

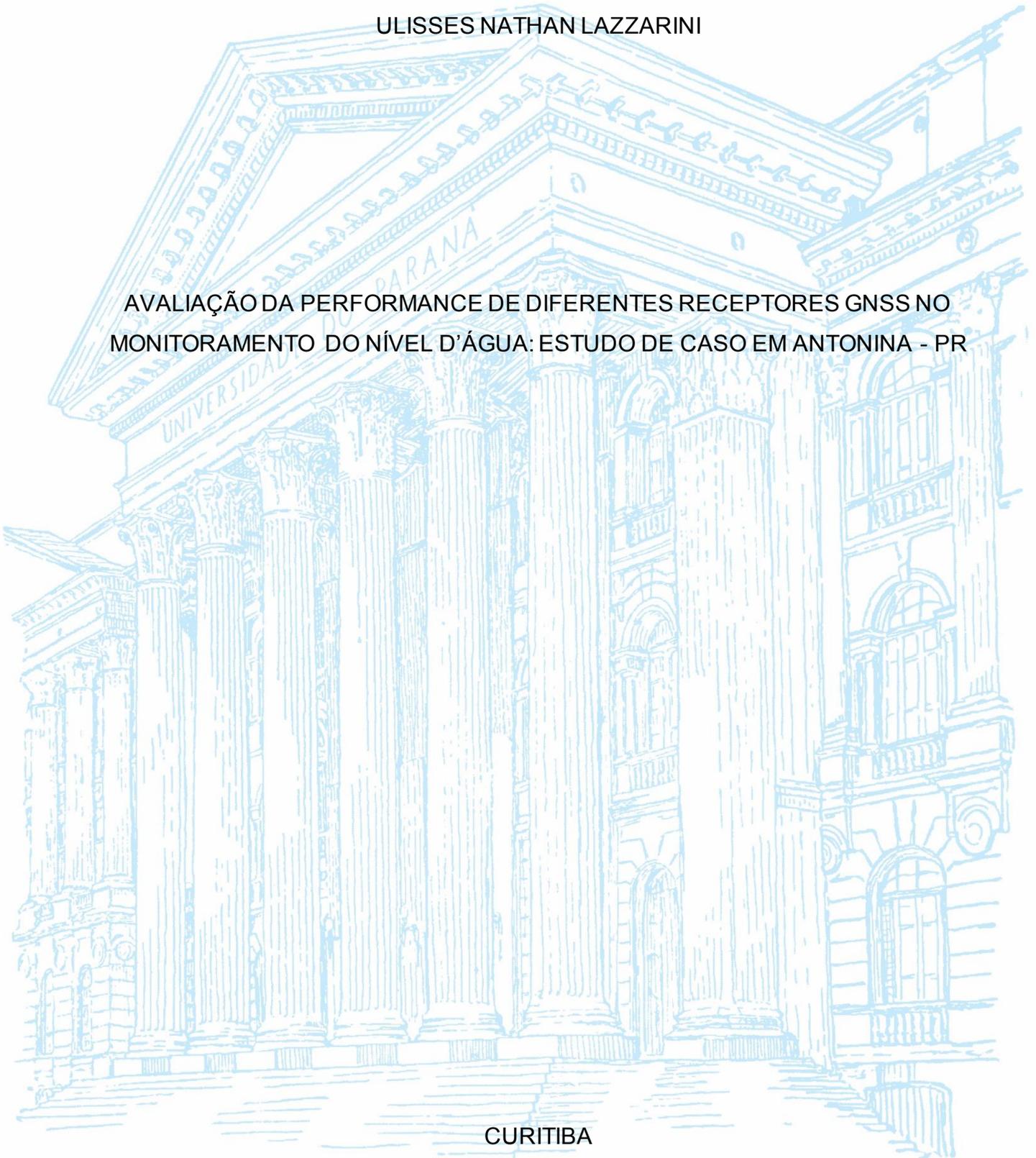
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LUCAS MUNHOZ CASEIRO
ULISSES NATHAN LAZZARINI

AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE DE DIFERENTES RECEPTORES GNSS NO
MONITORAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA: ESTUDO DE CASO EM ANTONINA - PR

CURITIBA

2022



LUCAS MUNHOZ CASEIRO
ULISSES NATHAN LAZZARINI

AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE DE DIFERENTES RECEPTORES GNSS NO
MONITORAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA: ESTUDO DE CASO EM ANTONINA - PR

TCC apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Cartógrafo e Agrimensor.

Orientador(a): Prof(a). Dr(a). Cláudia Pereira Krueger.

Coorientador: Prof. Dr. Wilson Alcântara Soares.

CURITIBA
2022



Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências da Terra
Engenharia Cartográfica e de Agrimensura

TERMO DE APROVAÇÃO

ULISSES NATHAN LAZZARINI
LUCAS MUNHOZ CASEIRO

AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE DE DIFERENTES RECEPTORES GNSS NO
MONITORAMENTO DO NÍVEL D' ÁGUA: ESTUDO DE CASO EM ANTONINA – PR

O Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, foi APROVADO como requisito à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Profª Drª. Claudia Pereira Krueger
Orientador(a) – Departamento de Geomática, UFPR

Drª. Renata Magda Cavalcante Werlich

Msc. Eliel Jessé Junior

Doutorando no Programa de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR

Curitiba, 20 de setembro de 2022.

AGRADECIMENTOS

Às nossas famílias, nossos pais e mães, por todo amor e apoio prestados ao longo da vida, por acreditarem em nossas escolhas e nos darem todas as condições para trilharmos o nosso caminho.

À faculdade e aos amigos que ela nos trouxe, pelos infinitos grupos terminados em “íssimos”, ao DAEC - nossa segunda casa, ao Valter pelas tardes, noites e madrugadas de companhia.

Aos Professores e Mestres que contribuíram com a nossa formação acadêmica e profissional ao longo da vida.

Ulisses: Além dos supracitados, agradeço os grandes amigos Eduardo Henrique Santos, Dalet Tognato e João Wagner; os amigos de Eng. Ambiental (CaGanja); Lemi, Téca e Zéca pela companhia ininterrupta e os amigos da BMX.

Lucas: agradecimentos especiais à minha querida Ingridy, por todo amor e companhia em todos esses anos, por escolher dividir a vida comigo. À Juno e a Judite, nossas filhas peludas, por iluminarem nossos dias.

À minha mãe Brígida e irmã Bianca, por todo amor e apoio irrestrito ao longo da vida. Também à Rosana, Loivo, Karen e toda família da Dy por me receberem com muito carinho.

Aos amigos, de Rio Grande à Curitiba, pelas risadas e bons momentos, por ajudarem a ver esperança nos tempos mais sombrios da pandemia. Ao nosso crescimento e sucesso.

Aos que partiram, nossa eterna saudade.

RESUMO

Os primeiros monitoramentos de massas d'água com plataformas flutuantes datam do começo do século XX. Neste âmbito, o emprego de sistemas de posicionamento global por satélites trouxe diversas vantagens, como a cobertura global, agilidade na aquisição de dados, possibilidade de rastreamento contínuo, e independência de condições climáticas. O custo para se realizar tais monitoramentos com GNSS também pôde ser reduzido, com a utilização de sensores e plataformas de baixo custo, assim como o emprego de softwares livres para processamento de dados. Neste trabalho, foi realizada uma coleta de dados com a plataforma flutuante PEN-01, lançada em campo de prova, equipada com dois receptores GNSS de baixo custo (Garmin GPS 72 e U-blox NEO-6M) junto a dois receptores de alta precisão (Leica 1200 e Topcon Hyper SR). A partir dos dados de altitude elipsoidal da plataforma flutuante, buscou-se a determinação da variação do nível d'água na região do Trapiche Municipal de Antonina/PR para cada receptor. Sobre o trapiche, foram instalados os pares homólogos dos receptores presentes na PEN-01, junto a um terceiro de baixo custo (Navilock NL-602U). Os receptores de alta precisão instalados no trapiche foram utilizados como estações base para os homólogos na plataforma flutuante, com objetivo de se obter uma coordenada altimétrica precisa para o trapiche, utilizada como referência para as altitudes instantâneas obtidas com os receptores de baixo custo. Uma estrutura de PVC com uma trena nela fixada foi instalada na estrutura do trapiche para leitura visual da variação do nível d'água e, junto à predição de maré para a região, forneceram um parâmetro inicial para o fenômeno estudado. Dessa forma, pôde-se avaliar o desempenho dos receptores instalados tanto no trapiche, quanto na plataforma flutuante, considerando que o receptor Leica obteve os resultados de mais confiabilidade para ambos os casos. Observou-se que, após filtragem dos dados e remoção de outliers, os receptores de baixo custo não apresentaram precisão suficiente para o monitoramento da variação do nível d'água, porém em modo estático, no trapiche, apresentaram baixa discrepância do valor de altitude elipsoidal em relação aos valores de referência, e desvio padrão inferior à precisão nominal indicada pelos fabricantes.

Palavras-chave: Plataformas Flutuantes. GNSS. Variação de nível d'água.

ABSTRACT

The first examples of water masses using floating platforms date from the beginning of the 20th Century. On this behalf, the employment of Global Navigation Satellite Systems has brought several advantages, such as global coverage, data acquisition agility, possibility of continuous tracking and independence of climatic conditions. The cost of such monitoring can be reduced with the use of low-cost platforms, and the use of free software for data processing. In the present paper, the data was collected using the floating platform PEN-01, deployed in the test field, equipped with two low-cost GNSS sensors (Garmin GPS 72 e U-blox NEO-6M), along with two high-accuracy sensors (Leica 1200 e Topcon Hyper SR). From the ellipsoidal height data obtained from the floating platform equipments, the variation of water level on the Municipal Pier of Antonina/Pr region was determined. On the Pier, homologous pairs of the platform equipments were set, serving as reference for the precise ellipsoidal height, to compare the instantaneous coordinates obtained with the low-cost sensors. A PVC pipe combined with a topographic measurement tape was fixed to the Pier column structures for visual readings of the water level, along with the tide prediction for the region, served as inicial reference for the analyzed phenomena. Thus, it was possible to evaluate the performance of the sensors installed on both stations, considering the Leica 1200's as the best performance. After filtering and removing outliers from the data, it was observed the low-cost sensors weren't able to determine water level variation with viable accuracy, however in static mode, the filtered low-cost results were able to achieve less discrepancy with the ellipsoidal height determined by the Leica sensor, and also lower standard deviation than what was predicted by the manufacturer.

