estabelecimento de referencial altimétrico para batimetria, concluiu que o nivelamento GNSS RTK com 1000 posições, taxa de 1 segundo satisfaz as condições de nivelamento classe IIIN da ABNT NBR 13.133/1994.

4 APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada no município de Piraquara, a Barragem Piraquara II pertence à Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR e é utilizada como reservatório modelo para testes possuindo convenio com a Universidade Federal do Paraná (UFPR) e tem como um dos coordenadores a Prof.^a. Dr.^a. Claudia Pereira Krueger do Setor de Geomática, esse reservatório garante o abastecimento de água para mais de 650 mil habitantes em Curitiba e outros seis municípios da Região Metropolitana, representada na Figura 9. Os trabalhos foram realizados nessa área de estudo devido à parceria com a UFPR.

Figura 9: Área de estudo - Barragem de Piraquara II

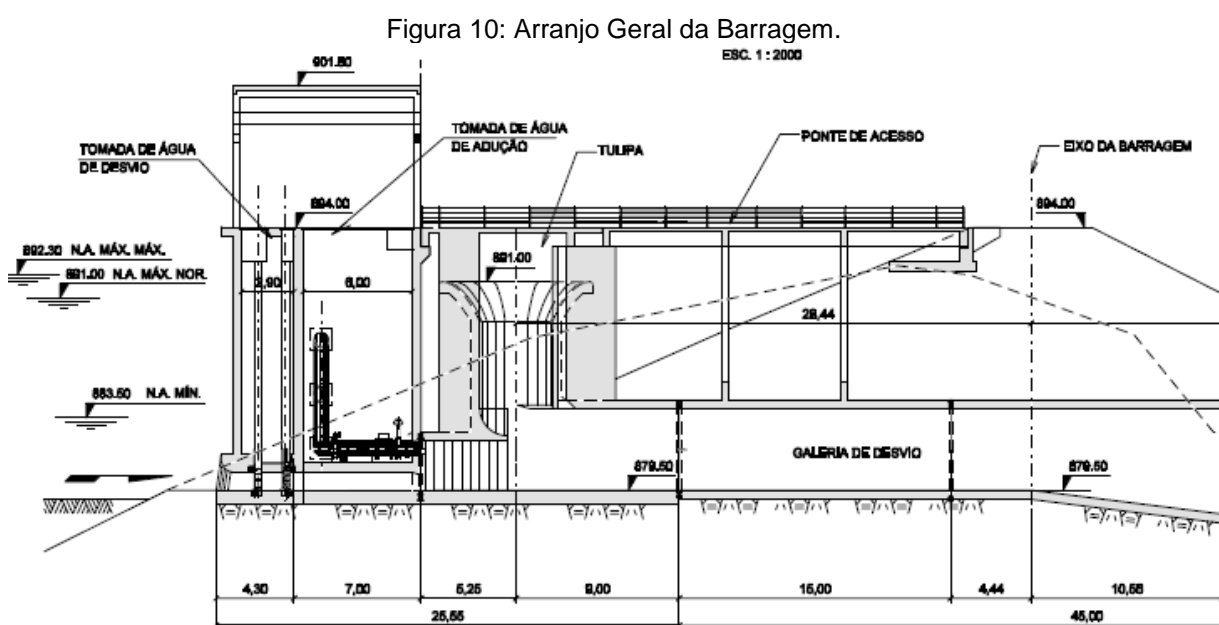


Fonte: Google Earth (2020).

Em barragens recomenda-se que próximo ao barramento seja instalado um conjunto de réguas chamadas réguas limnimétricas, essas são instaladas em seções de um rio para o informe das alturas de nível d'água, as quais têm relação direta com as vazões correspondentes, através de curvas de descarga construídas a partir de medições de vazão na seção do canal. Referente a um

controle vertical, a barragem em estudo apresenta um sensor de nível d'água instalado próximo ao vertedor modelo tulipa, este, conforme esclarecimento da Sanepar o nível de projeto dele é 891 m, porém, o valor utilizado atualmente foi determinado por técnicas de nivelamento geométrico pela empresa Eset Engenharia e Topografia LTDA em 2016 e referenciado ao geoide (altitude ortométrica) no valor de 891,077m.

A Figura 10 apresenta o arranjo geral da barragem, de montante (esquerda) a jusante (direita).



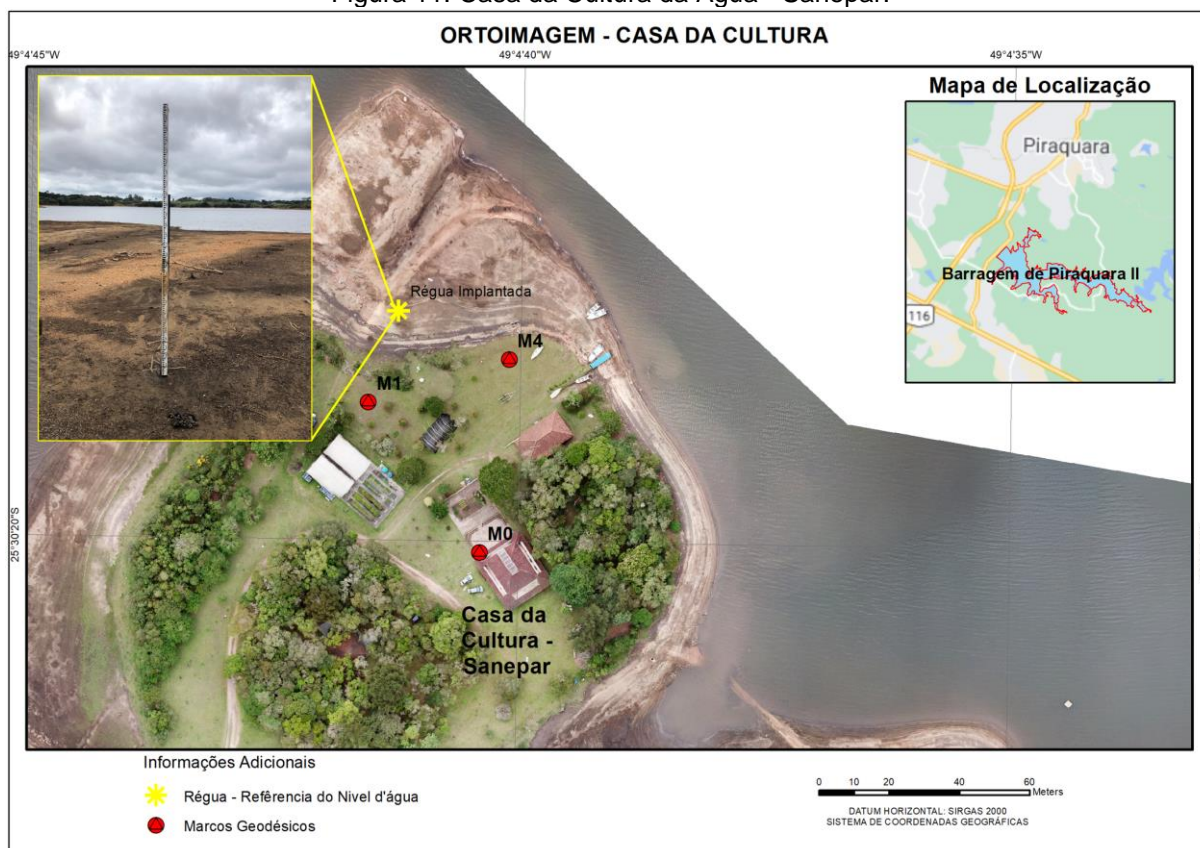
Fonte: Sanepar (2021).

4.1 Implantação de Régua Estadimétrica

Na barragem de Piraquara II não há qualquer tipo de controle de nível que não seja o mencionado na seção anterior instalado no vertedor tulipa.

Diante disso, foi instalada na margem esquerda do reservatório, a montante do barramento, localizada próximo a Casa da Cultura da Água, uma régua graduada decimetricamente, onde cada espaço branco corresponde a um centímetro, e os decímetros são indicados ao lado da escala centimétrica, esse acessório geralmente é para controle do nível, empregada no nivelamento geométrico, na ocasião da instalação, a mesma não pôde ser calibrada, conforme Figura 11.

Figura 11: Casa da Cultura da Água - Sanepar.



Fonte: Autor (2020).

A escolha desta posição no reservatório, segundo os responsáveis pela implantação (alunos da UFPR), se deve ao fato de todos os trabalhos relacionados à pesquisa serem executados na barragem, se originarem desta região e ser de fácil acesso a leitura e rede de nivelamento ali implantada.

A Figura 12 ilustra a régua implantada e por conta da crise hídrica que o Paraná enfrenta a mesma está exposta sendo possível constatar que o 0 (zero) ficou se encontra no nível do solo.

Figura 12: Régua Estadimétrica.



Fonte: Autor (2020).

4.2 Materialização dos vértices de apoio

4.2.1 Estação Base GNSS

Nesta pesquisa, para determinação das coordenadas dos vértices da poligonal os quais foram implantados no barramento e na Casa da Cultura, fez-se o apoio de uma base GNSS, essa, instalado no marco de centragem forçada existente próximo ao barramento chamado de MRRN-01, suas coordenadas corrigidas tiveram sua referência através da monografia disponibilizada pela SANEPAR, conforme Tabela 2.

Tabela 2: Monografia do marco MRRN 01

|  | | MONOGRAFIA DE VÉRTICE GEODÉSICO | |  | | |
|---|--|--|-------------------------------------|---|--------------------------|--------------------------|
| 1-Localização | Município: | PIRAQUARA | | | | |
| | Localidade/Bairro: | Barragem Piraquara II | | | | |
| | Endereço: | Estrada Vicinal | | | | |
| | Descrição da Localização: | Localizado nas dependências da barragem de Piraquara II, distante 155 metros do portão de acesso e 15 metros da Estrada Vicinal, encontra-se próximo ao RN-01. | | | | |
| 2-Identif. | Vértice n°: | MRRN | 01 | | | |
| | Origem nos | Altimetria: | V010 | | | |
| | Vértices | Planimetria: | PRGU, UFPR, SCAQ, SCFL, NEIA - RBMC | | | |
| | Tipo Materialização: | | PILAR DE CENTRAGEM FORÇADA | | | |
| 3-Coordenadas Geodésicas | MC: | 51 °WGr | Vértice Intervisível: | MR02 | Az (UTM): 235°17'38" | |
| | | | | | AZ (PTL): 234°28'19" | |
| | Datum | SAD-69 | SIRGAS 2000 | Precisão σ (m) | | |
| | Latitude | -25°29'12,2246" | -25°29'13,98831" | 0,004 | | |
| | Longitude | -49°5'23,2289" | -49°05'24,96001" | 0,004 | | |
| | COORD. UTM | N(m) | 7.179.768,238 | 7.179.724,416 | 0,004 | |
| | | E (m) | 692.016,108 | 691.966,286 | 0,004 | |
| | | h (m) | 901,852 | 898,728 | 0,009 | |
| | | H (m) | 895,199 | | 0,001 | |
| | 4-PLT | COORD. PTL | X (m) | 150.000,000 | Vértice de | X₀ (m) |
| Y (m) | | | 250.000,000 | Origem PTL | Y₀ (m) | 250.000,000 |
| H (m) | | | 895,199 | MRRN01 | H₀ (m) | 895,199 |
| 5-Inf. Gerais | Implantado por: | ESET ENG. E TOPOGRAFIA LTDA | | Data: | 29/01/2016 | |
| | Responsável Técnico: | ENG° JOACIR J. MILANEZ / ENG° RICARDO M. MILANEZ | | | | |
| | Metodologia Planimetria: | GPS L1/L2 | | | | |
| | Metodologia Altimetria: | NIVELAMENTO GEOMETRICO | | | | |
| 6-Obs. | Observações: Marco padrão IBGE com pino de centragem forçada no topo, transporte de e altitude ortométrica através de nivelamento geométrico com origem no vértice V010 da AutoPista Litoral Sul. | | | | | |

n - Altitude Geométrica H - Altitude Ortométrica σ - Desvio Padrão MC - Meridiano Central PTL - Plano Topográfico Local

Fonte: Sanepar (2020).