Keywords: Floating Platforms; GNSS; Water Level Variation.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ALTITUDE ELIPSOIDAL (h) E ALTURA GEOIDAL (N).....	21
FIGURA 2 - EQUIPAMENTOS GNSS DE BAIXO CUSTO.....	26
FIGURA 3 - FLUXOGRAMA METODOLÓGICO DAS ETAPAS A SEREM DESENVOLVIDAS.....	31
FIGURA 4 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO	32
FIGURA 5 - MARÉ PREVISTA PARA ANTONINA EM 23/07/2022	33
FIGURA 6 - RECORTE DA CARTA NÁUTICA 1822.....	33
FIGURA 7 - PLATAFORMA EULERIANA DE NÍVEL (PEN-01).....	34
FIGURA 8 - PROJETO DO ADAPTADOR CONFECCIONADO.....	35
FIGURA 9 - ADAPTADOR INSTALADO NA PLATAFORMA.....	36
FIGURA 10 - PLATAFORMA COM O ADAPTADOR E OS EIXOS	36
FIGURA 11 - CAIXA PLÁSTICA FIXADA NAS BARRAS TRANSVERSAIS COM A BASE DE ISOPOR E OS EQUIPAMENTOS DEVIDAMENTE ACOMODADOS NO SEU INTERIOR.	37
FIGURA 12 - SOFTWARE U-CENTER V22.02 DURANTE COLETA DE DADOS ...	40
FIGURA 13 - EQUIPAMENTOS INSTALADOS SOBRE O TRAPICHE.....	42
FIGURA 14 - ESTRUTURA DE PVC COM TRENA INSTALADA NO TRAPICHE....	42
FIGURA 15 - RECEPTORES INSTALADOS NA PLATAFORMA	43
FIGURA 16 - DETALHE DO TRAPICHE DE ANTONINA COM A INDICAÇÃO DO PONTO DE LANÇAMENTO DA PLATAFORMA E DOS EQUIPAMENTOS	44
FIGURA 17 - FLUXOGRAMA METODOLÓGICO DA ANÁLISE E PROCESSAMENTO DOS DADOS OBTIDOS COM OS RECEPTORES GEODÉSICOS.....	45
FIGURA 18 - FLUXOGRAMA METODOLÓGICO DA ANÁLISE E FILTRAGEM DOS DADOS OBTIDOS COM OS RECEPTORES DE BAIXO CUSTO	46
FIGURA 19 - SKYPLOT PARA ESTAÇÃO BASE 1 (RECEPTOR LEICA 1200).....	47
FIGURA 20 - SKYPLOT PARA A ESTAÇÃO BASE 2 (RECEPTOR HYPER SR)....	48
FIGURA 21 - SKYPLOTS PARA O RECEPTOR NAVILOCK NL-602U.....	53
FIGURA 22 - FLUXOGRAMA METODOLÓGICO DA ANÁLISE, PROCESSAMENTO E FILTRAGEM DOS DADOS OBTIDOS COM OS RECEPTORES GEODÉSICOS NA PLATAFORMA FLUTUANTE.....	55

FIGURA 23 - SKYPLOT PARA ESTAÇÃO MÓVEL (RECEPTOR LEICA 1200 - PLATAFORMA).....	55
FIGURA 24 - SKYPLOT PARA ESTAÇÃO MÓVEL (RECEPTOR HYPER SR - PLATAFORMA).....	56
FIGURA 25 - FLUXOGRAMA METODOLÓGICO DA ANÁLISE E FILTRAGEM DOS DADOS OBTIDOS COM OS RECEPTORES DE BAIXO CUSTO NA PLATAFORMA FLUTUANTE.....	59

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - NSAT, VDOP e PDOP PARA ESTAÇÃO BASE 1 (RECEPTOR LEICA 1200).....	49
GRÁFICO 2 - NSAT, VDOP e PDOP PARA ESTAÇÃO BASE 2 (RECEPTOR HYPER SR).....	49
GRÁFICO 3 - VARIAÇÃO DA ALTITUDE ELIPSOIDAL - RECEPTOR U-BLOX NEO-6M (TRAPICHE).....	52
GRÁFICO 4 - VARIAÇÃO DA ALTITUDE ELIPSOIDAL - RECEPTOR NAVILOCK NL-602U (TRAPICHE).....	52
GRÁFICO 5 - ANÁLISE DE NSAT, HDOP, VDOP E PDOP - RECEPTORES DE BAIXO CUSTO (TRAPICHE).....	53
GRÁFICO 6 - NSAT, VDOP e PDOP PARA ESTAÇÃO MÓVEL (LEICA 1200 - PLATAFORMA).....	57
GRÁFICO 7 - NSAT, VDOP e PDOP PARA ESTAÇÃO MÓVEL (HYPER SR - PLATAFORMA).....	57
GRÁFICO 8 - VARIAÇÃO DA ALTITUDE ELIPSOIDAL - RECEPTOR U-BLOX NEO-6M (PLATAFORMA).....	61
GRÁFICO 9 - NSAT, HDOP PARA ESTAÇÃO MÓVEL (U-BLOX NEO-6M - PLATAFORMA).....	61
GRÁFICO 10 - VARIAÇÃO DA ALTITUDE DO MÓDULO U-BLOX AO LONGO DA COLETA NO TRAPICHE (DADOS FILTRADOS).....	65
GRÁFICO 11 - VARIAÇÃO DA ALTITUDE DO NAVILOCK NL-602U AO LONGO DA COLETA NO TRAPICHE (DADOS FILTRADOS).....	66
GRÁFICO 12 - VARIAÇÃO DA ALTITUDE ELIPSOIDAL - LEICA 1200 PLATAFORMA - DADOS NÃO FILTRADOS.....	68
GRÁFICO 13 - VARIAÇÃO DA ALTITUDE ELIPSOIDAL - TOPCON HYPER SR (DADOS NÃO FILTRADOS).....	69
GRÁFICO 14 - ALTITUDES FINAIS LEICA 1200 (OBSERVAÇÕES FILTRADAS)..	71
GRÁFICO 15 - ALTITUDES FINAIS TOPCON HYPER SR (OBSERVAÇÕES FILTRADAS).....	71
GRÁFICO 16 - VARIAÇÃO DA ALTITUDE ELIPSOIDAL - U-BLOX NEO-6M PLATAFORMA (DADOS FILTRADOS).....	72

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS DOS RECEPTORES UTILIZADOS	38
TABELA 2 - COMPONENTES E SUAS FUNÇÕES DO MÓDULO ARDUINO NANO PARA COLETA DE DADOS DO RECEPTOR U-BLOX NEO-6M	39
TABELA 3 - CONFIGURAÇÕES DOS PROCESSAMENTOS - ESTAÇÕES BASE 1 E BASE 2.....	50
TABELA 4 - ANÁLISES ESTATÍSTICAS PARA AS ALTITUDES OBTIDAS PELOS RECEPTORES DE BAIXO CUSTO DO TRAPICHE	51
TABELA 5 - CONFIGURAÇÕES DOS PROCESSAMENTOS - ESTAÇÕES MÓVEIS (LEICA 1200 E HYPER SR).....	59
TABELA 6 - ANÁLISES ESTATÍSTICAS PARA AS ALTITUDES OBTIDAS PELOS RECEPTORES DE BAIXO CUSTO DA PLATAFORMA.....	60
TABELA 7 - LEITURAS REALIZADAS SOBRE A ESTRUTURA DE PVC COM TRENA TOPOGRÁFICA.....	63
TABELA 8 - COORDENADAS FINAIS, PRECISÕES E PARÂMETROS - RECEPTORES GEODÉSICOS (TRAPICHE).....	64
TABELA 9 - FILTRAGEM DOS DADOS - RECEPTORES DE BAIXO CUSTO (TRAPICHE)	65
TABELA 10 - COORDENADAS FINAIS E SEUS DESVIOS PADRÃO - RECEPTORES DE BAIXO CUSTO FILTRADOS (TRAPICHE).....	66
TABELA 11 - COMPARATIVO FINAL - ALTITUDE ELIPSOIDAL OBTIDA PARA O TRAPICHE E SUA PRECISÃO	67
TABELA 12 - OBSERVAÇÕES COM AMBIGUIDADE FIXADA (DADOS NÃO FILTRADOS).....	69
TABELA 13 - FILTRAGEM DOS DADOS - RECEPTORES GEODÉSICOS (PLATAFORMA FLUTUANTE).....	70
TABELA 14 - INTERVALO DE FILTRAGEM PARA O RECEPTOR DE BAIXO CUSTO DA PLATAFORMA FLUTUANTE.....	72
TABELA 15 - AMPLITUDE DAS ALTITUDES OBSERVADAS - RECEPTORES INSTALADOS NA PLATAFORMA FLUTUANTE	74
TABELA 16 - COMPARATIVO DA ALTITUDE ELIPSOIDAL E DA VARIAÇÃO ABSOLUTA MEDIDA NA ESTRUTURA DE PVC NOS HORÁRIOS OBSERVADOS	75

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ATC - Accelerometer-tilt-compass
DOP - Dilution of Precision
ENVISAT - Environmental Satellite
GDOP - Geometric Dilution of Precision
GFO - GEOSAT Follow-On
GGOS - Global Geodetic Observing System
GLONASS - (Sistema de Navegação Global por Satélite, em russo)
GNSS - Sistema Global de Navegação por Satélites
GPS - Global Positioning System
HDOP - Horizontal Dilution of Precision
IAG - International Association of Geodesy
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INME - Instituto Nacional de Meteorologia.
IRNSS - Indian Regional Navigation Satellite System
INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LAGEH - Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia
NAVSTAR/GPS - Navigation Satellite with Time And Ranging
NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration
PEN-01 – Plataforma Euleriana de Nível 01
PDOP - Position Dilution of Precision
PIRATA - Prediction and Research Moored Array in the Tropical Atlantic
PNPF - Programa Nacional de Plataformas Flutuantes
PPK - Post Processed Kinematic
PPP - Posicionamento por Ponto Preciso
PVC - Policloreto de vinila
QZSS - Quasi-Zenith Satellite System
RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS
RTK - Real Time Kinematic
SIRGAS - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
TOPEX/Poseidon - Topography Experiment/Poseidon
TDOP - Time Dilution of Precision
UTC - Coordinated Universal Time

VBS - Virtual Base Station

VDOP - Vertical Dilution of Precision

USP - Universidade Federal de São Paulo

UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro

UFPR - Universidade Federal do Paraná

LISTA DE SÍMBOLOS

σ - desvio padrão

φ - Latitude

λ - Longitude

h - Altitude elipsoidal

H - Altitude Ortométrica

N - Altura Geoidal

Δ - Delta

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 JUSTIFICATIVA	17
1.2 OBJETIVOS	18
1.2.1 Objetivo geral	18
1.2.2 Objetivos específicos	18
2 REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1 PRINCÍPIOS DO POSICIONAMENTO POR SATÉLITES	19
2.2 MONITORAMENTO DE MASSAS D'ÁGUA VIA GNSS.....	22
2.2.1 Plataformas Eulerianas e Lagrangeanas.....	25
2.2.2 Emprego de Receptores GNSS de Baixo Custo.....	25
2.3 ESTUDOS RELACIONADOS	27
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	31
3.2 PLATAFORMA EULERIANA DE NIVEL (PEN-01)	34
3.3 EQUIPAMENTOS	38
3.4 LEVANTAMENTO.....	41
3.4.1 MONTAGEM NO TRAPICHE MUNICIPAL DE ANTONINA.....	41
3.4.2 MONTAGEM NA PLATAFORMA EULERIANA.....	43
3.5 ANÁLISE DA QUALIDADE DOS DADOS E ETAPAS REALIZADAS VISANDO A SOLUÇÃO FINAL.....	45
3.5.1 Estações Base 1 e Base 2 instaladas no Trapiche.....	47
3.5.2 Estações com receptores de Baixo Custo instaladas no Trapiche	51
3.5.3 Estações Móveis instaladas na Plataforma Flutuante – Receptores Geodésicos.....	54
3.5.4 Estações Móveis instaladas na Plataforma Flutuante – Receptores de Baixo Custo.....	59
3.5.5 Variação do Nível d'Água medido na Estrutura de PVC com Trena.....	62
4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	64
4.1 EQUIPAMENTOS INSTALADOS NO TRAPICHE	64
4.2 EQUIPAMENTOS INSTALADOS NA PLATAFORMA FLUTUANTE	67
4.2.1 ALTITUDES ELIPSOIDAIIS DA PLATAFORMA EULERIANA – RECEPTORES GEODÉSICOS	68
4.2.2 ALTITUDES ELIPSOIDAL DA PLATAFORMA EULERIANA – RECEPTORES DE BAIXO CUSTO.....	72

4.2.3 COMPARAÇÃO DAS AMPLITUDES DE VARIAÇÃO DO NÍVEL D'ÁGUA.....	73
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	76
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	77
REFERÊNCIAS	79

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Grassi (2001), cerca de 70,7% da superfície terrestre é coberta por corpos d'água, incluindo oceanos, mares, rios, lagos e reservatórios. Estes corpos d'água estão sujeitos a influência de processos naturais ligados à dinâmica da Terra, como as marés e o regime de chuvas, bem como ao resultado de atividades antrópicas que afetam esta dinâmica.

Neste contexto, destaca-se a importância em se efetuar o monitoramento de corpos d'água, pois, de acordo com Euriques, Krueger e Viski (2017), este é um procedimento indispensável no planejamento e gestão de medidas aplicadas a prevenção ou na minimização dos efeitos causados por desastres naturais.

Diferentes metodologias e tecnologias vêm sendo amplamente utilizadas para obtenção de medidas tanto quantitativas quanto qualitativas no que tange ao monitoramento de corpos d'água, como a combinação de receptores de posicionamento por satélites (Global Navigation Satellite System - GNSS) acoplados em plataformas flutuantes, visando gerar dados de posicionamento para pontos sobre tal corpo d'água.

Pelo GNSS se obtém as coordenadas tridimensionais da antena receptora mediante o emprego de sinais enviados pelos satélites. Estando a plataforma flutuante ancorada sobre o corpo d'água durante o rastreamento GNSS é possível associar as variações da componente altimétrica (altitude elipsoidal) com as variações do nível do corpo d'água. Além disso, o GNSS possibilita a automação e agilidade na aquisição dos dados, e algumas vantagens, como o custo-benefício e independência de condições climáticas (SEEBER, 2003).

A evolução tecnológica recente possibilitou a geração de equipamentos de baixo custo e, no caso do GNSS, proporcionou a popularização do posicionamento por satélites, sendo atualmente empregado nas mais diversas aplicações: desde o rastreamento de automóveis (sendo realizado pelo próprio dono), até a determinação de correntes marítimas, conforme demonstrado por Knight et al. (2020).

Neste sentido, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a performance de receptores GNSS, geodésicos e de baixo custo, instalados numa plataforma flutuante visando o monitoramento da variação do nível d'água numa área próxima ao trapiche de Antonina, Paraná. A Plataforma Flutuante foi desenvolvida por Viski (2017) com recursos provenientes do CNPq, início em 2013, por meio do projeto de pesquisa

“Desenvolvimento de Sistemas de Monitoramento de Massas Aplicadas na Prevenção de Desastres Naturais”. Contudo a plataforma sofreu avarias na sua estrutura original sendo necessário adaptar parte da estrutura a partir de materiais de fácil acesso e baixo custo, para que o projeto possa ser replicado de forma acessível em estudos futuros.

1.1 JUSTIFICATIVA

Com a realização de estudos de monitoramento de corpos d’água utilizando receptores GNSS, tanto de baixo custo quanto de alta precisão, abre-se a possibilidade do acompanhamento, em tempo real, de diversos fenômenos hidrológicos. Além disso, destaca-se que, com a evolução tecnológica, o custo para se coletar dados vem sendo reduzido ao longo do tempo, favorecendo diversas áreas do conhecimento e gerando novas linhas de pesquisa.

Junto ao uso de receptores GNSS de alta precisão (ou geodésicos), no caso de confirmada a hipótese da viabilidade de empregar receptores de baixo custo, torna-se também viável a materialização de redes de monitoramento contínuo para nível de corpos d’água massivos, sendo possível densificar a informação de nível do mar na costa, acompanhamento de desastres naturais como enchentes, entre outros, com custos mínimos e menos prejuízo por perdas materiais.

A literatura mostra ainda que o monitoramento de corpos d’água por GNSS em plataformas flutuantes vem sendo empregado em temáticas específicas, como por exemplo, o monitoramento de deformação de barragem e nível de reservatório (Xi et al., 2018). Neste âmbito, a avaliação de desempenho de diferentes receptores em ambiente hídrico se mostra como uma ferramenta que pode auxiliar e contribuir com informações acerca de comportamentos de dinâmica, como direção de escoamento ou variação de nível d’água, junto à confiabilidade dos dados obtidos.

Dessa forma, vê-se uma possibilidade de analisar dados gerados tanto a partir de receptores geodésicos quanto de baixo custo, ambos embarcados em uma plataforma flutuante (neste trabalho tratada como Plataforma Euleriana de Nível 01 - PEN-01), visando detectar a variação de nível d’água. A partir destes dados, também é visado gerar um acervo de dados, podendo contribuir com outras pesquisas para a comunidade científica nacional e internacional.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho de final de curso teve por objetivo geral avaliar a performance de receptores GNSS no monitoramento do nível d'água instalados numa plataforma flutuante lançada nas imediações do trapiche de Antonina no Paraná.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Avaliar a qualidade dos dados coletados pelos receptores geodésicos e de navegação instalados no trapiche de Antonina e na plataforma flutuante;
- b) Avaliar a qualidade das soluções dos processamentos e das altitudes elipsoidais dos equipamentos instalados no trapiche, determinando a altitude elipsoidal a ser tomada como referência para comparação com as demais;
- c) Avaliar a qualidade das soluções dos processamentos dos receptores geodésicos instalados na plataforma;
- d) Determinar as variações das altitudes elipsoidais com os equipamentos instalados na plataforma flutuante;
- e) Comparar as amplitudes de variação das altitudes elipsoidais com a variação da maré predita obtida na Ponta do Félix;
- f) Comparar as amplitudes de variação das altitudes elipsoidais em determinado intervalo de tempo com a variação fornecida pela leitura da trena na estrutura de PVC instalada nas imediações da plataforma flutuante;
- g) Avaliar o desempenho dos receptores empregados.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PRINCÍPIOS DO POSICIONAMENTO POR SATÉLITES

Inicialmente com intuito de uso militar, o posicionamento por satélites teve seu começo na década de 1970 com o sistema NAVSTAR/GPS, comumente chamado de GPS, desenvolvido pelo exército dos Estados Unidos. Paralelamente surgiu o sistema russo GLONASS, desenvolvido pela extinta União Soviética (ROßBACH, 2000). Na década de 90 o termo GNSS foi definido, ele engloba os diversos sistemas de posicionamento por satélites considerando também os Sistemas Aumentados por Satélites ou por Estações Terrestres.

Desta forma, o GNSS pode abranger os sistemas globais GPS e GLONASS, assim como o Galileo (europeu), e o COMPASS-BeiDou (chinês) Dentre os sistemas regionais, cita-se o indiano IRNSS (*Indian Regional Navigation Satellite System*), e o japonês QZSS (*Quasi-Zenith Satellite System*), entre outros. Estes sistemas são compostos por três segmentos: Espacial, de Controle, e de Usuário.

Para Krueger (2006), a grandeza fundamental é a medida do tempo decorrido entre a emissão do sinal pela antena de, no mínimo, quatro satélites, e as respectivas recepções destes sinais na antena do receptor. Estes sinais são enviados continuamente pelos satélites sendo ondas eletromagnéticas do tipo micro-ondas da banda L, que corresponde à faixa de frequência de 1,2 a 1,6 GHz propagados com a velocidade da luz no vácuo (TEUNISSEN E MONTENBRUCK, 2017). A partir do conhecimento do tempo de propagação do sinal, pode-se determinar a distância geométrica entre as antenas do satélite e do receptor. Devido à influência de erros ligados à propagação do sinal e principalmente do não sincronismo entre os relógios dos satélites e dos receptores, é chamada de pseudodistância (KRUEGER, 1996).

Através da relação entre a distância receptor-satélite (pseudodistância) e a posição do satélite (órbitas) para um dado instante de tempo, pode-se determinar a posição tridimensional da antena receptora GNSS. Para isto, o modelo matemático conterá quatro incógnitas. A resolução do sistema requer, portanto, medidas de pseudodistâncias de no mínimo quatro satélites (SEEBER, 2003).

Além das pseudodistâncias, que são calculadas com base nas observáveis ditas códigos, outras observáveis podem ser empregadas para o posicionamento, como a fase da onda portadora, a qual fornece melhores resultados em comparação

ao código, por ser uma observável mais precisa. A fase da onda corresponde à diferença entre as fases do sinal emitido pelo satélite e a réplica do sinal gerado no receptor, ambas geradas no mesmo instante de tempo, enquanto que o código utiliza a diferença de tempo entre a emissão dos sinais (VISKI, 2012).