A Figura 13, representa a localização do marco o qual apoiou todo trabalho de campo, o tempo total de rastreamento foi de 04h45min (quatro horas e quarenta e cinco minutos).

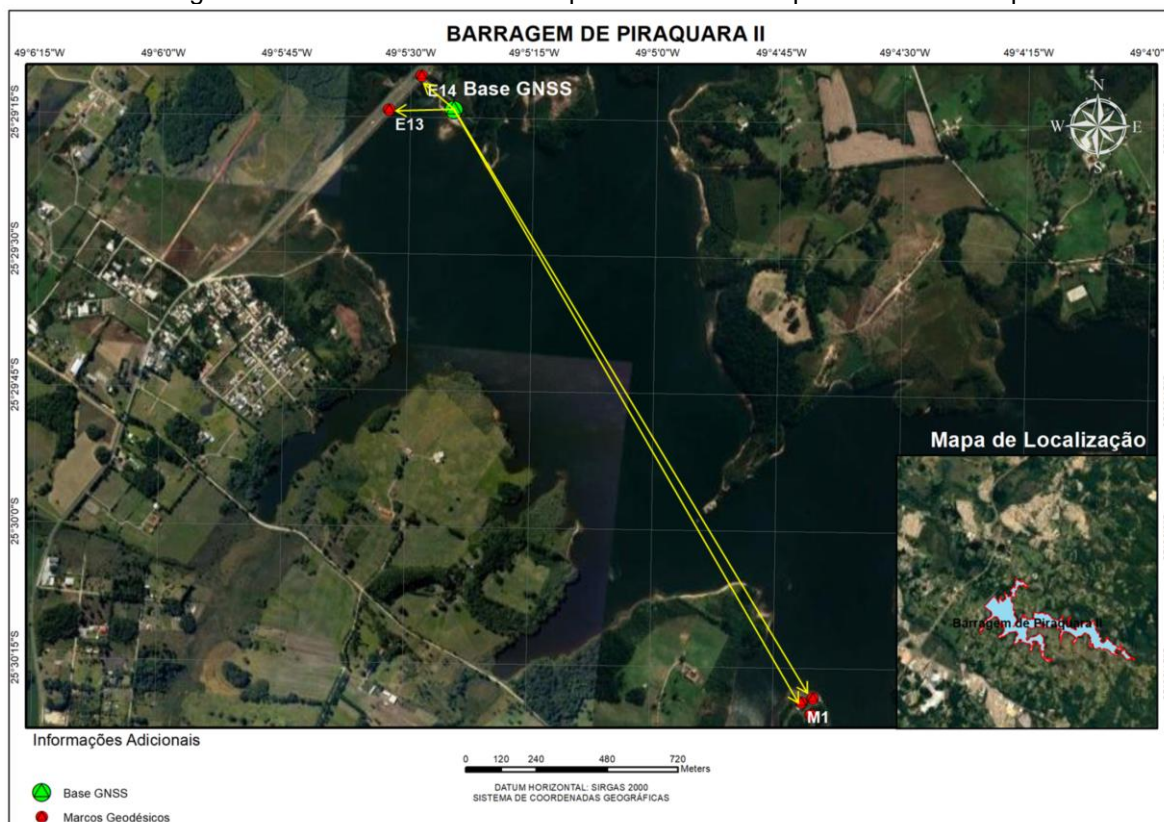
Figura 13: Localização da Base GNSS instalada sobre o marco de centragem forçada MRRN-01



Fonte: Autor (2020).

A razão de uma base in loco, auxiliou na determinação das coordenadas dos vértices materializados, estes serviram para o posterior levantamento topográfico através de uma poligonal fechada. Por possuir uma linha de base curta fez-se o cálculo das coordenadas precisas através do método relativo estático rápido, 30 min, e desta forma garantiu precisão nos vértices os quais foram apoiados com estação total para determinação referencial vertical na barragem. A Figura 14 apresenta os vetores a partir da base GNSS apoiada em campo.

Figura 14 - Vetores linha de base para os vértices implantados em campo.



Fonte: Autor (2020).

A Tabela 3 apresenta as distancias (linha de base) relativas à base GNSS aos vértices, a partir da base GNSS.

Tabela 3: Distâncias relativas dos Vértices a Base GNSS.

| DESCRIÇÃO | DISTÂNCIA (m) |
|-----------------|---------------|
| Base GNSS → E13 | 220 m |
| Base GNSS → E14 | 159 m |
| Base GNSS → M1 | 2325 m |
| Base GNSS → M4 | 2335 m |

Fonte: Autor (2020).

5 MATERIAIS


Para atendimento à etapa de apoio de campo foram utilizados os equipamentos e softwares descritos nas Tabelas 4, 5 e 6 apresentadas na sequência:

Tabela 4: Sistema GNSS.

| ITEM | DESCRIÇÃO |
|---|--|
| Imagem do equipamento |  |
| Marca da Controladora | Hi-Target |
| Modelo da Controladora | IHAND 20 |
| Recepção de Satélites | Multi-constelação, capaz de rastrear GPS + Glonass, Beidou e Galileo |
| Marca da Antena | Hi-Target |
| Modelo da Antena | BD970 |
| Marca RTK | Hi-Target |
| Modelo RTK | Pacific Crest ADL |
| PRECISÃO DE LINHA DE BASE (FASE DIFERENCIAL) | |
| Estática | 5 mm + 1 ppm |
| Estática Rápido | 5 mm + 1 ppm |
| Stop &Go | 10 mm + 1 ppm |
| Cinemática | 8 mm + 1 ppm |

Fonte: geomat.com.br.

Tabela 5: Estação Total TS06 R400.

| ITEM | DESCRIÇÃO |
|--------------------------------|---|
| Imagem do equipamento |  |
| Marca | Leica TS-06 R400 |
| Medição Angular | Desvio Padrão 5", Leitura 1" |
| Medição de Distâncias | Alcance de 3500m com 1 Prisma circular / Precisão de 1,5mm + 2ppm 400 metros de medição sem prisma |
| Programas Internos | Locação 2D, 3D e Offsets / Topografia / Estação Livre / Área 3D (Volume) / Linha entre Pontos / Construção / Linha de Referência / Elevação Remota / Transporte de cota / Ponto Oculto / Offset / Arco de Referência / Plano de Referência / COGO / Vias 2D |
| Memória Interna / Comunicação | 60.000 medições ou 100.000 pontos fixos divididos em ilimitadas obras, Interface RS232/USB para Transferência, Formato de dados GSI / DXF / LandXML / ASC II Definido pelo Usuário |
| Compensador | Compensação centralizada nos 4 eixos, passível de ser ligado ou desligado. |
| Ampliação da Luneta / Reticulo | 30 x Giro completo Reticulo iluminado, 5 níveis de intensidade |
| Prumo laser | Na alidade, girado com o Instrumento. Precisão com o instrumento à altura de 1,5m de +/- 1,5mm. Intensidade Regulável em 5 níveis. |

Fonte: w3.leica-geosystems.com

Tabela 6: Softwares para processamento.

| FINALIDADE | DESCRIÇÃO (FABRICANTE / NOME) |
|--|--|
| Planejamento de Campo | Google / Google Earth |
| | IBGE / BDG - Banco de Dados Geodésicos |
| Processamento Dados | Magnet Tools / Sistema Topograph 98 SE |
| Transformação do Referencial Altimétrico | IBGE / MAPGEO 2015 |
| Espacialização dos Pontos | Autocad MAP 2019 |

Fonte: Autor, 2020.

6 MÉTODO

Visando determinar um nível de referência vertical para redução de levantamentos batimétricos executados na área, foram realizadas visitas in-loco em três períodos, nos dias 09/10/2020, 23/10/2020 e 21/11/2020.

Os dados adquiridos durante o levantamento de campo são referenciados ao Sistema WGS84 (*World Geodetic System 1984*), porém o sistema adotado no trabalho foi o SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), e como citado pelo IBGE, por serem praticamente idênticos não existem parâmetros de conversão.

Tabela 7: Parâmetros de transformação WGS84/SIRGAS 2000.

| | WGS84 / SIRGAS | SIRGAS/WGS84 |
|------------|----------------|--------------|
| ΔX | 0 | 0 |
| ΔY | 0 | 0 |
| ΔZ | 0 | 0 |

Fonte: Adaptado de IBGE.

Foram utilizados o referencial geodésico e a projeção cartográfica descritos abaixo:

- Sistema de Coordenadas: UTM SIRGAS2000;
- Modelo Geoidal: IBGE – Marégrafo de Imbituba (SC);
- Elipsóide: SIRGAS 2000;
- Meridiano Central: 51°W;
- Fuso: 22S;

- Hemisfério: Sul

6.1 Método do Posicionamento GNSS

Para obtenção das coordenadas precisas dos vértices os quais serviram para apoio ao levantamento topográfico, foram utilizados receptores GNSS geodésicos de dupla frequência e método de rastreamento relativo estático e estático rápido (seções 2.6.3.1 e 2.6.3.2).

Este posicionamento foi baseado nas recomendações do IBGE e utiliza dois ou mais receptores que rastreiam simultaneamente os satélites das constelações GPS e GLONASS por um período de tempo, que pode variar de dezenas de minutos até algumas horas. Os tempos de rastreamento adotados foram baseados na Tabela 8 a seguir.

Tabela 8: Tabela de Referência Tempo x Distância para rastreamento GNSS.

| Linha de Base | Tempo de observação | Equipamento Utilizado | Precisão |
|---------------|---------------------|-----------------------|-------------------|
| 00 – 05 Km | 05 – 10 min | L1 ou L1/L2 | 5 - 10 mm + 1 ppm |
| 05 – 10 Km | 10 – 15 min | L1 ou L1/L2 | 5 - 10 mm + 1 ppm |
| 10 – 20 Km | 10 – 30 min | L1 ou L1/L2 | 5 - 10 mm + 1 ppm |
| 20 – 50 Km | 02 – 03 hr | L1/L2 | 5 mm + 1 ppm |
| 50 – 100 Km | mínimo. 03 hr | L1/L2 | 5 mm + 1 ppm |
| > 100 Km | mínimo. 04 hr | L1/L2 | 5 mm + 1 ppm |

Fonte: IGN – Instituto Geográfico Nacional (Espanha) – Curso GPS em Geodesia Y Cartografia.

Os critérios para amarração dos vértices ao sistema planialtimétrico do IBGE foram os seguintes:

- Utilização de rastreador geodésico com portadora L1 e L2;
- PDOP máximo menor que 4;
- Horizonte mínimo igual a 10° (máscara de elevação);
- Número mínimo de satélites simultâneos rastreados igual a 6;
- Solução de ambiguidade fixa; e
- Escolha de locais sem interferência para evitar multi-caminho.

6.2 Levantamento topográfico

Para o desenvolvimento do estudo e garantir que as medições fossem confiáveis e precisas, fez-se necessário estabelecer uma poligonal fechada para

aplicação de técnicas topográficas, desta forma é possível controlar os erros de fechamento angular e linear, calculando assim, com precisão a determinação das referências de nível no barramento e na régua implantada.

Na primeira visita, foi possível identificar e conhecer os instrumentos utilizados para mensuração no nível d'água local. Na segunda visita, realizada nas imediações da Casa da Cultura da Sanepar, haviam dois vértices materializados pela Universidade Federal do Paraná os quais possuíam identificação de M0 e M4, desta forma, fez-se a materialização de um terceiro vértice de apoio denominado M1, este servira para o levantamento topográfico e vértice de apoio para poligonal. A Figura 15 representa a distribuição espacial dos vértices na região.

Figura 15: Localização dos pontos da poligonal de apoio na Casa da Cultura.

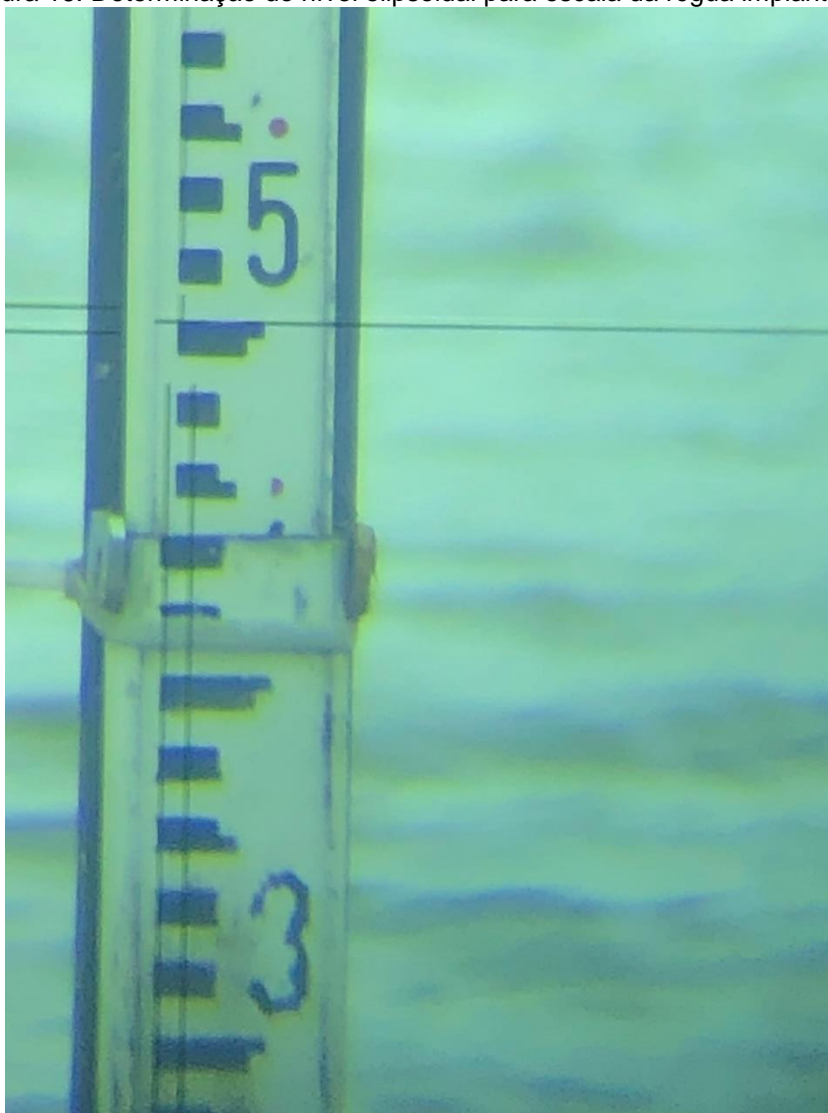


Fonte: Autor, 2020.

De posse das coordenadas dos vértices M1 e M0, fez-se a instalação da estação total no vértice M1 e através do método por caminhamento percorreu a poligonal os vértices M4 e M0 na sequência, conforme Figura 15. O objetivo deste levantamento foi atribuir à régua estadimétrica cotas elipsoidais as referências de nível da mesma e ter neste ponto o controle do nível d' água do reservatório, esse

processo iniciou aos 10cm, 50cm, 1,1m e 1,5m. A Figura 16, ilustra a medição aos 1,5m, procedimento esse repetido por 5 vezes nos vértices M1 e M4, desta maneira, seria possível identificar possíveis erros grosseiros, todas as leituras foram realizadas no modo sem prisma da estação total.

Figura 16: Determinação do nível elipsoidal para escala da régua implantada.



Fonte: Autor (2020).

A terceira visita na barragem foi o acesso ao barramento, local onde está instalado o sensor de nível. Próximo à região fez-se a materialização de dois vértices os quais apoiaram a poligonal, esses denominados E13 e E14. Partindo do MRRN01, seguiu para o vértice E14 e posteriormente E13 conforme Figura 17.

Figura 17: Localização dos pontos da poligonal no barramento de Piraquara II.



Fonte: Autor (2020).

Na oportunidade, foi possível conhecer a instrumentação instalada no barramento e através do método de irradiação apoiado em um dos vértices da poligonal, E13, medir e determinar as coordenadas planialtimétricas nos locais. O objetivo deste levantamento foi estabelecer ao nível d'água do dia e cota da tulipa (nível máximo para vertimento) uma altitude elipsoidal, desta forma, estabelecer como possível ponto o nível máximo de redução para o barramento na cota máxima de operação através deste levantamento.

A Figura 18 apresenta o vertedor tipo Tulipa, localizado próximo à estrutura do barramento, nessa é possível verificar o sensor de nível água o qual no dia do levantamento topográfico, 21/11/2020, o registro de 888,340m (leitura essa informada pela Sanepar).

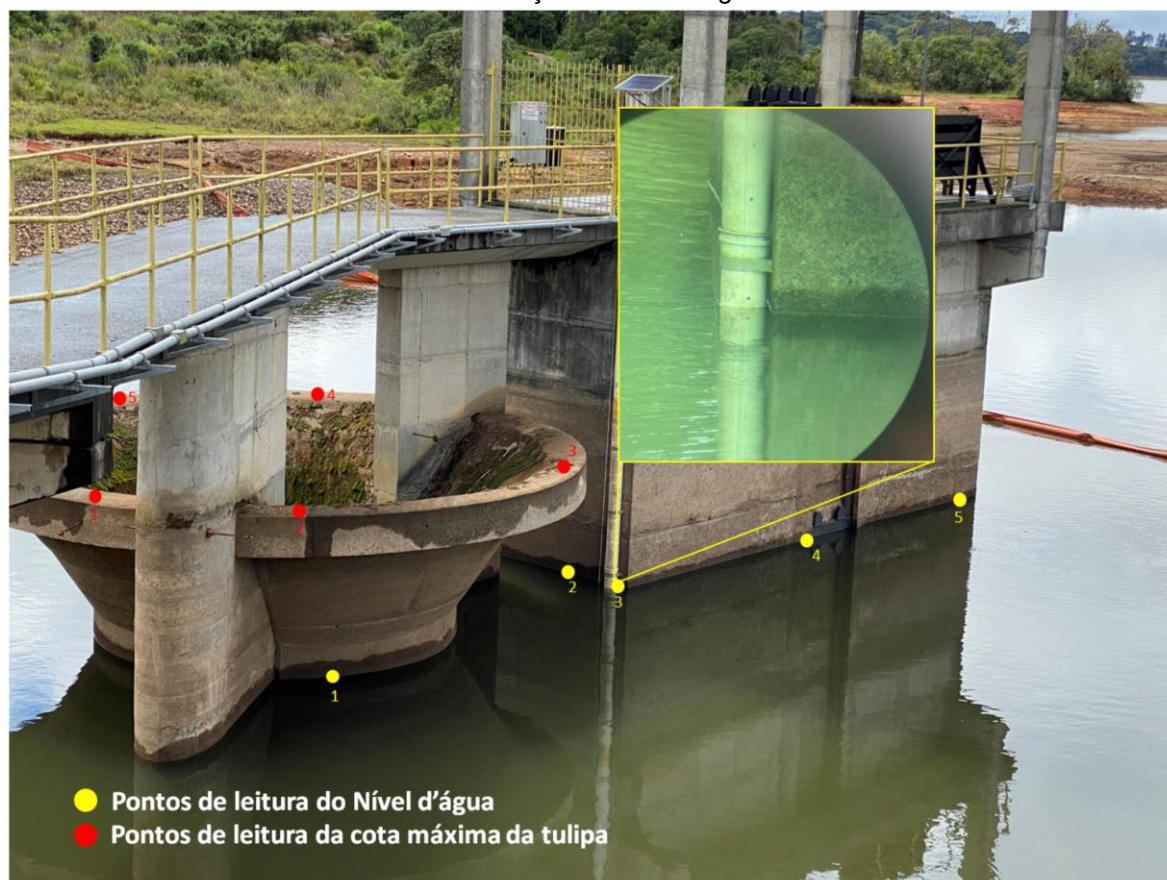
Figura 18: Vertedor tulipa e Sensor de nível d'água



Fonte: Autor (2020).

Para a determinação dos níveis, foi realizado séries de leitura no modo sem prisma da estação total e em pontos diferentes da estrutura, mas que, pudessem representar o nível d'água e cota superior do vertedor tulipa conforme ilustra a Figura 19.

Figura 19: Pontos de leitura para determinação das altitudes elipsoidais na estrutura da tulipa e local de instalação do nível d'água.



Fonte: Autor (2020).

Por fim, foi realizado um levantamento do nível d'água nas mediações da Casa da Cultura com intuito de certificar se havia alguma variação de nível entre estes dois pontos, local da régua estadimétrica e de instalação do sensor de nível (barramento). A Figura 20 apresenta o local de medição, neste é possível verificar que para evitar erros de centragem, adotou-se o uso de bipé para bastão e um apoio para calçar a ponta do bastão, uma vez que, por ser um local de solo úmido e mole poderia baixar e informar uma altitude elipsoidal incorreta. O método adotado para esse levantamento foi o relativo estático rápido.

Figura 20: Levantamento relativo estático rápido do nível d'água na Casa da Cultura da Sanepar.



Fonte: Autor (2020).

Todo esse procedimento foi realizado de forma simultânea, primeiramente instalado o GNSS e após realizado as medições com a estação total na região do barramento conforme já explanado.

6.3 Ondulação Geoidal

A título de comparação com a rede nivelada no barramento da barragem, as altitudes obtidas pelo sistema GNSS fez-se a conversão da altitude elipsoidal em altitude ortométrica. Para isso, deve-se conhecer a ondulação geoidal, que é a separação entre o elipsóide e o geoide, conforme Figura 21. O geoide é uma superfície equipotencial que coincide com o nível médio das águas dos mares, na qual as altitudes ortométricas estão referenciadas.

Para converter altitude elipsoidal (h), obtida através de GPS, em altitude ortométrica (H), utiliza-se a seguinte equação:

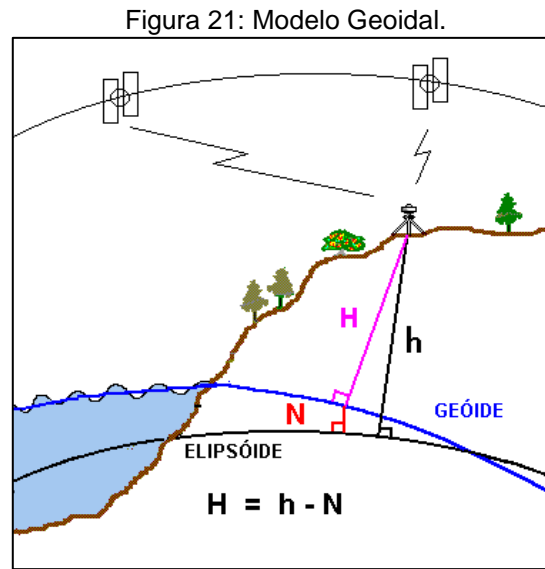
$$H = h - N \quad (4)$$

Onde:

H: altitude ortométrica,

h: altitude geométrica e

N: ondulação geoidal



Na barragem, como abordado na seção 4.2.1, todo levantamento teve suas coordenadas corrigidas com a origem no marco MRRN 01, e através da monografia (TABELA 2), foi possível calcular a ondulação geoidal para aquele marco e adotar para os vértices da poligonal e demais pontos que estavam no barramento, desta forma:

Segundo a monografia:

- H = 895,199m (Altitude ortométrica);
- h = 898,728m (Altitude Elipsoidal).

Aplicando a equação 4:

$$895,199 = 898,728 - N$$

$$N = 3,529\text{m}$$

Em situações onde não se conhece uma RN, é possível calcular uma ondulação com o software MAPGEO2015 do IBGE, no caso de se tratar de um mapa interpolado o valor é o mais próximo do valor no local.

7 RESULTADOS

Os resultados foram divididos de acordo com a dinâmica que os trabalhos foram desenvolvidos, desta forma, procurou estabelecer as coordenadas geodésicas dos vértices da poligonal, após o cálculo das poligonais no barramento e casa da cultura e através do método de irradiação o cálculo das altitudes elipsoidais do nível d'água, cota da tulipa no barramento e determinação dos níveis da régua estadimétrica em altitude elipsoidal.