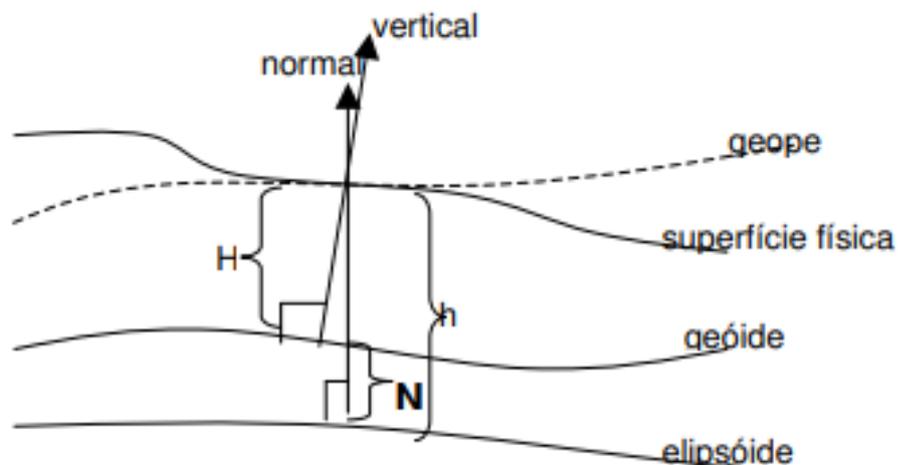
A escolha da observável e do método de posicionamento são de grande importância para o alcance de coordenadas precisas do(s) ponto(s) de interesse de um levantamento. Para Euriques, Krueger e Viski (2017), existem diferentes métodos de posicionamento, e a escolha destes métodos deve ser definida com base nas necessidades específicas de cada levantamento a ser realizado, bem como da disponibilidade de equipamentos e sinais. Os métodos GNSS podem ser classificados em: Método de Posicionamento Absoluto ou Por Ponto; Método de Posicionamento por Ponto Preciso; Método de Posicionamento Relativo; Método de Posicionamento GNSS em Tempo Real (DGNSS). Independentemente do método, são obtidas coordenadas geodésicas: latitude (φ); longitude (λ); e altitude elipsoidal (h). Estas coordenadas são atreladas a um sistema de referência geocêntrico tridimensional, que no caso do GPS é o WGS84, mas podem também ser indicadas em um sistema cartesiano tridimensional (X, Y, Z).

O método absoluto por ponto consiste no posicionamento a partir da utilização de apenas um receptor, sendo suas coordenadas geradas a partir do código C/A e atreladas diretamente ao Geocentro (SEEBER, 2003). Já o método relativo consiste no cálculo das coordenadas de interesse a partir de uma base de referência com coordenadas conhecidas, sendo que o método relativo estático visa a obtenção de uma coordenada por ocupação, enquanto o relativo cinemático fornece uma trajetória ao longo da ocupação (IBGE, 2008).

A altitude elipsoidal de um ponto, obtida com o GNSS, consiste na distância entre o ponto considerado na superfície física da Terra, ou próximo a ela, e a superfície do Elipsóides de referência, medida ao longo da normal ao elipsoide que passa por este ponto (FIGURA 1). A altitude elipsoidal tem caráter puramente geométrico, o que limita sua usabilidade por não ter caráter físico, não respeitando obrigatoriamente, a direção do fluxo d'água, por exemplo.

Alternativamente, quando se faz necessário o uso de altitudes com significado físico, essas medidas estariam atreladas, por exemplo, ao campo gravitacional da Terra. Dentre as quais, a altitude ortométrica, que é referenciada ao geóide e medida ao longo da vertical que passa pelo ponto observado (BLITZKOW et al., 2002).

FIGURA 1 - ALTITUDE ELIPSOIDAL (h) E ALTURA GEOIDAL (N)



FONTE: Adaptado de Blizkow (2003).

A depender da aplicação almejada do posicionamento, e conseqüentemente das precisões esperadas das medidas, o conjunto de erros que afeta as medidas deve ser eliminado ou minimizado, mesmo que parcialmente, por meio de métodos, técnicas e procedimentos específicos. Dentre estes erros pode-se destacar, por exemplo:

a) Erros Relativísticos:

- Erro de sincronismo entre o relógio do receptor e o tempo GPS;
- Erro de sincronismo entre o relógio do satélite e o tempo GPS;

b) Erros Atmosféricos:

- Perturbação do sinal ao se propagar na Troposfera;
- Perturbação do sinal ao se propagar na Ionosfera;

c) Multicaminho:

- Efeito de Multicaminho

d) Outros:

- Imprecisões na órbita dos satélites;
- Variações no centro de fase da antena.
- Obstruções Físicas
- DOP (PDOP, VPOP, HDOP, GDOP, TDOP).

De acordo com Seeber (2003), o índice DOP (em português, Diluição da Precisão) está diretamente atrelado à configuração geométrica dos satélites, que, por sua vez, está diretamente ligada à qualidade do posicionamento. As diferentes designações de DOP são HDOP (para o posicionamento horizontal), VDOP (para o posicionamento vertical), PDOP (para o posicionamento tridimensional), TDOP (para determinação do tempo), GDOP (combinação do efeito de TDOP e PDOP).

2.2 MONITORAMENTO DE MASSAS D'ÁGUA VIA GNSS

Para Euriques, Kruegere Viski (2017), as massas d'água sofrem influência de inúmeros fenômenos naturais ou antrópicos, sendo que através do monitoramento contínuo do nível de água de rios, dos mares, de reservatórios e demais massas d'água, têm-se uma ferramenta valiosa para auxílio na tomada de decisão do poder público e das populações afetadas pelos efeitos de variações nestas massas.

De acordo com Marcelino (2008), os desastres naturais podem ser conceituados, de forma simplificada, como o resultado do impacto de um fenômeno natural extremo ou intenso sobre um sistema social, causando sérios danos e prejuízos que excedem a capacidade dos afetados em conviver com o impacto. Conforme a Política Nacional de Defesa Civil, além de desastres naturais, tem-se ainda desastres provenientes de ações humanas e os mistos, sendo o elemento diferencial entre estes, o grau de intervenção humana associado ao desastre (CASTRO, 1998).

Conforme exposto por Euriques, Krueger e Viski (2017), baseando-se nos dados do Informe GEOBrasil (2002) verificou-se que os desastres naturais mais comuns no Brasil durante a década de 1991 a 2001 foram: estiagem 55,1%; secas 19,9%; enxurradas ou inundações bruscas 20,6%; enchentes ou inundações graduais 1,7%, vendavais ou tempestades 0,9%; vendavais muito intensos ou ciclones extratropicais 0,3%; incêndios florestais 0,4%; além de granizo, alagamentos e outros 1,0%. Através destes dados, pode-se observar que, em sua grande maioria, estes

desastres envolvem, mesmo que de forma indireta, massas de água, e com isto, fica destacada a importância cada vez maior do desenvolvimento de sistemas de monitoramento contínuo das mesmas a fim de se consolidar métodos de prevenção e minimização dos danos e prejuízos ambientais, sociais e econômicos causados por desastres naturais.

Considerando o monitoramento de mares e oceanos, destaca-se que eles são de suma importância para o desenvolvimento de estudos de inúmeros fenômenos, dentre os quais o sistema climático global (KNIGHT et al., 2020). Nesta tarefa pode-se citar as missões GFO, TOPEX/Poseidon, Jason 1 e 2, ENVISAT e a mais recente Sentinel 6 (*Sentinel-6 Michael Freilich*). Os dados coletados podem ser calibrados a partir de informações obtidas com os marégrafos.

Os marégrafos, de acordo com Dalazoana (2001), registram simplificada e simplesmente “a variação do nível instantâneo local com respeito ao zero do marégrafo”. A partir da observação de séries históricas destes dados determina-se o nível médio do mar local. Contudo, não há distribuição homogênea e número suficiente de marégrafos ao longo do planeta. Além disso, estes instrumentos estão sujeitos a efeitos geodinâmicos e gravimétricos que devem ser considerados. Com isto, as determinações por eles aferidas são válidas apenas para o respectivo local e período de monitoramento, não garantindo um apoio rigoroso à altimetria por satélite (DALAZOANA, 2001). Neste contexto, o GNSS permite quantificar possíveis movimentações na crosta a partir da análise de séries temporais, e com isto refinar as determinações maregráficas.

O GNSS e as missões satelitais são partes de um grande conjunto de ferramentas que a Geodésia dispõe para monitoramento de fenômenos relacionados à dinâmica da Terra. Neste sentido, definiu-se em 2003 o *Global Geodetic Observing System* (GGOS) ou Sistema Geodésico Global de Observação pela Associação Internacional de Geodésia - IAG (*International Association of Geodesy*) (PLAG e PEARLMAN, 2009). Além disso, os desenvolvimentos que vêm sendo realizados nesta temática, como: a ampliação e modernização dos sistemas; estudos voltados à minimização de erros atuantes; e o desenvolvimento de equipamentos de baixo custo, tem possibilitado o refinamento das soluções obtidas pela Geodésia por GNSS, tornando o seu emprego viável nas mais diversas aplicações.

Entretanto, estas informações não são obtidas diretamente, mas são derivadas da posição da antena receptora. Através da avaliação das variações da

componente altimétrica (altitude elipsoidal) pode-se estimar as variações do nível, uma vez que a plataforma flutuante está sujeita aos movimentos dos corpos d'água. Por sua vez, a determinação de trajetórias, relacionadas a direção de escoamento, se dá pela avaliação das componentes planimétricas obtidas pelo receptor GNSS.

Diversas pesquisas vêm sendo efetuadas nesta temática, principalmente com a popularização de receptores de baixo custo, o desenvolvimento da telemetria e de sistemas com fontes de energia, como pelo uso de painéis fotovoltaicos, vêm sendo possível desenvolver sistemas cada vez mais autônomos.

Destaca-se ainda que outros receptores, além do GNSS, podem ser embarcados nas plataformas de maneira complementar, seja para aquisição de medidas qualitativas e quantitativas independentes, seja para aquisição de dados adicionais obtidos com sensores que podem contribuir com o refinamento das soluções obtidas com GNSS, como sistemas inerciais (acelerômetros e giroscópios). Sistemas esses que são fundamentais para serem associados ao GNSS em massas de água agitadas. De acordo com Cheng (2005), essas plataformas podem caracterizar sistemas multi-técnicas envolvendo diferentes sensores, como para a determinação de parâmetros qualitativos (ex. salinidade e temperatura); e quantitativos (variações de nível, e mesmo de batimetria, onde efetua-se a determinação da profundidade para uma dada posição).

Outras pesquisas têm sido desenvolvidas no que tange a busca pelo refinamento dos resultados de posicionamento de plataformas via GNSS, por exemplo, para a minimização do efeito do multicaminho. Este fenômeno se apresenta como uma das maiores fontes de erro que afeta o posicionamento GNSS por degradar as observáveis e de ser de difícil modelagem. Estes erros ocorrem em função da recepção de sinais que chegam às antenas receptoras via caminhos indiretos, ou seja, após o sinal emitido pelos satélites refletir nas superfícies de entorno da antena. Como a superfície d'água potencializa a reflexão destes sinais, estes ambientes proporcionam uma maior recepção de sinais indiretos, prejudicando o posicionamento acurado. Conforme Seeber (2003), a redução do impacto do efeito do multicaminho pode ser efetuada mediante procedimentos de campo, como rastreios longos (superiores a 24 horas, em função do comportamento cíclico do multicaminho), o emprego de antenas com abas metálicas, e ainda o uso de materiais capazes de absorver os sinais refletidos.