7.1 Processamento dos vértices

Utilizando a técnica de posicionamento relativo estático rápido, foram rastreados os vértices E13, E14, M0 e M1, estes, corrigidos a partir do MRRN 01. As coordenadas geodésicas podem ser observadas na Tabela 9.

Tabela 9: Coordenadas geodésicas dos marcos geodésicos da poligonal de apoio.

| Nome | Norte (m) | Este (m) | Alt. Elipsoidal (m) | Latitude | Longitude |
|------------------------|-------------|------------|---------------------|------------------|------------------|
| E13 | 7179762,075 | 691795,418 | 898,585 | 25°29'12,84434"S | 49°05'31,09606"W |
| E14 | 7179823,392 | 691853,301 | 898,648 | 25°29'10,82508"S | 49°05'29,05544"W |
| M1 | 7177715,333 | 693145,142 | 894,993 | 25°30'18,71495"S | 49°04'41,72069"W |
| M4 | 7177728,307 | 693186,583 | 895,352 | 25°30'18,27393"S | 49°04'40,24370"W |
| MRRN 01 | 7179724,416 | 691966,286 | 898,728 | 25°29'13,98831"S | 49°05'24,96001"W |
| N.A. – CASA DA CULTURA | 7177784,224 | 693190,129 | 891,862 | 25°30'16,45545"S | 49°04'40,14569"W |

Fonte: Autor (2020).

A Tabela 10 apresenta a solução do pós-processamento, observáveis do GPS, os resultados dos transportes de coordenadas tiveram média de erro vertical em 3,6mm.

Tabela 10: Solução dos vetores GPS.

| Nome | GPS Satélites | GLONASS Satélites | PDOP | Horz RMS | Vert RMS | Solução | Start Time |
|------------------------------------|---------------|-------------------|-------|----------|----------|---------|---------------------|
| MRRN 01 -> E13 | 5 | 6 | 1,548 | 0,001 | 0,001 | Fixo | 21/11/2020 11:42 |
| MRRN 01 -> E14 | 5 | 5 | 1,345 | 0,001 | 0,001 | Fixo | 21/11/2020 11:27 |
| MRRN 01 -> M1 | 6 | 5 | 1,457 | 0,004 | 0,006 | Fixo | 21/11/2020 13:00 |
| MRRN 01 -> M4 | 6 | 6 | 1,293 | 0,004 | 0,007 | Fixo | 21/11/2020 13:20 |
| MRRN 01 -> N.A. CASA DA CULTURA | 8 | 6 | 1,435 | 0,002 | 0,003 | Fixo | 21/11/2020 13:33 |

Fonte: Autor (2020).

7.2 Processamento das poligonais

De acordo com a ABNT NBR 13133, para um levantamento topográfico uma poligonal poderá se enquadrar em várias classes e tipos, para a pesquisa a classe IP trata sobre adensamento de rede geodésica e transporte de coordenadas e tipo 1 para o ajustamento da poligonal e determinação da tolerância do fechamento da mesma, esse, estabelece uma poligonal fechada apoiada e fechada num só ponto. A Tabela 11 apresenta os coeficientes utilizados para o calculo da poligonal fechada e verificação de erros.

Tabela 11: Coeficientes “b”, “d”, “e” e “f” para as diferentes classes e tipos de poligonais.

| Classe | Tipo | a | b | c | d | e | f |
|--------|------|----------|----------|--------|--------|---|---|
| IIIP | 1 | 0°00'00" | 0°00'20" | 0,0000 | 0,4200 | | |

Fonte: ABNT NBR 13133

As Tabelas 12 e 13 apresentam os resultados das leituras realizadas no barramento e os erros de fechamento da poligonal encontrados na técnica adotada para determinação do referencial. Como já abordado na seção 6.2, o objetivo é determinar a altitude elipsoidal para o nível máximo da tulipa e o nível d'água para a data do levantamento. Para fins de comparação, fez-se o calculo da altitude ortométrica dos dados levantados a partir da ondulação geoidal apresentada na seção 6.3..

Tabela 12: Coordenadas planialtimétricas do vertedouro e nível d'água.

| Nome | Descrição | Norte (m) | Este (m) | Alt. Elipsoidal (m) | Média das Alt. Elipsoidais (m) | Desvio Padrão (m) | Ond. Geoidal (m) | Alt. Ortométrica (m) |
|------|-----------|-------------|------------|---------------------|--------------------------------|-------------------|------------------|----------------------|
| N1 | NA | 7179786,679 | 691846,558 | 891,964 | 891,965 | 0,003 | 3,529 | 888,435 |
| N2 | NA | 7179774,469 | 691856,582 | 891,969 | | | | 888,440 |
| N3 | NA_SENSOR | 7179778,441 | 691851,087 | 891,964 | | | | 888,435 |
| N4 | NA | 7179782,290 | 691849,132 | 891,964 | | | | 888,435 |
| N5 | NA | 7179768,487 | 691854,425 | 891,962 | | | | 888,433 |
| N6 | NA | 7179787,100 | 691847,153 | 891,969 | | | | 888,440 |
| TU1 | TULIPA | 7179780,514 | 691848,756 | 894,584 | 894,605 | 0,016 | | 891,055 |
| TU2 | TULIPA | 7179784,723 | 691847,078 | 894,589 | | | | 891,060 |
| TU3 | TULIPA | 7179784,914 | 691854,882 | 894,613 | | | | 891,084 |
| TU4 | TULIPA | 7179787,688 | 691852,764 | 894,605 | | | | 891,076 |
| TU5 | TULIPA | 7179783,476 | 691855,008 | 894,614 | | | | 891,085 |
| TU6 | TULIPA | 7179786,547 | 691848,238 | 894,626 | | | | 891,097 |

Fonte: Autor (2020).

Tabela 13: Dados de fechamento da poligonal no barramento

| | Erros | Tolerâncias | Fora |
|-------------|----------|------------------------|------|
| Angular | 0°00'00" | 0°00'10,4" (=a+b×N½) | |
| Relativo | 1:9988 | 1:4842 | |
| Linear | 0,0235 m | 0,0484 m (= c+d×L½) | |
| Eixo Norte | -0,0023m | | |
| Eixo Este | -0,0234m | | |
| Altimétrico | 0,004 m | 0,007 m (= 15 mm × K½) | |
| erD(Máx) | 1:8090 | 1:3424 | |
| eAz | 0°00'00" | 0°00'06" | |
| eV | 0,0207 m | 0,0342 m | |

Fonte: Autor (2020).

As Tabelas 14 e 15 representam os resultados do levantamento na região da Casa da Cultura, conforme explicado anteriormente, nesta região se adotou a mesma metodologia para determinação das altitudes elipsoidais dos níveis da régua estadimétrica.

Tabela 14: Coordenadas planialtimétricas dos níveis da régua estadimétrica

| Nome | Descrição (cm) | Norte (m) | Este (m) | Alt. Elipsoidal (m) | Média das Alt. Elipsoidais (m) | Desvio Padrão |
|------|----------------|------------|------------|---------------------|--------------------------------|---------------|
| RG1 | 10 | 717752,263 | 693161,418 | 893,641 | 893,643 | 0,002 |
| RG2 | 10 | 717752,263 | 693161,418 | 893,641 | | |
| RG3 | 10 | 717752,263 | 693161,418 | 893,641 | | |
| RG4 | 10 | 717752,263 | 693161,418 | 893,641 | | |
| RG5 | 10 | 717752,263 | 693161,418 | 893,641 | | |
| RG6 | 10 | 717752,255 | 693161,407 | 893,644 | | |
| RG7 | 10 | 717752,255 | 693161,407 | 893,644 | | |
| RG8 | 10 | 717752,256 | 693161,406 | 893,644 | | |
| RG9 | 10 | 717752,257 | 693161,404 | 893,644 | | |
| RG10 | 10 | 717752,256 | 693161,405 | 893,644 | | |
| RG11 | 50 | 717752,271 | 693161,408 | 894,043 | 894,044 | 0,001 |
| RG12 | 50 | 717752,270 | 693161,408 | 894,043 | | |
| RG13 | 50 | 717752,268 | 693161,407 | 894,043 | | |
| RG14 | 50 | 717752,270 | 693161,408 | 894,043 | | |
| RG15 | 50 | 717752,260 | 693161,410 | 894,044 | | |
| RG16 | 50 | 717752,260 | 693161,410 | 894,044 | | |
| RG17 | 50 | 717752,260 | 693161,410 | 894,044 | | |
| RG18 | 50 | 717752,260 | 693161,410 | 894,044 | | |
| RG19 | 50 | 717752,260 | 693161,410 | 894,044 | | |
| RG20 | 110 | 717752,274 | 693161,410 | 894,643 | | |
| RG21 | 110 | 717752,274 | 693161,410 | 894,642 | | |
| RG22 | 110 | 717752,274 | 693161,410 | 894,643 | | |
| RG23 | 110 | 717752,274 | 693161,410 | 894,643 | | |
| RG24 | 110 | 717752,275 | 693161,410 | 894,643 | | |
| RG25 | 110 | 717752,266 | 693161,406 | 894,644 | | |
| RG26 | 110 | 717752,266 | 693161,406 | 894,644 | | |
| RG27 | 110 | 717752,266 | 693161,406 | 894,644 | | |
| RG28 | 110 | 717752,265 | 693161,406 | 894,644 | | |
| RG29 | 110 | 717752,266 | 693161,406 | 894,643 | | |
| RG30 | 150 | 717752,281 | 693161,408 | 895,042 | 895,043 | 0,001 |
| RG31 | 150 | 717752,281 | 693161,408 | 895,042 | | |
| RG32 | 150 | 717752,283 | 693161,409 | 895,041 | | |
| RG33 | 150 | 717752,281 | 693161,408 | 895,042 | | |
| RG34 | 150 | 717752,282 | 693161,408 | 895,042 | | |
| RG35 | 150 | 717752,271 | 693161,410 | 895,044 | | |
| RG36 | 150 | 717752,271 | 693161,410 | 895,043 | | |
| RG37 | 150 | 717752,272 | 693161,411 | 895,043 | | |
| RG38 | 150 | 717752,272 | 693161,410 | 895,043 | | |
| RG39 | 150 | 717752,272 | 693161,410 | 895,043 | | |

Fonte: Autor (2020).

Tabela 15: Dados de fechamento da poligonal na Casa da Cultura

| | Erros | Tolerâncias | Fora |
|-------------|------------|------------------------|------|
| Angular | 0°00'09" | 0°00'10,4" (=a+b×N½) | |
| Relativo | 1:10443 | 1:3381 | |
| Linear | 0,0109 m | 0,0338 m (= c+d×L½) | |
| Eixo Norte | -0,0099m | | |
| Eixo Este | -0,0047m | | |
| Altimétrico | 0,001 m | 0,005 m (= 15 mm × K½) | |
| erD(Máx) | 1:377179 | 1:2391 | |
| eAz | 0°00'03,7" | 0°00'06" | |
| eV | 0,0002 m | 0,0239 m | |

Fonte: Autor (2020).

Referente ao fechamento da poligonal, Tabelas 13 e 15, os levantamentos nas duas áreas estão dentro das tolerâncias estabelecidas, conforme demonstra a coluna “Fora”.

7.3 Comparativo entre cotas por diferentes técnicas

Diante o exposto, a Tabela 16, apresenta um comparativo de através da técnica adotada nesta pesquisa e as informações que a barragem utiliza através do nivelamento geométrico, como já apresentado na Tabela 12, aplicou a equação 4 para determinação das altitudes ortométricas dos pontos levantados, o que é possível realizar uma comparação para verificação do erro e o estabelecimento do referencial vertical.

Tabela 16: Comparativo entre as altitudes ortométricas nos pontos de medição e controle de nível na barragem

| Pontos | Alt. Ortométrica (m) – Sanepar | Alt. Ortométrica (m) – Calculada | Resíduos (m) | Desvio Padrão (m) |
|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------|----------------------|
| Nível d'Água - 21/11/2020 | 888,340 | 888,436 | -0,096 | 0,067 |
| Vertedor Tulipa | 891,077 | 891,076 | 0,001 | |

Fonte: Autor (2020).

Os comparativos destas medidas demonstram que, para a proposta de referencial vertical com a adoção de altitude elipsoidal, acabou sendo bem aplicada, uma vez que as técnicas empregadas demonstram erros próximos de zero e desta forma estabelecer novos parâmetros de correção para futuras atividades na

barragem onde o apoio seja feito a partir de dados obtidos por sistemas GNSS. A diferença maior da leitura no nível d'água para o vertedor se deve a diferença de superfícies. Na primeira a informação altimétrica foi determinada o mais próximo da lâmina d'água, contudo o resíduo calculado é aceitável, visto que, a posição exata do sensor não é conhecida. Na tulipa, as leituras foram realizadas na superfície superior e plana da estrutura (Figura 19), possibilitando determinar com exatidão a leitura obtendo-se um resíduo de 1 mm (Tabela 16).

7.4 Determinação do referencial vertical

Estabelecidos como principais referencias da barragem, o vertedor tulipa e nível d'água, a empresa Sanepar forneceu outros dois dados, a cota mínima de operação de 883,50m e a cota máxima maximorum 892,50m, esses valores estabelecidos por nivelamento geométrico a partir de dois marcos de controle com cotas determinadas a partir do vértice RN01 em altitudes ortométricas. Para estabelecer as altitudes elipsoidais a estes dois referenciais, o calculo da ondulação geoidal, foi a partir da equação 4, tendo como referência as coordenadas da monografia para a RN 01. Os resultados são apresentados na Tabela 17.

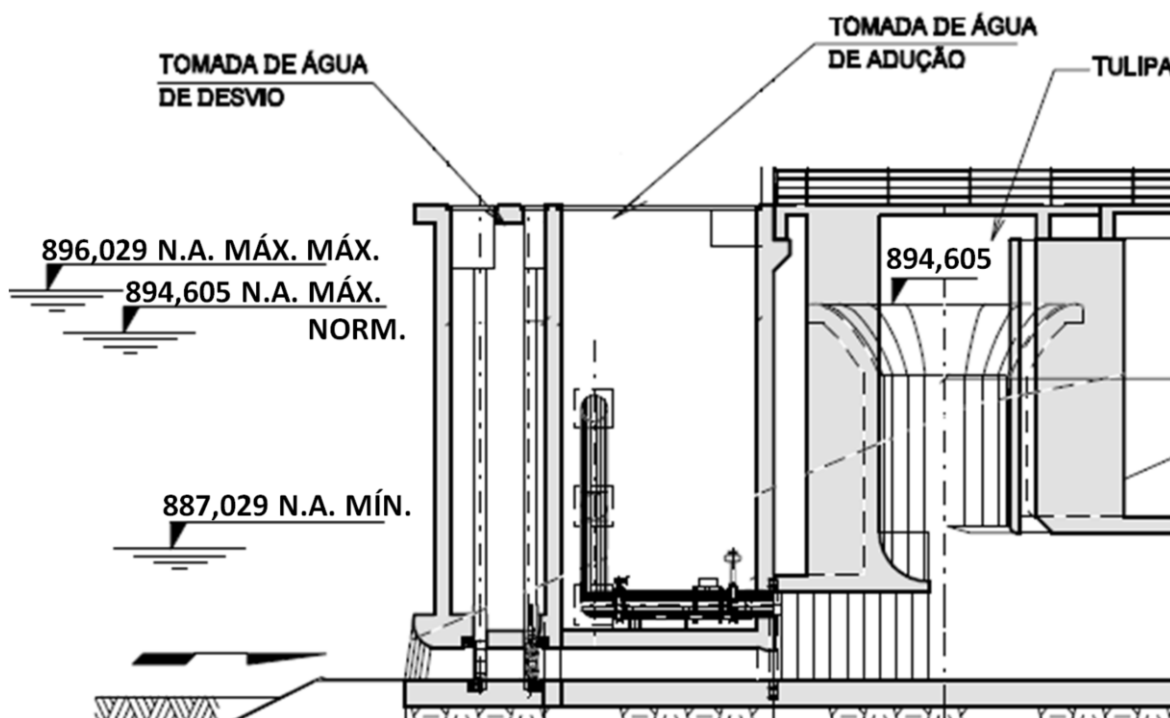
Tabela 17: Dados técnicos convertidos em altitudes elipsoidais

| Dados Técnicos | Alt. Ortométrica (m) | Ond. Geoidal (m) | Alt. Elipsoidal (m) |
|--------------------------|-----------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Cota Mínima. de Operação | 883,500 | 3,529 | 887,029 |
| Cota Máx. Maximorum | 892,500 | | 896,029 |

Fonte: Autor (2020).

De posse dos dados apresentados e calculados, pôde estabelecer o referencial conforme Figura 22.

Figura 22: Referencial vertical da barragem em altitude elipsoidal



Fonte: Adaptado do arranjo geral da barragem (Sanepar).

A Tabela 18 apresenta uma sugestão dos novos valores para redução batimétrica na barragem de Piraquara II, esses dados já estão em altitudes elipsoidais e podem ser compatibilizados com os levantamentos batimétricos que possuam apoio de um sistema GNSS.

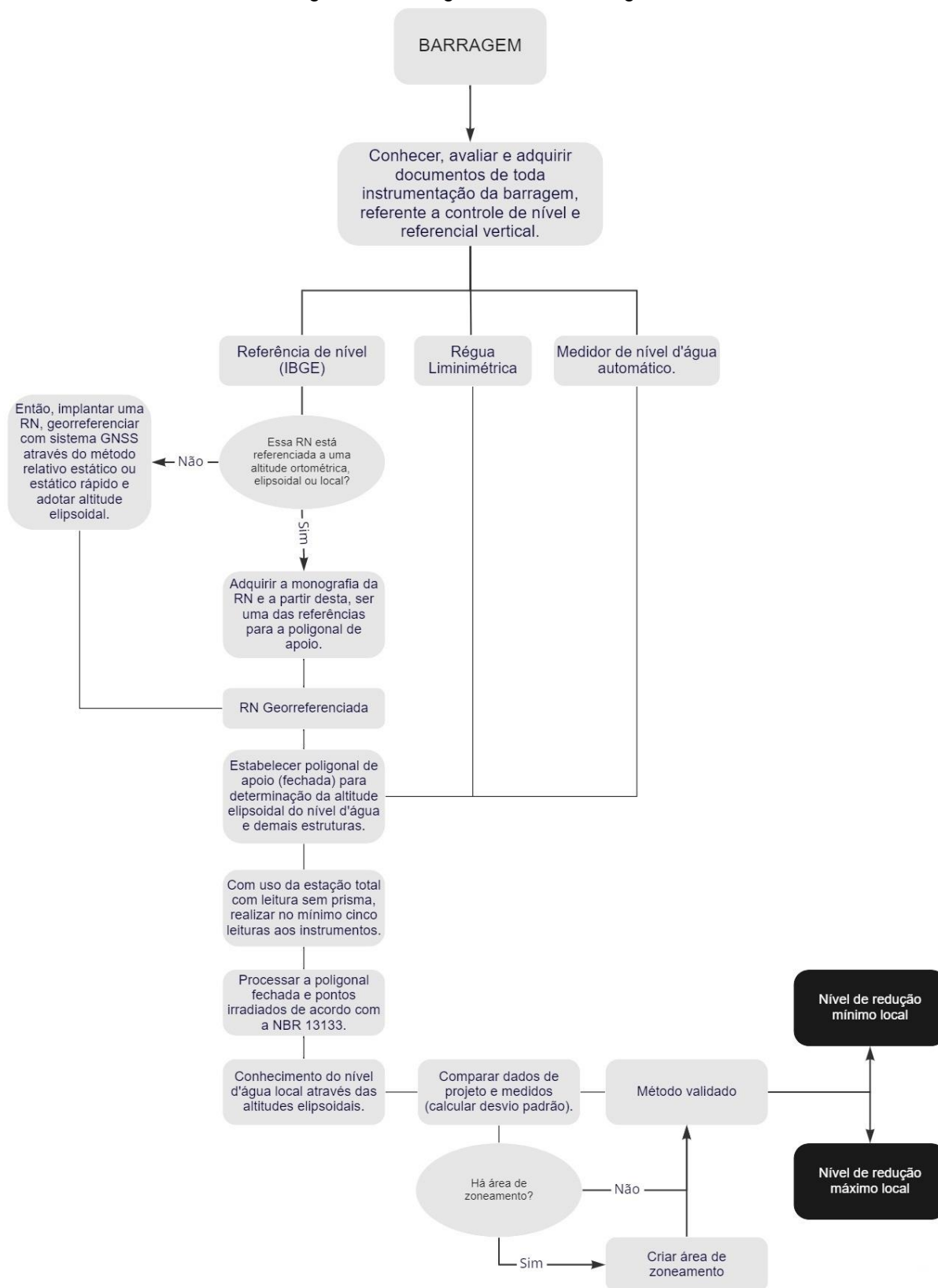
Tabela 18: Cotas de operação da barragem transformadas para Altitude Elipsoidal

| Dados Técnicos | Alt. Elipsoidal (m) |
|-------------------------|---------------------|
| Cota Mínima de Operação | 887,029 |
| Cota Máxima - Tulipa | 894,605 |
| Cota Máx. Maximorum | 896,029 |

Fonte: Autor (2020).

8 FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA

Figura 23: Fluxograma da metodologia.



Fonte: Autor (2021).

9 CONCLUSÕES

Nesta pesquisa foi exposto um entre vários métodos existentes, para determinação de um referencial vertical. A metodologia aplicada com a integração de dados GNSS e levantamento topográfico se mostrou aplicável diante dos dados apresentados e erros dentro das tolerâncias estabelecidas.

A partir das visitas iniciais, procurou conhecer as características gerais da barragem: a topografia, o arranjo geral, local de instalação dos leitores de nível, vazão, ou seja, toda instrumentação instalada. Constatou-se que, para o controle de nível da barragem só existia um sensor de nível instalado próximo ao vertedor do tipo tulipa e o acesso a esses dados em caso de levantamentos batimétricos no reservatório e imediações, só é possível saber do nível local sob consulta com os engenheiros da empresa. Outra preocupação que teve inicialmente ao conhecer a instrumentação, é se havia um controle de nível por réguas limnimétricas, pois em caso de defeitos no sensor a leitura manual auxilia na redução de dados batimétricos, desta forma, a implantação de uma régua estadimétrica no reservatório e o nivelamento da graduação da régua em altitudes elipsoidais auxiliará para trabalhos futuros, já que é possível ter a variação de nível no dia em que os trabalhos forem acontecendo no reservatório.

Aos padrões mínimos, segundo a OHI, no âmbito hidrográfico, os levantamentos topográficos estabelecidos para georreferenciar uma área costeira ou para pontos em terra para apoio aos levantamentos hidrográficos, são realizados começando por estabelecer previamente estações topográficas com coordenadas já determinadas por operações de levantamentos geodésicos. Essa determinação pode ser obtida através de métodos clássicos de levantamentos, medições de ângulos e distâncias realizadas de modo automático pela estação total. Pelos dados destes levantamentos serem armazenados digitalmente, evita-se o mínimo de ação do ser humano impedindo erros de natureza grosseira como anotação de dados errados.

Para determinação das coordenadas geodésicas dos vértices da poligonal, o uso do GNSS com tempo médio de rastreamento de 30 minutos a uma taxa de rastreamento de um segundo, mostrou-se adequado diante uma linha de base curta existente na barragem, desta maneira foi possível produzir dados com erros planialtimétricos médios de 1 mm para os vértices do barramento e na região da Casa da Cultura

com erros médios de 3,3 mm para planimetria e 5,3 mm para altimetria. É importante salientar que esse curto tempo de rastreamento só foi possível pela existência de um marco geodésico já implantado nas mediações do reservatório, na inexistência do mesmo, seria necessário um transporte de coordenadas com uma base de origem da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) com minutos de rastreamento a horas a depender da linha de base ou da Rede Planialtimétrica do IBGE denominada SAT.