2.2.1 Plataformas Eulerianas e Lagrangeanas

De acordo com Euriques, Krueger e Viski (2017), as plataformas flutuantes são compostas por Plataforma Flutuantes e aletas, nas quais podem ser acoplados receptores GNSS visando a obtenção de informações acerca de corpos d'água a partir do posicionamento da antena GNSS acoplada nesta plataforma.

Desta forma, as plataformas podem ser classificadas em Eulerianas, quando utilizadas para indicar apenas a variação do nível de massa d'água; e Lagrangeanas, se forem também necessárias as trajetórias (KRUEGER et al., 2012). As plataformas Lagrangeanas, também ditas cinemáticas, são empregadas na determinação de trajetórias, permanecendo sobre a influência do fluxo superficial do corpo d'água. A partir das trajetórias definidas pelas plataformas Lagrangeanas pode-se estimar informações derivadas como, por exemplo, o campo de velocidades superficial.

Por sua vez, as plataformas Eulerianas são empregadas principalmente para a detecção de variações do nível d'água permanecendo em um ponto fixo ou região geográfica conhecida, portanto, permanecem ancoradas durante o rastreo. Neste estudo foi utilizada uma plataforma Euleriana, visto que era visada a variação do nível d'água.

2.2.2 Emprego de Receptores GNSS de Baixo Custo

Os receptores GNSS de baixo custo vêm sendo utilizados nos mais diversos campos do conhecimento, como a biologia, geografia, geodésia e agricultura. Isso é devido a fatores como o fácil manuseio e transporte, crescente melhora na acurácia posicional e a própria acessibilidade econômica.

De maneira geral, os receptores de baixo custo podem existir em módulos-receptores/antenas (os quais necessitam ser conectados à um dispositivo externo, como um notebook, para que seja possível sua utilização), uma vez que correspondem apenas à uma placa ou antena receptora e seu respectivo circuito (FIGURA 2a). Existem ainda receptores topográficos com antenas (externas ou internas) e que funcionam a partir de uma bateria interna, geralmente compostos por uma tela que mostra uma interface para o usuário, portas de entrada e saída de dados e disponibilizam algumas outras funções além da obtenção das coordenadas, como cadastro técnico. (FIGURA 2b).

FIGURA 2 - EQUIPAMENTOS GNSS DE BAIXO CUSTO

	
<p>a) MÓDULO RECEPTOR GNSS U-Blox M8T FONTE: U-Blox</p>	<p>b) MODELO GARMIN GEKO 201v FONTE: Garmin Ltd.</p>

FONTE: Adaptado dos sites dos fabricantes.

A precisão nominal desses receptores pode variar comumente para < 20m (95%) para posicionamento horizontal e < 30m (90%) para posicionamento vertical, conforme modelo e fabricante. Destaca-se que estes valores se referem ao posicionamento absoluto ou por ponto, obtendo-se coordenadas instantâneas. Coordenadas mais precisas podem ser obtidas com o pós-processamento dos dados brutos coletados, como pelo método denominado de posicionamento por ponto preciso (PPP) ou pelo método relativo.

Beran et al (2007) avaliaram o desempenho do receptor Garmin 12XL quanto à acurácia de coordenadas tridimensionais se comparadas com aquelas obtidas a partir de dados coletados com receptores de alta precisão, tanto para testes estáticos quanto para cinemáticos. Para os testes estáticos, através do método PPP, foi obtida acurácia dentro de alguns decímetros (dm) para as coordenadas tridimensionais. Posteriormente, para o teste cinemático, através do método PPK, foram observadas diferenças de aproximadamente 1 metro durante alguns momentos do levantamento e poucos centímetros em outros, mantendo assim a média decimétrica de diferença entre as coordenadas dos receptores geodésicos e os de baixo custo.

Hamza et al (2020) avaliaram a utilização de dois exemplares de um equipamento de baixo custo composto por um módulo U-Blox ZED-F9P e uma antena U-Blox ANN-MB-00, a partir da investigação da qualidade de um levantamento

estático e de um levantamento cinemático. Também foi avaliado o potencial de detecção de deslocamentos, provocado pelos autores durante a coleta de dados. Com processamento no software RTKLIB, os resultados mostraram que, para trajetórias e pontos com coordenadas conhecidas, os receptores de baixo custo alcançaram diferenças na ordem decimétrica quanto aos valores reais obtidos com um receptor geodésico Leica GS15.

Com o intuito de desenvolver uma Plataforma Flutuante de baixo custo para mensurar correntes de retorno na costa oceânica, Arun Kumar et al (2019) utilizaram tubos de PVC como principal componente da plataforma e um módulo receptor Emlid Reach M conectado a uma antena da marca Tallysman (ambos de baixo custo). Através do método de posicionamento relativo cinemático, Os autores indicaram erros de ordem centimétrica no posicionamento horizontal, abaixo de 1,5 m para posicionamento vertical e erros na casa do cm/s para as velocidades das ondas de retorno, concluindo que a Plataforma Flutuante desenvolvida foi viável para o estudo desejado.

Utilizando um módulo receptor Garmin GPS 36 conectado à uma antena Garmin GA 27 C, Johnson et al (2003) empregaram uma Plataforma Flutuante Lagrangeana para mensurações de corrente superficiais e subaquáticas em regiões próximas à costa, lagos e estuários. Foram realizadas algumas alterações na estrutura da plataforma e avaliada a influência destas alterações na precisão das coordenadas obtidas.

Knight et al (2020) desenvolveram um sistema utilizando uma Plataforma Flutuante cinemática e um receptor de baixo custo visando criar uma alternativa para mensurar o nível do mar em diferentes pontos próximos à costa, empregaram um módulo da fabricante U-Blox, modelo M8T (FIGURA 2a) e um kit conector U-Blox EVK-M8T. Este módulo utiliza frequência L1, sendo compatível com constelações GPS, GLONASS, BeiDou e Galileo. Com processamento relativo a uma estação GNSS em terra, o receptor apresentou diferenças entre 1 e 8 cm para variação de nível do mar, quando em comparação aos valores mensurados por um marégrafo.

2.3 ESTUDOS RELACIONADOS

Os estudos envolvendo o uso de plataformas com GNSS embarcado são amplos, principalmente no sentido de contemplar diversas áreas do conhecimento.

A pesquisa de Morzón-Aguello *et al.*, (2007), voltada a estudos ecológicos, contemplou o uso de Plataforma Flutuantes cinemáticas monitoradas via GNSS. Nesta pesquisa foi investigado o transporte genético de tartarugas da espécie *Chelonia mydas*, através do oceano Atlântico e isto foi efetuado pela combinação de dados genéticos desta espécie e dados de plataformas lagrangeanas disponibilizados pelo NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*).

Lin et al (2017) desenvolveram uma Plataforma Flutuante para monitoramento da superfície da água em estuários e áreas costeiras, sendo equipada com um receptor RTK GNSS de alta precisão, equipamentos de transmissão de dados e um data logger. Os autores utilizaram o método VBS-RTK para derivar os dados de elevação e fluxo da superfície da água, validando o estudo através de comparações entre os dados obtidos pela Plataforma Flutuante, dados de estações maregráficas e dados de um receptor ATC (*accelerometer-tilt-compass*).

Cheng (2005) apresentou e discutiu importantes aplicações do uso do sistema GPS para monitoramento de variações de nível de água: monitoramento de dois sítios de calibração de satélites de altimetria e da altura de estágio do Rio Branco (afluente do Rio Amazonas). Os estudos utilizaram não apenas Plataforma Flutuantes e embarcações equipadas com um receptor GPS, mas também incluíram observações de satélites de altimetria, réguas limnimétricas e réguas de pressão para comparação com os dados obtidos pelas Plataforma Flutuantes e embarcações

Com intuito de estudar o comportamento de fluído em dispersão de superfície em águas rasas, Suara et al (2014) avaliaram a qualidade posicional que uma Plataforma Flutuante Lagrangeana pode oferecer em ambientes como estuários rasos, utilizando método de posicionamento RTK e um receptor de geodésico de alta precisão. Os autores concluíram que é possível utilizar esse tipo de plataforma e método em um vasto número de aplicações, tanto pela precisão alcançada, uma vez que os erros foram corrigidos de forma que a precisão posicional apresentou valores na ordem do decímetro, mas também pela flexibilidade de uso, alto recobrimento espacial e pela possibilidade de baixo custo de construção e mantimento.

Na pesquisa de André et al. (2013), utilizaram-se três plataformas Eulerianas para monitorar o nível do mar próximo à costa, sendo que cada uma das Plataforma Flutuantes foi desenvolvida visando diferentes produtos finais, como a validação de altimetria por satélite e a medida da altitude elipsoidal. A validação da acurácia foi efetuada mediante o uso de medidores de marés convencionais. Algumas vantagens

foram destacadas com o uso de Plataforma Flutuantes, como a independência de medidas influenciadas por movimentos geodinâmicos, o que ocorre como os medidores convencionais.

Jessen, Janssen e MacMahan (2012) realizaram observações de ondas na superfície do oceano com diferentes tipos de Plataforma Flutuantes e receptores, com Plataforma Flutuantes Datawell Directional Waverider e Mini Directional Waverider equipadas com um sensor de movimento GPS Doppler (algumas com giroscópio e acelerômetro) e uma Plataforma Flutuante experimental equipada com diferentes receptores de baixo custo, visando avaliar a capacidade dessas Plataforma Flutuantes e dos receptores para monitorar a frequência e amplitude das ondas, e assim seus espectros de direção. Os resultados obtidos mostraram um bom acordo entre si, principalmente nos testes realizados em que uma antena externa foi conectada aos receptores de baixo custo, evidenciando a possibilidade da co-utilização de diferentes Plataforma Flutuantes para este tipo de estudo.

Destaca-se no contexto nacional as pesquisas no LAGEH/UFPR. Estas incluem o desenvolvimento, por exemplo, de Plataformas Eulerianas, Plataformas Lagrangeanas, bem como investigações científicas nesta temática, dentre as quais cita-se: Viski, Krueger e Bleninger (2012), que empregaram plataformas Lagrangeanas para a determinação de campos de velocidade e direção de corrente na superfície do reservatório Vossoroca; Viski (2012) avaliou a minimização do efeito de multicaminho em plataformas mediante o desenvolvimento e uso de um material atenuador de sinais refletidos; Viski (2017) aprimorou um sistema de Plataforma Flutuante utilizando diferentes receptores GNSS; Euriques, Krueger e Viski (2017) efetuaram a avaliação do posicionamento RTK (*Real Time Kinematics*) frente às variações na componente altimétrica visando seu emprego em plataformas Eulerianas.