Para execução dos levantamentos topográficos com uso da estação total, é importante que para aplicação da técnica apresentada nesta pesquisa o equipamento possua o recurso de leitura sem prisma, uma vez que sensores de nível são instalados (onde existem) em locais de difícil acesso e como esse recurso é possível chegar a leituras em praticamente todos os tipos de situações dando visada para leitura, outra recomendação é que obrigatoriamente o equipamento deve estar com a calibração em dia, pois erros angulares e lineares acabariam dificultando todo o fechamento da poligonal, seja horizontal e principalmente vertical. Dos dados levantados, algumas considerações sobre a ABNT NBR 13133 – Execução de Levantamento Topográfico, por se tratar de uma norma muito antiga, 1994, é notável a falta de suporte da mesma para realização de alguns trabalhos específicos, uma vez que ao longo deste tempo, equipamentos topográficos sofreram alterações, avanços tecnológicos e que do ponto de vista técnico necessita de uma atualização urgente. Dessa maneira, foram definidos tipos e classes de poligonais de uma ordem que mais adequaram à situação proposta nesta pesquisa.

Dentre os erros encontrados, é importante frisar que o uso de bipé para bastão e altura fixa para o uso do prisma reduzem muito os erros planialtimétricos que podem ser encontrados na poligonal fechada, uma vez que, não há ação do ser humano inclinando ou se movimentando nas leituras. Analisando as medidas encontradas, ambos os levantamentos se enquadraram dentro das tolerâncias estabelecidas pela NBR 13133, por estar se tratando de um referencial vertical, o erro altimétrico para determinação dos vértices é de suma importância, desta forma, no local estabelecido para estabelecer o referencial, o erro de fechamento da poligonal ficou em 4 mm, ou seja, dentro da tolerância estabelecida pela norma o qual permitia um erro de 7 mm. Na Casa da Cultura, o erro altimétrico de fechamento da poligonal ficou em 1 mm, tendo como tolerância 5 mm de erro

máximo, para esse local se esperava erros baixos devido a pouca variação de altimetria e pontos mais próximos.

Para um levantamento hidrográfico recomenda-se conhecer bem o local e verificar a existência de alguma diferença de fase ou amplitude entre marés, como a pesquisa foi realizada em um reservatório onde há pouca ou quase nenhuma variação de nível, fez-se a checagem em um ponto distante em 2,5km do sensor de nível (FIGURA 14). Ressalta-se que, o estudo realizado através da leitura do nível d'água na Casa da Cultura no momento das leituras realizadas através do levantamento topográfico, teve como propósito tomar a decisão de uma possível distribuição de controles de nível ao longo do reservatório caso a diferença de nível fosse superior a 10 cm.

Conforme Tabela 19, é possível constatar que não há quase variação de nível entre os dois pontos medidos, a diferença entre os dois pontos foi de 3 mm, desta forma pode-se concluir que não há necessidade de aplicar áreas de zoneamento para controles de nível ao longo do reservatório.

Tabela 19: Comparativo entre os níveis d' água no barramento e Casa da Cultura

| Pontos | Alt. Elipsoidal (m) – Sensor de Nível – Barramento | Alt. Elipsoidal (m) – Casa da Cultura – GNSS | Resíduos (m) |
|----------------------------|---|---|---------------------|
| Nível d' Água - 21/11/2020 | 891,965 | 891,862 | 0,003 |

Fonte: Autor (2020).

Por fim, para estabelecer o nível de redução local, buscou comparar através de métodos diferentes, e certificar que estavam compatíveis, uma vez que os dados levantados na barragem foram através de técnicas de nivelamento geométrico e a proposta desta pesquisa foi um levantamento planialtimétricos através do uso com a estação total apoiada em vértices com coordenadas determinadas por sistema GNSS. Na análise realizada na seção 7.3, onde converteu as altitudes elipsoidais dos pontos tidos como referencias altimétricos, chegou a um desvio padrão de 6,7 mm, o que se permite concluir que os dados estão homogêneos e a partir daí pôde estabelecer os novos valores para os locais determinados conforme FIGURA 22. Conforme TABELA 19, os níveis de redução foram determinados para níveis máximo em 894,605m e mínimo de operação da barragem em 887,029m.

Como recomendação para futuras pesquisas, em locais onde seja possível medir com uso de GNSS, estabelecer um referencial por nivelamento GNSS, já que se tratam de regiões pequenas onde a maiorias das barragens são estruturadas e os valores de alturas geoidais entre os pontos nivelados são iguais. A recomendação da NORMAN-25, para aplicação desta técnica, é que sejam pelo menos duas sessões de rastreamento de 6 horas para cada vértice com receptores de dupla frequência, o que no mercado atual não seria mais um problema, desta forma reduziriam os efeitos de multicaminhamento.

REFERÊNCIAS

BERNARDI, J.V.E. & LANDIM, P.M.B. **Aplicação do Sistema de Posicionamento Global (GPS) na coleta de dados**. DGA, IGCE, UNESP/ Rio Claro, Lab. Geomatematica, Texto didático 10,31 p.p.2002. Disponível em :<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/texto_di.htm> Acesso em:14 de março de 2006.

COSTA, M. F., LAGO, I.F., PRADO, A. **Análise do processamento de dados GPS em função das diferentes condições de rastreamento**. Boletim de ciências geodésicas, Curitiba, v.8, n.1, p.17-24, 2002.

CORSEUIL, Cláudia W. **Reconstituição de uma Poligonal Topográfica pelo Sistema de Posicionamento Global**. 2001, 69 f, Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

DE FREITAS, S. R. C.; BLITZKOW, D. **Altitudes e Geopotencial**. IGeS Bulletin - Special Issue for South America, Milan, Italy., v. 9, p. 47-61, 1999.

DOCKHORN, Erika Silva. **Comparação de dois tipos de solução no posicionamento com receptores GPS**. 2006, Dissertação (Mestrado em Geomática) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Resolução PR nº 23**. Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos. Rio de Janeiro, 1983.

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <geoftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/legisla_re_solucao_d.pdf>. Acesso em maio de 2019.

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <[ftp://geoftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/reco_m_gps_internet.pdf](http://geoftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/reco_m_gps_internet.pdf)>. Acesso em maio de 2019.

Fédération Internationale des Géomètres (FIG), **FIG Guide on Development of a Vertical Reference Surface for Hydrography**. Copenhagen, Dinamarca, 2006, 30 p.

GEMAEL, C. . **Introdução à Geodésia Física**. Curitiba: Editora da UFPR, 1999. 319p.

HOFMANN-WELLENHOF, B., LICHTENEGGER H.&COLLINS J. **Global Position System: Theory and Praticce**. New York: Springer-Verlag Wien 1997. 389p.

INTERNATIONAL HYDROGRAPHIC ORGANIZATION (IHO). **IHO Standards for Hydrographic Surveys. Special Publication n. 44**. 4.ed. Principado de Monaco: International Hydrographic Bureau, 1998, 26 p.

INGHAM, A.E. **Hydrography for the Surveyor and Engineer**. London: Granada,1984, 132 p. International Hydrographic Organization (IHO).

LEICK, A. **GPS Satélite Surveying**. New York, Ed. John Wiley & Sons, Inc,560p., 1996.

LURTON, X. **An introduction to underwater acoustics: principles and applications**. London; Berlin; Heidelberg; New York; Barcelona; Hong Kong; Milan; Paris; Santa Clara; Singapore; Tokyo: Springer; Chichester, UK: Praxis Publ., 2002. 347 p.

MIGUENS, A.P., **Navegação: a ciência e a arte**. V.1. Navegação Costeira, estimada e em águas restritas. Rio de Janeiro. DHN, 1996, 538p.

MILLS,J., GILL,S., **Water Levels and Flow**. In: INTERNATIONAL HYDROGRAPHIC ORGANIZATION (IHO). Manual on Hydrography. Monaco: International Hydrographic Bureau,2005. 501p. p.253-300.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR – GPS: Descrição, Fundamentos e Aplicações**. São Paulo: Editora UNESP, 2000. 287p.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: Descrição, Fundamentos e Aplicações**. 2 ed. São Paulo, Editora UNESP, 2008.

MORAES, C. V.; SAATKAMP e E. D. E FREIBERGER J. **Geodésia e Topografia**. Notas de Aula. Universidade Federal de Santa Maria, 2011. 107p.

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

REMONDI, B. W. **Performing Centimeter – Level Surveys in Seconds with GPS Carrier Phase: Initial Results**. Journal of Navigation, v.3, Institute of Navigation, 1986.

ROMÃO, V. M. C. **Conceitos de Geodésia**. Curso de Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. UFPE. Recife. 2005.

SANTANA, T. A. **Contribuições para os Estudos de Integração das Componentes Verticais Terrestre e Marinha ao Longo da Costa Brasileira**. 2020. 140 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2020.

SEEBER, G., **Satellite Geodesy - Foundations, Methods and Applications**. Berlin, New York. 1993.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy - Foundations, Methods, and Applications**. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 2003. 589p.

SILVA, A.S. **GPS(Global Positioning System)**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1997.117p.

TORGE, W. **Geodesy**. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 2001. 416 p.

URICK, R. J. **Principles of underwater sound**. 2.ed. New York: McGraw Hill Book Company, 1975. 384p.

VETTORAZZI, C. A., ANGOLO FILHO, R., COUTO, H.T.Z. **Sistema de posicionamento global – GPS**. Engenharia Rural, Piracicaba v.5, n.2, p. 61 – 70, 1994.

VITTI, D. M. C., JUNIOR C. B., Determinação **das componentes do desvio da vertical para estabelecimento de referencial batimétrico na represa do lobo, Itirapina – SP**. Revista Brasileira de Cartografia (2017), N° 69/2: 253-261.

ZANETTI, M.A.Z. **Implicações Atuais no Relacionamento entre Sistemas Terrestres de Origem Local e Geocêntrica**. Tese de doutorado, CPGCG, UFPR, 111pp. 2006.

ANEXO I

CADERNETAS DE CAMPO E PROCESSAMENTO DOS DADOS

(LEVANTAMENTOS COM ESTAÇÃO TOTAL)

| Classe | Tipo | Nível Ref. | a | b | c | d | e | f |
|--------|------|------------|----------|----------|--------|--------|---|---|
| I P | 1 | | 0°00'00" | 0°00'06" | 0,0000 | 0,1000 | | |

| Estação de Partida | | Referência de Partida |
|--------------------|----------------|-----------------------|
| Nome | MR01 | E13 |
| Norte | 7.179.724,7330 | 7.179.762,0750 |
| Este | 691.966,5490 | 691.795,4180 |
| Cota | 897,401 | 898,585 |
| Azimute | 282°18'34" | |
| Distância | 175,1578 m | |

| Estação de Chegada | | Referência de Chegada |
|--------------------|----------------|-----------------------|
| Nome | E13 | MR01 |
| Norte | 7.179.762,0750 | 7.179.724,7330 |
| Este | 691.795,4180 | 691.966,5490 |
| Cota | 898,585 | 897,401 |
| Azimute | 102°18'34" | |
| Distância | 175,1578 m | |

| | Observados | Compensado |
|-----------|------------|------------|
| Perímetro | 234,5432 m | 234,5173 m |
| Área | | |

| | Erros | Tolerâncias | Fora |
|-------------|----------|------------------------|------|
| Angular | 0°00'00" | 0°00'10" (=a+b×N½) | |
| Relativo | 1:9988 | 1:4842 | |
| Linear | 0,0235 m | 0,0484 m (= c+d×L½) | |
| Eixo Norte | m | m | |
| Eixo Este | m | | |
| Altimétrico | 0,004 m | 0,007 m (= 15 mm × K½) | |
| erD(Máx) | 1:8.090 | 1:3.424 | |
| eAz | 0°00'00" | 0°00'06" | |
| eV | 0,0207 m | 0,0342 m | |

| Estação | DH | Desnivel | Azimute | Norte | Este | Cota | Descrição | Erro médio |
|---------|----------|----------|------------|--------------|--------------|---------|-----------|------------|
| E13 | | | | 179.762,0750 | 691.795,4180 | | | |
| | | | 102°18'34" | | | | | |
| MR01 | | | | 179.724,7330 | 691.966,5490 | 897,401 | ESTAÇÃO | |
| | 150,1990 | 1,2508 | 311°03'37" | | | | | 1:8.090 |
| E14 | | | | 179.823,3915 | 691.853,2960 | 898,652 | ESTAÇÃO | |
| | 84,3183 | -0,0668 | 223°20'51" | | | | | 1:9.254 |
| E13 | | | | 179.762,0750 | 691.795,4180 | 898,585 | ESTAÇÃO | |
| | | | 102°18'34" | | | | | |
| MR01 | | | | 179.724,7330 | 691.966,5490 | 897,401 | | |

| Nome | Descrição | Norte | Este | Cota |
|------|-----------|----------------|--------------|---------|
| E14 | ESTAÇÃO | 7.179.823,3915 | 691.853,2960 | 898,652 |

| Nome | Descrição | Norte | Este | Cota | Azimute | AH | DH | Desnível |
|------|-----------|----------------|--------------|---------|------------|-----------|---------|----------|
| N6 | NA | 7.179.787,1004 | 691.847,1528 | 891,969 | 189°36'28" | 58°32'51" | 36,8074 | -6,6826 |
| N7 | NA | 7.179.786,1524 | 691.852,2632 | 891,970 | 181°35'19" | 50°31'42" | 37,2534 | -6,6821 |
| N3 | NA | 7.179.774,4689 | 691.856,5824 | 891,969 | 176°09'25" | 45°05'48" | 49,0329 | -6,6823 |
| TU4 | TULIPA | 7.179.787,6881 | 691.852,7642 | 894,605 | 180°51'12" | 49°47'35" | 35,7074 | -4,0471 |
| TU5 | TULIPA | 7.179.783,4757 | 691.855,0081 | 894,614 | 177°32'38" | 46°29'01" | 39,9525 | -4,0375 |
| TU6 | TULIPA | 7.179.786,5466 | 691.848,2381 | 894,626 | 187°48'59" | 56°45'22" | 37,1905 | -4,0259 |

| Nome | Descrição | Norte | Este | Cota |
|------|-----------|----------------|--------------|---------|
| E13 | ESTAÇÃO | 7.179.762,0750 | 691.795,4180 | 898,585 |

| Nome | Descrição | Norte | Este | Cota | Azimute | AH | DH | Desnível |
|------|-----------|----------------|--------------|---------|------------|------------|----------|----------|
| N1 | NA | 7.179.786,6785 | 691.846,5576 | 891,964 | 64°18'27" | 20°57'36" | 56,7502 | -6,6210 |
| N2 | NA | 7.179.786,6785 | 691.846,5576 | 891,964 | 64°18'27" | 20°57'36" | 56,7503 | -6,6208 |
| N3 | NA_SENSO | 7.179.778,4414 | 691.851,0873 | 891,964 | 73°37'01" | 30°16'10" | 58,0253 | -6,6214 |
| N4 | NA | 7.179.782,2899 | 691.849,1319 | 891,964 | 69°22'35" | 26°01'44" | 57,3919 | -6,6213 |
| N5 | NA | 7.179.768,4874 | 691.854,4247 | 891,962 | 83°47'52" | 40°27'01" | 59,3541 | -6,6230 |
| TU1 | TULIPA | 7.179.780,5144 | 691.848,7559 | 894,584 | 70°55'45" | 27°34'54" | 56,4353 | -4,0007 |
| TU2 | TULIPA | 7.179.784,7234 | 691.847,0780 | 894,589 | 66°19'36" | 22°58'45" | 56,4066 | -3,9958 |
| TU3 | TULIPA | 7.179.784,9136 | 691.854,8820 | 894,613 | 68°59'22" | 25°38'31" | 63,6991 | -3,9718 |
| 1 | CRISTA | 7.179.812,0223 | 691.837,9759 | 898,608 | 40°25'58" | 357°05'07" | 65,6195 | 0,0231 |
| 2 | CRISTA | 7.179.774,9350 | 691.805,2328 | 898,613 | 37°21'04" | 354°00'13" | 16,1774 | 0,0284 |
| 3 | CRISTA | 7.179.752,6376 | 691.782,5512 | 898,609 | 233°44'28" | 190°23'37" | 15,9568 | 0,0239 |
| 4 | CRISTA | 7.179.740,7418 | 691.774,0174 | 898,572 | 225°05'25" | 181°44'34" | 30,2175 | -0,0127 |
| 5 | CRISTA | 7.179.633,6365 | 691.665,9828 | 898,613 | 225°13'17" | 181°52'26" | 182,3456 | 0,0283 |
| 6 | CRISTA | 7.179.557,9593 | 691.601,8149 | 898,556 | 223°29'09" | 180°08'18" | 281,3279 | -0,0289 |
| 1 | TER | 7.179.643,2283 | 691.901,1328 | 891,983 | 138°20'48" | 94°59'57" | 159,0602 | -6,6019 |
| 2 | TER | 7.179.749,5093 | 691.922,6373 | 894,340 | 95°38'27" | 52°17'36" | 127,8384 | -4,2452 |
| 3 | TER | 7.179.686,0952 | 691.965,0716 | 894,018 | 114°07'31" | 70°46'40" | 185,8905 | -4,5669 |

| Classe | Tipo | Nível Ref. | a | b | c | d | e | f |
|--------|------|------------|----------|----------|--------|--------|---|---|
| I P | 1 | | 0°00'00" | 0°00'06" | 0,0000 | 0,1000 | | |

| | Estação de Partida | Referência de Partida |
|-----------|--------------------|-----------------------|
| Nome | M4 | M1 |
| Norte | 7.177.728,3070 | 7.177.715,3330 |
| Este | 693.186,5830 | 693.145,1420 |
| Cota | 895,352 | 894,993 |
| Azimute | 252°36'58" | |
| Distância | 43,4244 m | |

| | Estação de Chegada | Referência de Chegada |
|-----------|--------------------|-----------------------|
| Nome | M1 | M4 |
| Norte | 7.177.715,3330 | 7.177.728,3070 |
| Este | 693.145,1420 | 693.186,5830 |
| Cota | 894,993 | 895,352 |
| Azimute | 72°36'58" | |
| Distância | 43,4244 m | |

| | Observados | Compensado |
|-----------|------------|------------|
| Perímetro | 114,3501 m | 114,3456 m |
| Área | | |

| | Erros | Tolerâncias | Fora |
|-------------|-----------|------------------------|------|
| Angular | 0°00'09" | 0°00'10" (=a+b×N½) | |
| Relativo | 1:10443 | 1:3381 | |
| Linear | 0,0109 m | 0,0338 m(= c+d×L½) | |
| Eixo Norte | m | m | |
| Eixo Este | m | | |
| Altimétrico | 0,001 m | 0,005 m (= 15 mm × K½) | |
| erD(Máx) | 1:377.180 | 1:2.391 | |
| eAz | 0°00'04" | 0°00'06" | |
| eV | 0,0002 m | 0,0239 m | |

| Estação | DH | Desnivel | Azimute | Norte | Este | Cota | Descrição | Erro médio |
|---------|---------|----------|------------|--------------|--------------|---------|-----------|------------|
| M1 | | | | 177.715,3330 | 693.145,1420 | | | |
| | | | 72°36'58" | | | | | |
| M4 | | | | 177.728,3070 | 693.186,5830 | 895,352 | ESTAÇÃO | |
| | 58,2629 | 2,6920 | 187°34'21" | | | | | 1:391.888 |
| M0 | | | | 177.670,5522 | 693.178,9052 | 898,044 | ESTAÇÃO | |
| | 56,0827 | -3,0510 | 322°59'06" | | | | | 1:377.180 |
| M1 | | | | 177.715,3330 | 693.145,1420 | 894,993 | ESTAÇÃO | |
| | | | 72°36'58" | | | | | |
| M4 | | | | 177.728,3070 | 693.186,5830 | 895,352 | | |

| Nome | Descrição | Norte | Este | Cota |
|------|-----------|----------------|--------------|---------|
| M1 | ESTAÇÃO | 7.177.715,3330 | 693.145,1420 | 894,993 |

| Nome | Descrição | Norte | Este | Cota | Azimute | AH | DH | Desnível |
|------|-----------|----------------|--------------|---------|-----------|------------|---------|----------|
| RG1 | 10CM | 7.177.752,2625 | 693.161,4180 | 893,641 | 23°47'04" | 240°48'02" | 40,3571 | -1,3516 |
| RG2 | 10CM | 7.177.752,2634 | 693.161,4184 | 893,641 | 23°47'04" | 240°48'02" | 40,3581 | -1,3517 |
| RG3 | 10CM | 7.177.752,2625 | 693.161,4180 | 893,641 | 23°47'04" | 240°48'02" | 40,3571 | -1,3516 |
| RG4 | 10CM | 7.177.752,2625 | 693.161,4180 | 893,641 | 23°47'04" | 240°48'02" | 40,3571 | -1,3516 |
| RG5 | 10CM | 7.177.752,2625 | 693.161,4180 | 893,641 | 23°47'04" | 240°48'02" | 40,3571 | -1,3516 |
| RG6 | 50CM | 7.177.752,2707 | 693.161,4083 | 894,043 | 23°46'02" | 240°47'00" | 40,3607 | -0,9502 |
| RG7 | 50CM | 7.177.752,2697 | 693.161,4079 | 894,043 | 23°46'02" | 240°47'00" | 40,3597 | -0,9502 |
| RG8 | 50CM | 7.177.752,2679 | 693.161,4071 | 894,043 | 23°46'02" | 240°47'00" | 40,3577 | -0,9501 |
| RG9 | 50CM | 7.177.752,2697 | 693.161,4079 | 894,043 | 23°46'02" | 240°47'00" | 40,3597 | -0,9502 |
| RG10 | 100CM | 7.177.752,2743 | 693.161,4095 | 894,643 | 23°46'00" | 240°46'58" | 40,3645 | -0,3503 |
| RG11 | 100CM | 7.177.752,2741 | 693.161,4099 | 894,642 | 23°46'02" | 240°47'00" | 40,3645 | -0,3505 |
| RG12 | 100CM | 7.177.752,2741 | 693.161,4100 | 894,643 | 23°46'03" | 240°47'01" | 40,3645 | -0,3501 |
| RG13 | 100CM | 7.177.752,2741 | 693.161,4100 | 894,643 | 23°46'03" | 240°47'01" | 40,3645 | -0,3501 |
| RG14 | 100CM | 7.177.752,2751 | 693.161,4103 | 894,643 | 23°46'02" | 240°47'00" | 40,3655 | -0,3502 |
| RG15 | 150CM | 7.177.752,2813 | 693.161,4075 | 895,042 | 23°45'36" | 240°46'34" | 40,3701 | 0,0487 |
| RG16 | 150CM | 7.177.752,2812 | 693.161,4076 | 895,042 | 23°45'37" | 240°46'35" | 40,3701 | 0,0487 |
| RG17 | 150CM | 7.177.752,2829 | 693.161,4088 | 895,041 | 23°45'39" | 240°46'37" | 40,3721 | 0,0484 |
| RG18 | 150CM | 7.177.752,2811 | 693.161,4080 | 895,042 | 23°45'39" | 240°46'37" | 40,3701 | 0,0487 |
| RG19 | 150CM | 7.177.752,2820 | 693.161,4084 | 895,042 | 23°45'39" | 240°46'37" | 40,3711 | 0,0488 |
| M4 | backup | 7.177.728,9844 | 693.186,3667 | 895,333 | 71°40'40" | 288°41'38" | 43,4262 | 0,3400 |

| Nome | Descrição | Norte | Este | Cota |
|------|-----------|----------------|--------------|---------|
| M4 | ESTAÇÃO | 7.177.728,3070 | 693.186,5830 | 895,352 |