O PNPf - Programa Nacional de Plataformas Flutuantes, gerenciado pela Marinha do Brasil e composto por cerca de 8 instituições brasileiras, é um exemplo de sistema de monitoramento onde são coletados dados oceanográficos e meteorológicos em regiões costeiras que, segundo o Plano Nacional de Trabalho do programa (2013-2017), beneficia diversos setores como Defesa Civil, Agricultura e Validação de Dados de Satélite, entre outros.

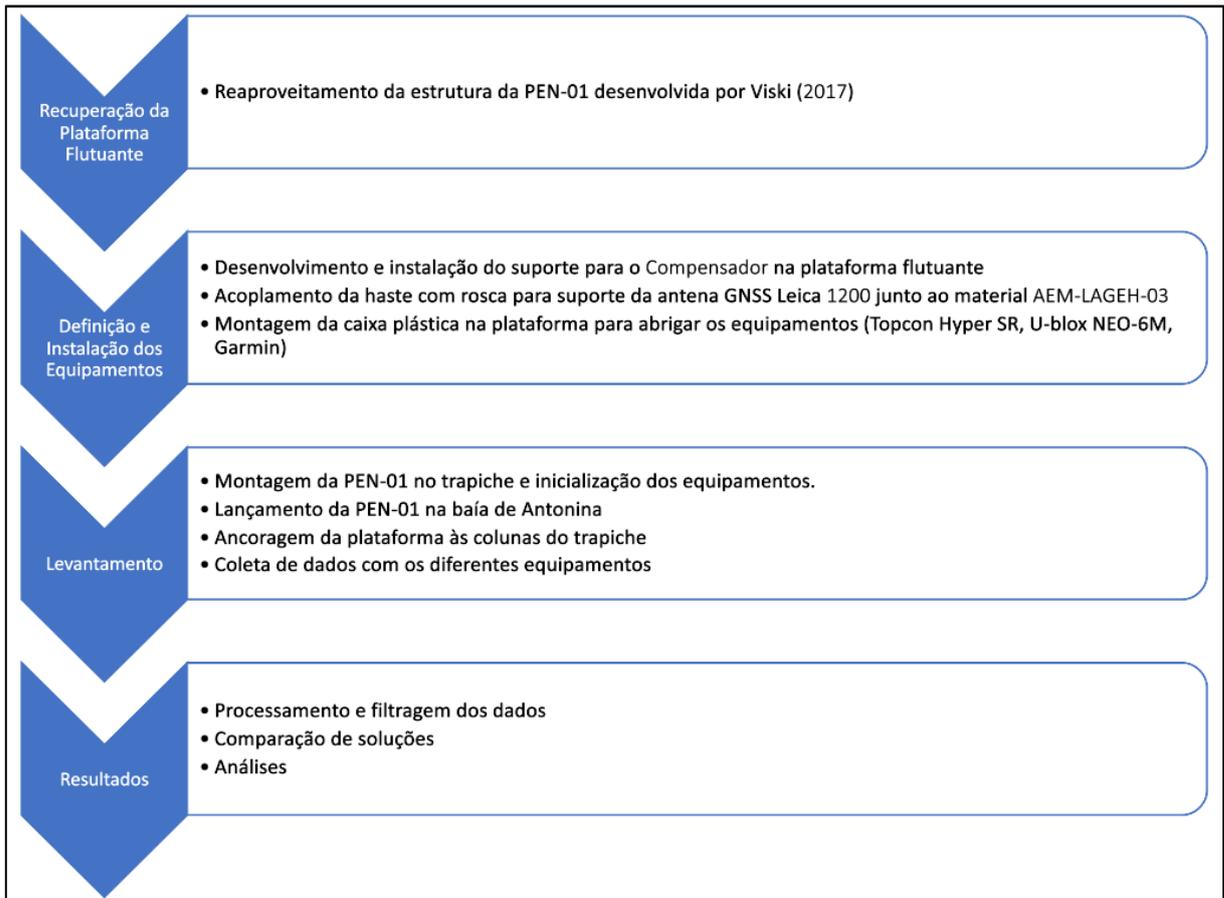
Além do PNPf, podem ser citados outros duas ações de participação nacional no monitoramento do mar profundo: o programa PIRATA (Prediction and Research

Moored Array in the Tropical Atlantic), destinado ao monitoramento de variáveis dos processos de interação oceano-atmosfera no oceano Atlântico Tropical, e a construção de duas Plataformas Flutuantes para uso em alto mar, uma conduzida pela Universidade de São Paulo (USP) e outra pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), voltadas ao desenvolvimento de a tecnologia necessária para estudos e operações oceanográficas em águas profundas

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento metodológico desta pesquisa pode ser dividido em quatro etapas distintas: Recuperação da Plataforma Flutuante, Definição e Instalação dos Equipamentos, Levantamento e Resultados, conforme indicado na FIGURA 3

FIGURA 3 - FLUXOGRAMA METODOLÓGICO DAS ETAPAS A SEREM DESENVOLVIDAS



FONTE: Os autores (2022).

Na sequência são descritos detalhes sobre a área de estudo, explicações das decisões tomadas quanto à montagem da Plataforma Flutuante e a relação de equipamentos utilizados. São indicados ainda a questão da coleta e análises dos dados, tratamento e processamentos a serem efetuados. A discussão dos resultados e comparativos finais se dará a partir da seção 4.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O levantamento foi realizado no Trapiche Municipal de Antonina - PR, no Centro Histórico da cidade, na data de 23 de Julho de 2022. A seguir, pode-se observar o croqui de localização da área de estudo (FIGURA 4):

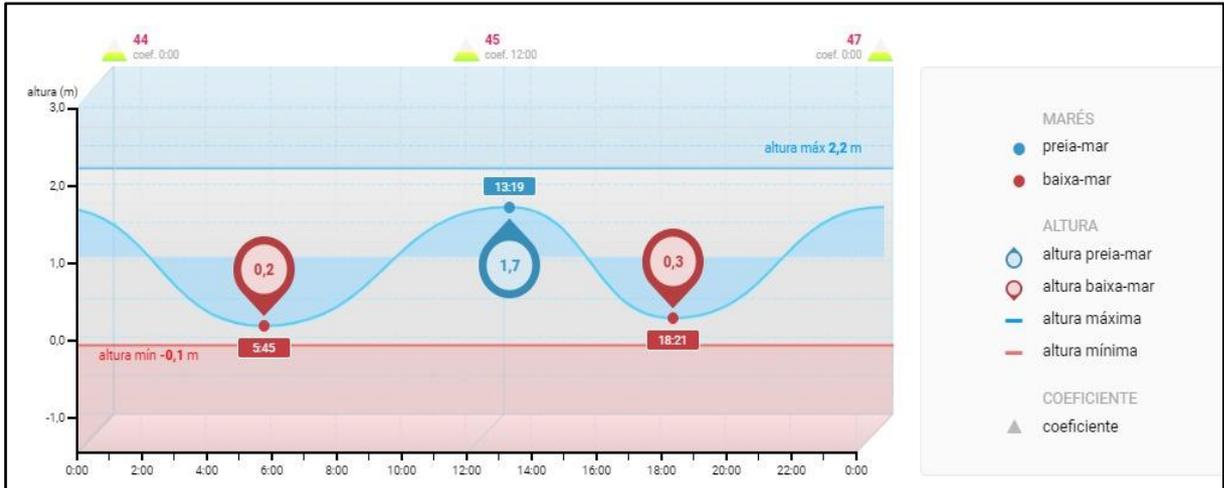
FIGURA 4 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO



FONTE: Os autores (2022)

A variação da maré prevista no dia e local da coleta de dados, apresentava uma amplitude de aproximadamente 1,4 metros entre 13h19min e 18h21min (TÁBUA DE MARÉS, 2022), conforme pode ser visualizado na FIGURA 5

FIGURA 5 - MARÉ PREVISTA PARA ANTONINA EM 23/07/2022

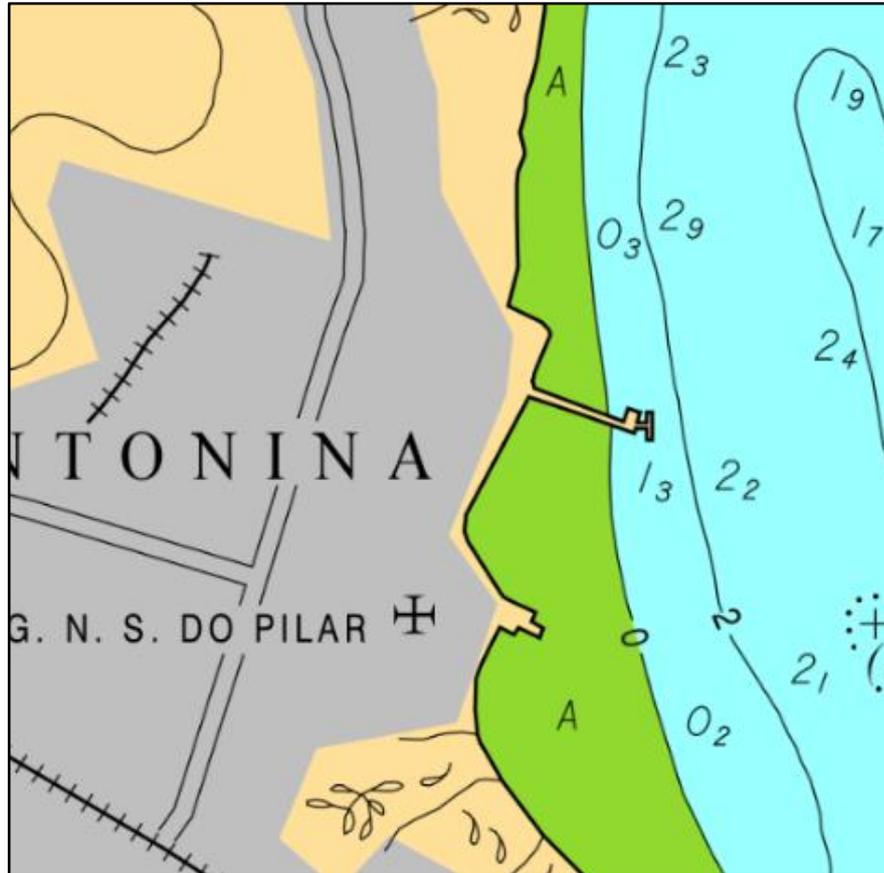


FONTE: Tábua de Marés (2022)

As previsões das marés indicadas na FIGURA 5 são calculadas a partir de uma série temporal de dados registrados pelos marégrafos nos anos anteriores, ajustada pelo método de mínimos quadrados utilizando o algoritmo de Foreman. A amplitude da maré é um dos parâmetros que será utilizado visando comparativo com as Altitudes Elipsoidais obtidas a partir dos dados GNSS.