| Nome | Descrição | Norte | Este | Cota | Azimute | AH | DH | Desnível |
|--------|-----------|----------------|--------------|---------|------------|-----------|---------|----------|
| RG1A | 10CM | 7.177.752,2551 | 693.161,4065 | 893,644 | 313°34'03" | 60°57'05" | 34,7472 | -1,7077 |
| RG1A1 | 10CM | 7.177.752,2551 | 693.161,4065 | 893,644 | 313°34'03" | 60°57'05" | 34,7472 | -1,7079 |
| RG1A2 | 10CM | 7.177.752,2559 | 693.161,4059 | 893,644 | 313°34'04" | 60°57'06" | 34,7481 | -1,7081 |
| RG1A3 | 10CM | 7.177.752,2566 | 693.161,4039 | 893,644 | 313°33'59" | 60°57'01" | 34,7502 | -1,7080 |
| RG1A4 | 10CM | 7.177.752,2561 | 693.161,4047 | 893,644 | 313°34'00" | 60°57'02" | 34,7492 | -1,7075 |
| RG1A5 | 50CM | 7.177.752,2596 | 693.161,4095 | 894,044 | 313°34'35" | 60°57'37" | 34,7482 | -1,3080 |
| RG1A6 | 50CM | 7.177.752,2598 | 693.161,4096 | 894,044 | 313°34'36" | 60°57'38" | 34,7482 | -1,3078 |
| RG1A7 | 50CM | 7.177.752,2598 | 693.161,4096 | 894,044 | 313°34'36" | 60°57'38" | 34,7481 | -1,3082 |
| RG1A8 | 50CM | 7.177.752,2598 | 693.161,4096 | 894,044 | 313°34'36" | 60°57'38" | 34,7481 | -1,3082 |
| RG1A9 | 50CM | 7.177.752,2598 | 693.161,4096 | 894,044 | 313°34'36" | 60°57'38" | 34,7481 | -1,3082 |
| RG1A10 | 100CM | 7.177.752,2656 | 693.161,4056 | 894,644 | 313°34'45" | 60°57'47" | 34,7551 | -0,7083 |
| RG1A11 | 100CM | 7.177.752,2657 | 693.161,4056 | 894,644 | 313°34'45" | 60°57'47" | 34,7551 | -0,7080 |
| RG1A12 | 100CM | 7.177.752,2656 | 693.161,4056 | 894,644 | 313°34'45" | 60°57'47" | 34,7551 | -0,7083 |
| RG1A13 | 100CM | 7.177.752,2650 | 693.161,4064 | 894,644 | 313°34'45" | 60°57'47" | 34,7541 | -0,7083 |
| RG1A14 | 100CM | 7.177.752,2659 | 693.161,4059 | 894,643 | 313°34'47" | 60°57'49" | 34,7551 | -0,7087 |
| RG1A15 | 150CM | 7.177.752,2713 | 693.161,4102 | 895,044 | 313°35'28" | 60°58'30" | 34,7557 | -0,3085 |
| RG1A16 | 150CM | 7.177.752,2714 | 693.161,4104 | 895,043 | 313°35'29" | 60°58'31" | 34,7556 | -0,3090 |
| RG1A17 | 150CM | 7.177.752,2715 | 693.161,4105 | 895,043 | 313°35'30" | 60°58'32" | 34,7556 | -0,3088 |
| RG1A18 | 150CM | 7.177.752,2723 | 693.161,4099 | 895,043 | 313°35'31" | 60°58'33" | 34,7567 | -0,3087 |
| RG1A19 | 150CM | 7.177.752,2721 | 693.161,4096 | 895,043 | 313°35'29" | 60°58'31" | 34,7567 | -0,3087 |

| Nome | Descrição | Norte | Este | Cota |
|------|-----------|----------------|--------------|---------|
| M0 | ESTAÇÃO | 7.177.670,5526 | 693.178,9060 | 898,044 |

| Nome | Descrição | Norte | Este | Cota | Azimute | AH | DH | Desnível |
|------|-----------|----------------|--------------|---------|------------|------------|---------|----------|
| A1 | AUXILIAR | 7.177.726,4723 | 693.181,3763 | 895,282 | 2°31'46" | 354°57'28" | 55,9742 | -2,7618 |
| M1 | backup | 7.177.715,3412 | 693.145,1547 | 894,983 | 322°59'58" | 315°25'40" | 56,0817 | -3,0611 |

| Nome | Descrição | Norte | Este | Cota |
|------|-----------|----------------|--------------|---------|
| A1 | | 7.177.726,4723 | 693.181,3763 | 895,282 |

| Nome | Descrição | Norte | Este | Cota | Azimute | AH | DH | Desnível |
|--------|-----------|----------------|--------------|---------|------------|------------|---------|----------|
| RG2A | 150MM | 7.177.733,1996 | 693.160,1528 | 894,982 | 287°35'14" | 105°03'28" | 22,2642 | -0,2998 |
| RG2A1 | 150MM | 7.177.733,1998 | 693.160,1528 | 894,983 | 287°35'16" | 105°03'30" | 22,2642 | -0,2997 |
| RG2A2 | 150MM | 7.177.733,1998 | 693.160,1528 | 894,982 | 287°35'16" | 105°03'30" | 22,2642 | -0,2998 |
| RG2A3 | 150MM | 7.177.733,1998 | 693.160,1528 | 894,982 | 287°35'16" | 105°03'30" | 22,2642 | -0,2999 |
| RG2A4 | 150MM | 7.177.733,1998 | 693.160,1528 | 894,982 | 287°35'16" | 105°03'30" | 22,2642 | -0,2998 |
| RG2A5 | 150MM | 7.177.733,1998 | 693.160,1528 | 894,982 | 287°35'16" | 105°03'30" | 22,2642 | -0,2999 |
| RG2A6 | 20MM | 7.177.733,2402 | 693.160,1634 | 894,505 | 287°41'43" | 105°09'57" | 22,2664 | -0,7770 |
| RG2A7 | 20MM | 7.177.733,2403 | 693.160,1635 | 894,505 | 287°41'44" | 105°09'58" | 22,2664 | -0,7771 |
| RG2A8 | 20MM | 7.177.733,2405 | 693.160,1635 | 894,505 | 287°41'45" | 105°09'59" | 22,2664 | -0,7770 |
| RG2A9 | 20MM | 7.177.733,2406 | 693.160,1635 | 894,505 | 287°41'46" | 105°10'00" | 22,2664 | -0,7770 |
| RG2A10 | 20MM | 7.177.733,2407 | 693.160,1635 | 894,505 | 287°41'47" | 105°10'01" | 22,2664 | -0,7770 |
| RG2A11 | 20MM | 7.177.733,2407 | 693.160,1635 | 894,505 | 287°41'47" | 105°10'01" | 22,2664 | -0,7770 |
| RG2A12 | 190MM | 7.177.733,1753 | 693.160,1526 | 895,383 | 287°31'39" | 104°59'53" | 22,2570 | 0,1004 |
| RG2A13 | 190MM | 7.177.733,1753 | 693.160,1526 | 895,383 | 287°31'39" | 104°59'53" | 22,2570 | 0,1005 |
| RG1B | 150MM | 7.177.752,2753 | 693.161,4396 | 895,035 | 322°18'31" | 139°46'45" | 32,6078 | -0,2476 |
| RG1B1 | 150MM | 7.177.752,2752 | 693.161,4395 | 895,035 | 322°18'30" | 139°46'44" | 32,6078 | -0,2476 |
| RG1B2 | 100MM | 7.177.752,2674 | 693.161,4337 | 894,635 | 322°17'31" | 139°45'45" | 32,6052 | -0,6473 |
| RG1B3 | 100MM | 7.177.752,2675 | 693.161,4337 | 894,635 | 322°17'31" | 139°45'45" | 32,6052 | -0,6472 |
| RG1B4 | 100MM | 7.177.752,2565 | 693.161,4422 | 893,636 | 322°17'31" | 139°45'45" | 32,5914 | -1,6464 |
| RG1B5 | 10MM | 7.177.752,2564 | 693.161,4420 | 893,636 | 322°17'30" | 139°45'44" | 32,5914 | -1,6464 |
| RG1B6 | 10MM | 7.177.752,2566 | 693.161,4423 | 893,636 | 322°17'32" | 139°45'46" | 32,5914 | -1,6464 |

ANEXO II

RESULTADO DOS PROCESSAMENTOS DOS DADOS GPS

(LEVANTAMENTO DOS VÉRTICES DA POLIGONAL)



Project Summary

Project name: LEV21112020
 Surveyor: Davi Nascimento
 Comment: Levantamento realizado na Barragem de Piraquara II - Piraquara -PR
 Linear unit: Meters
 Projection: UTMSouth-Zone_22 : 54W to 48W
 Geoid:

| Name | Points | | | WGS84 Latitude | WGS84 Longitude |
|------------------------|-------------------|------------------|---------------|------------------|------------------|
| | Grid Northing (m) | Grid Easting (m) | Elevation (m) | | |
| E13 | 7179762,075 | 691795,418 | 898,585 | 25°29'12,84434"S | 49°05'31,09606"W |
| E14 | 7179823,392 | 691853,301 | 898,648 | 25°29'10,82508"S | 49°05'29,05544"W |
| M1 | 7177715,333 | 693145,142 | 894,993 | 25°30'18,71495"S | 49°04'41,72069"W |
| M4 | 7177728,307 | 693186,583 | 895,352 | 25°30'18,27393"S | 49°04'40,24370"W |
| MRRN 01 | 7179724,416 | 691966,286 | 898,728 | 25°29'13,98831"S | 49°05'24,96001"W |
| N.A. - CASA DA CULTURA | 7177784,224 | 693190,129 | 891,862 | 25°30'16,45545"S | 49°04'40,14569"W |

| Point Name | GPS Occupations | | | Method | N Epoch | Ant Height | Method Interval (msec) |
|------------------------|---------------------|---------------------|----------|--------|---------|------------|------------------------|
| | Start Time | Stop Time | Duration | | | | |
| MRRN 01 | 21/11/2020 09:42:36 | 21/11/2020 14:25:58 | 04:43:22 | Static | 17002 | Vertical | 1000 |
| M4 | 21/11/2020 13:20:21 | 21/11/2020 13:30:29 | 00:10:08 | Static | 608 | Vertical | 1000 |
| E13 | 21/11/2020 11:42:58 | 21/11/2020 12:21:03 | 00:38:05 | Static | 2285 | Vertical | 1000 |
| E14 | 21/11/2020 11:27:45 | 21/11/2020 11:40:09 | 00:12:24 | Static | 744 | Vertical | 1000 |
| M1 | 21/11/2020 13:00:23 | 21/11/2020 13:11:42 | 00:11:19 | Static | 679 | Vertical | 1000 |
| N.A. - CASA DA CULTURA | 21/11/2020 13:33:19 | 21/11/2020 13:46:20 | 00:13:01 | Static | 781 | Vertical | 1000 |

| Name | GPS Observations | | | | | | Start Time | Solution Type |
|--------------------------------|------------------|--------------------|-------|--------------|----------|----------|---------------------|---------------|
| | GPS Satellites | GLONASS Satellites | PDOP | Distance (m) | Horz RMS | Vert RMS | | |
| E13-MRRN 01 | 5 | 6 | 1,548 | 174,984 | 0,001 | 0,001 | 21/11/2020 11:42:58 | Fixed |
| E14-MRRN 01 | 5 | 5 | 1,345 | 150,219 | 0,001 | 0,001 | 21/11/2020 11:27:45 | Fixed |
| M1-MRRN 01 | 6 | 5 | 1,457 | 2329,600 | 0,004 | 0,006 | 21/11/2020 13:00:23 | Fixed |
| M4-MRRN 01 | 6 | 6 | 1,293 | 2339,764 | 0,004 | 0,007 | 21/11/2020 13:20:21 | Fixed |
| MRRN 01-N.A. - CASA DA CULTURA | 8 | 6 | 1,435 | 2294,135 | 0,002 | 0,003 | 21/11/2020 13:33:19 | Fixed |

Observation View