Analisando-se a Carta Náutica 1822 - Portos de Paranaguá e Antonina verificou-se que nas imediações do trapiche, onde foi lançada a plataforma (seção 3.2), a profundidade reduzida ao nível da baixa-mar média de sizígia foi de 1,3m. Destaca-se que o trapiche está entre as isobatimétricas de 0m e de 2m. Na FIGURA 6 tem-se um recorte desta Carta Náutica indicando a posição do trapiche e as informações de profundidades nas imediações dele, bem como, as linhas isobatimétricas.

FIGURA 6 - RECORTE DA CARTA NÁUTICA 1822



FONTE: Adaptado da Carta Náutica 1822 – Cartas Raster, MARINHA DO BRASIL (2022)

3.2 PLATAFORMA EULERIANA DE NÍVEL (PEN-01)

Para este projeto foi utilizada a Plataforma Euleriana de Nível (PEN-01), construída por Viski (2017) para o projeto de pesquisa do CNPq citado anteriormente. A plataforma (FIGURA 7), entretanto, encontrava-se parcialmente avariada e precisou ser adaptada para os propósitos deste projeto.

FIGURA 7 - PLATAFORMA EULERIANA DE NÍVEL (PEN-01)



FONTE: Os autores (2022)

Esta plataforma possui duas estruturas principais para suportar os equipamentos, compostas por barras laterais e transversais. Nas barras transversais prateadas foi fixado um adaptador impresso em 3D com a finalidade de aproximar à verticalidade o eixo de uma das antenas GNSS (seção 3.3) a ser utilizada no levantamento.

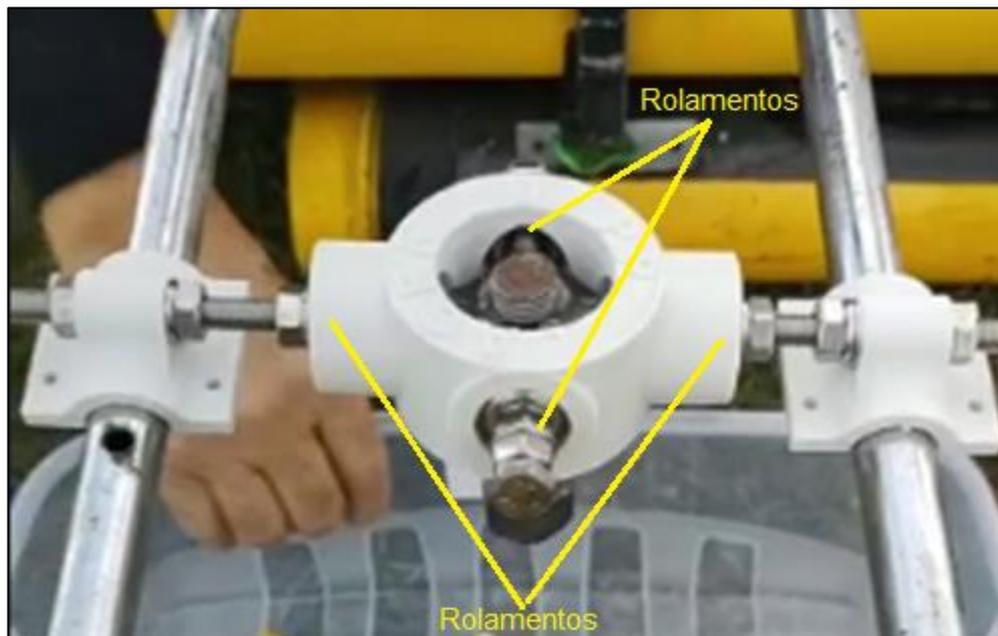
O projeto para impressão deste adaptador pode ser visualizado na FIGURA 8. Ele permite a liberdade de rotação ao longo de seus eixos, através de um sistema de rolamentos. Na FIGURA 9 percebe-se este adaptador devidamente instalado na plataforma, estando fixado as barras transversais.

FIGURA 8 - PROJETO DO ADAPTADOR CONFECCIONADO



FONTE: Soares (2022)

FIGURA 9 - ADAPTADOR INSTALADO NA PLATAFORMA



FONTE: Os autores (2022)

Junto a um contrapeso acoplado a um eixo sulcado, o dispositivo é capaz de compensar os movimentos longitudinais e transversais da plataforma enquanto mantém a proximidade à vertical, minimizando a influência das oscilações na superfície da água. A FIGURA 10 demonstra os eixos desenhados sobre o dispositivo:

FIGURA 10 - PLATAFORMA COM O ADAPTADOR E OS EIXOS



FONTE: Os autores (2022)

Nota-se que mesmo com uma inclinação aplicada à plataforma, o eixo sulcado mantém-se aproximado à vertical devido ao sistema de rolamentos e contrapeso, aproximando uma das antenas GNSS à condição de verticalidade ao longo de todo o levantamento.

Para abrigar os demais receptores GNSS foi necessário instalar uma caixa, optando-se por uma caixa plástica, visando evitar quaisquer interferências que pudessem levar a perda de sinais GNSS e proteger os equipamentos do ambiente marinho. Nela foram acomodados receptores de baixo custo e um receptor/antena geodésica (seção 3.3), bem como, o receptor da antena GNSS instalada no dispositivo. Com o objetivo de evitar o deslocamento dos equipamentos no interior da caixa, ao longo do levantamento, foi confeccionada uma base de isopor posicionada no interior desta caixa (FIGURA 11).

FIGURA 11 - CAIXA PLÁSTICA FIXADA NAS BARRAS TRANSVERSAIS COM A BASE DE ISOPOR E OS EQUIPAMENTOS DEVIDAMENTE ACOMODADOS NO SEU INTERIOR.



FONTE: Os autores (2022)

3.3 EQUIPAMENTOS

Na plataforma flutuante, foi acoplado ao dispositivo mecânico a antena GNSS do receptor Leica 1200 e sob ela o material isolante AEM-LAGEH-03, confeccionado por Viski (2012) com o objetivo de atenuar o efeito do multicaminho. Na caixa plástica foram instalados, sobre a base de isopor, o Módulo Arduino com o receptor de baixo custo U-Blox NEO-6M, o receptor de navegação Garmin GPS72 e o receptor Topcon Hyper SR, os quais não têm os efeitos de movimento e multicaminho atenuados. Nesta caixa ainda se encontrava o receptor Leica 1200 conectado a antena via cabo.

Na TABELA 1 é apresentado um resumo das especificações técnicas dos equipamentos empregados, nas estações base (trapiche) ou na Plataforma Flutuante:

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS DOS RECEPTORES UTILIZADOS

Características dos Receptores Empregados					
Receptores	Leica 1200	Topcon Hyper SR	Garmin GPS72	Navilock NL-602U	U-Blox NEO-6M
Antena	ATX1200 GG	Topcon Fence Antenna	Não	U-Blox 6 GPS & GALILEO SuperSense	Sim
Constelações	GPS/GLONASS	GPS/GLONASS	GPS	GPS/GALILEO	GPS

Ondas	L1/L2, C/A e Portadora	L1/L2, C/A e Portadora	12 Canais, C/A, Mensagem	50 Canais, L1, C/A	50 Canais, L1, C/A
Controladora	Sim	Não	Não	Conexão Via USB com Computador	Programável por Arduino
Acurácia Horizontal	10mm + 1ppm (cinemático)	10mm + 1ppm (cinemático)	< 15m (RMS 95%) até 3m (DGPS)	2,5m	2,5m
Acurácia Vertical	20mm + 1ppm (cinemático)	15mm + 1ppm (cinemático)	Não informado	Não Informado	Não Informado
Intervalo de Coleta de Dados	1Hz até 2Hz	Até 20Hz	Não informado	5Hz	1 a 5Hz
Instalado no Trapiche	x	x	x	x	x
Instalado na Plataforma Flutuante	x	x	x		x

FONTE: Os autores (2022)

Para utilizar o Receptor U-Blox NEO-6M foi necessária a concepção de um programa computacional que pudesse ler e registrar as coordenadas calculadas instantaneamente, dentre outras informações (número de satélites, HDOP, hora e data UTC), e posteriormente exportá-las em arquivo de planilha. As informações foram coletadas por meio de uma placa de desenvolvimento Arduino com interface por meio de bluetooth. Na TABELA 2 indica-se as características de funcionamento do módulo receptor:

TABELA 2 - COMPONENTES E SUAS FUNÇÕES DO MÓDULO ARDUINO NANO PARA COLETA DE DADOS DO RECEPTOR U-BLOX NEO-6M

Componente (Modelo)	Função
Emissor/Receptor Bluetooth (HC 06)	Interface
Cartão MicroSD	Armazenamento

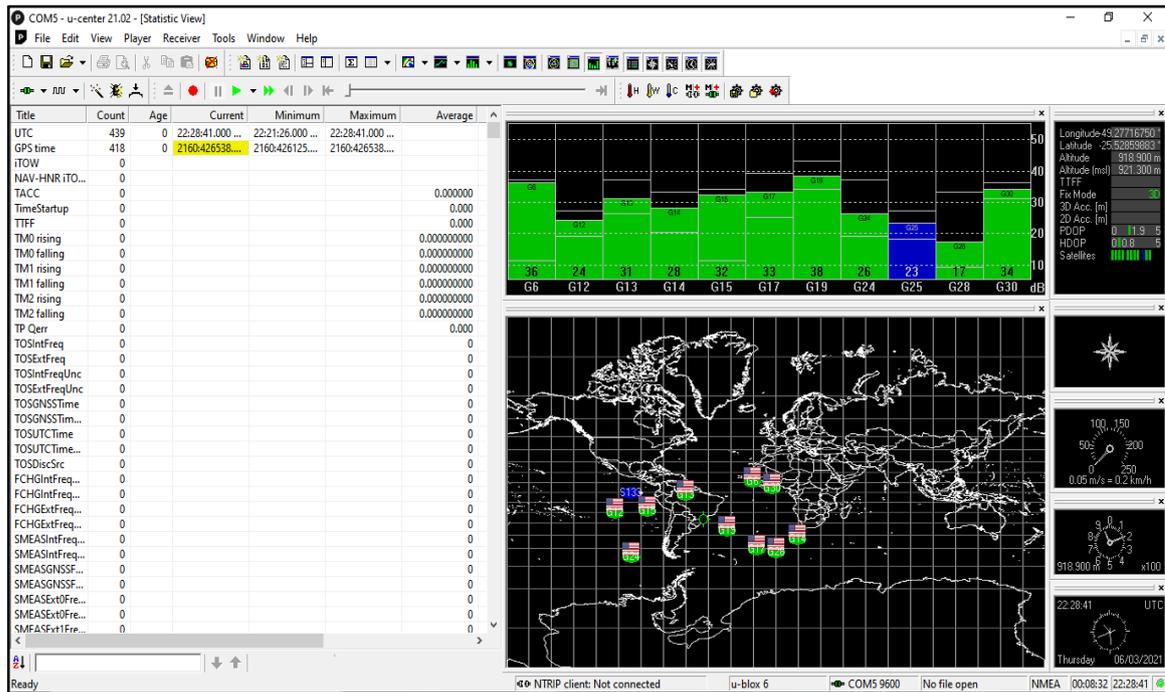
U-Blox NEO-6M	Receptor GPS
Baterias de íon-Lítio	Alimentação
Placa Solar	Manutenção da Carga da Bateria
Filamento para Impressora 3D	Estrutura

FONTE: Os autores (2022)

A utilização de um módulo Bluetooth garante a possibilidade de executar comandos em tempo real que podem ser transmitidos via smartphone, desde iniciar ou parar a gravação dos dados, inserir comentários no arquivo, entre outras funções programáveis. Os dados são armazenados em um cartão de memória tipo MicroSD, em um arquivo de texto. A alimentação dos componentes foi efetuada através de uma bateria de 9 volts recarregável, alimentada por uma placa solar. O arquivo de texto armazenado no cartão de memória do módulo Arduino registrou as coordenadas geodésicas (Latitude, Longitude e Altitude elipsoidal), além de informações como data e hora das medidas efetuadas e o HDOP.

O receptor Navilock NL-602U tem seu funcionamento e transmissão de dados a partir de uma conexão USB, sendo necessário um software com interface compatível com a saída de dados instalado na máquina do usuário. Neste estudo foi utilizado o software U-center v22.02 para extração de dados. Tal software permite a geração de gráficos como Skyplot e Obstruções. Entretanto, a análise e filtragem dos dados deve ser realizada externamente, através da exportação da caixa de mensagens via planilha CSV. A FIGURA 12 indica o ambiente de funcionamento do software:

FIGURA 12 - SOFTWARE U-CENTER V22.02 DURANTE COLETA DE DADOS



FONTE: Os autores (2022)

A janela de mensagens pode ser configurada para mostrar informações do levantamento como coordenadas, DOP, satélites, horários, entre outros a partir do arquivo .CSV.

3.4 LEVANTAMENTO

Nesta seção é descrito o levantamento efetuado na área de estudo (seção 3.1) no dia 23 de julho de 2022, os equipamentos instalados no Trápiche Municipal de Antonina e os que foram instalados na plataforma (seções 3.2 e 3.3), além do lançamento e fixação da PEN-01.

3.4.1 MONTAGEM NO TRAPICHE MUNICIPAL DE ANTONINA.

No trapiche, foram materializados dois pontos, sendo um por meio de uma chapa (Base 1) e o outro por um parafuso (Base 2). No primeiro, foi instalado sobre um tripé uma antena geodésica do receptor Leica 1200 e no outro foi instalado o receptor Topcon Hyper SR no tripé. Estas são consideradas as estações base para o posicionamento relativo da plataforma, as quais podem ser visualizadas na FIGURA 13. As alturas das antenas foram medidas e se obteve 1,458m para a antena Leica

1200 e de 1,52m para o Hyper SR, ambas em relação ao TGP (*Top of Ground Plane*). O intervalo de gravação de dados foi de 1s e uma máscara de elevação igual a 0 graus para a Base 1 e de 10 graus para a Base 2.

Os receptores de baixo custo, Garmin GPS72, Navilock NL-602U e U-Blox NEO-6M, foram instalados numa base fixada a outro tripé (FIGURA 13). A distância vertical desse tripé à parte superior da laje de concreto do Trapiche foi de 1,579m. Neste projeto não serão analisadas as informações armazenadas pelo Garmin GPS72 instalados no trapiche e na plataforma.

FIGURA 13 - EQUIPAMENTOS INSTALADOS SOBRE O TRAPICHE



FONTE: Os autores (2022)

Uma estrutura de PVC com uma trena de fibra colada a uma das laterais (FIGURA 14) foi amarrada à estrutura do Trapiche, visando o acompanhamento da variação do nível d'água ao longo deste levantamento. Para estas medições foi utilizado um nível analógico como luneta devidamente instalado sobre um tripé conforme se visualiza na FIGURA 13

FIGURA 14 - ESTRUTURA DE PVC COM TRENA INSTALADA NO TRAPICHE

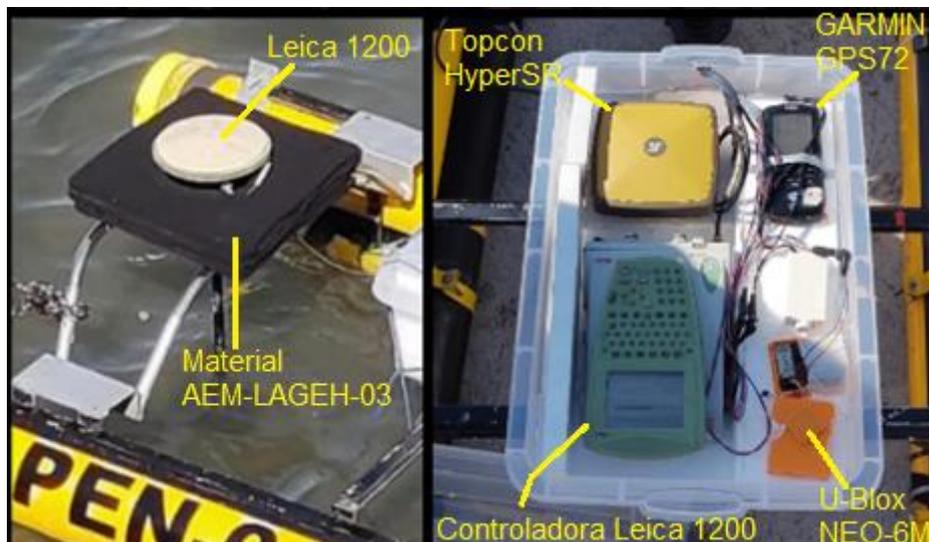


FONTE: Os autores (2022)

3.4.2 MONTAGEM NA PLATAFORMA EULERIANA

Conforme indicado na seção 3.2, na plataforma foram instalados o adaptador, o eixo, a antena do receptor Leica 1200 e a caixa contendo os equipamentos já anteriormente citados. As instalações e configurações dos equipamentos foram efetuadas com a plataforma posicionada no trapiche. Na FIGURA 15 observa-se o arranjo de todos os equipamentos em condições de funcionamento:

FIGURA 15 - RECEPTORES INSTALADOS NA PLATAFORMA

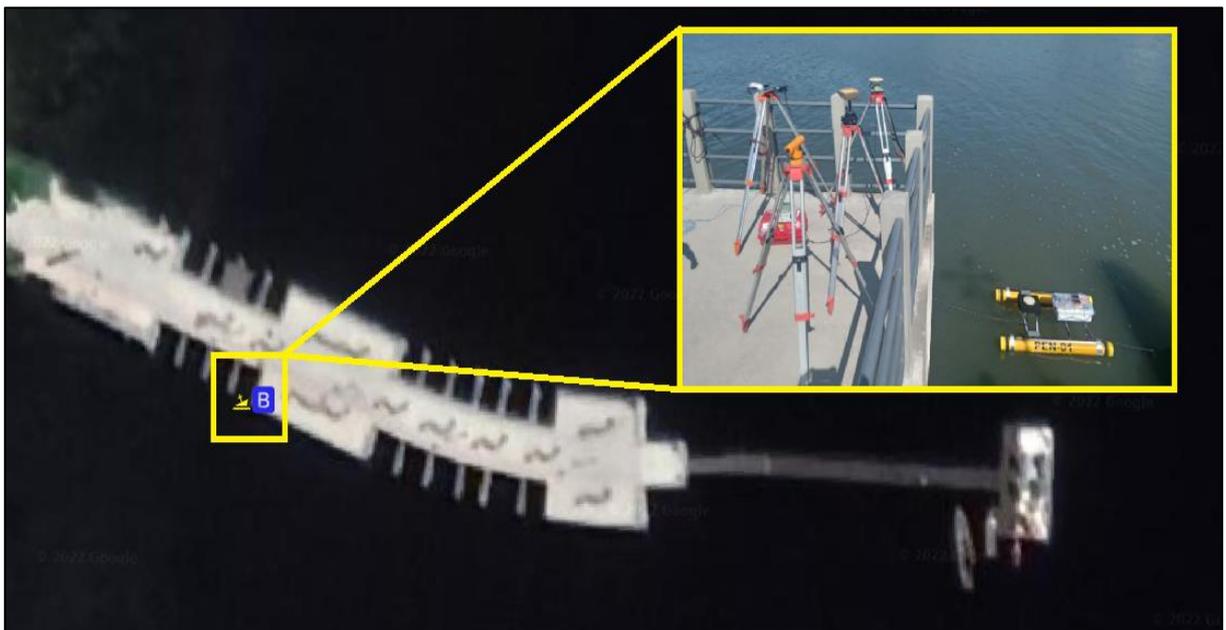


FONTE: Os autores (2022)

Posteriormente, foi escolhido o local para o lançamento da plataforma à água. Foi necessário levar em conta: a logística do local (havia muitos pescadores no trapiche e embarcações de passeio), o movimento da maré diurna do local e a segurança dos equipamentos empregados. Também foi imprescindível encontrar um local em que a plataforma pudesse ser amarrada ao trapiche buscando minimizar a sua deriva.

Na FIGURA 16 observa-se a localização final da plataforma em relação ao trapiche, bem como, a posição dos equipamentos instalados nas estações base, nível e receptores de baixo custo.

FIGURA 16 - DETALHE DO TRAPICHE DE ANTONINA COM A INDICAÇÃO DO PONTO DE LANÇAMENTO DA PLATAFORMA E DOS EQUIPAMENTOS



FONTE: Os autores (2022)

A fixação da plataforma flutuante não afetou o objetivo do estudo, pois mesmo amarrada à plataforma, ela ainda estava suscetível à variação do nível d'água. Em contrapartida, a proximidade à estrutura de concreto do trapiche causou perdas na recepção dos sinais de satélites.

3.5 ANÁLISE DA QUALIDADE DOS DADOS E ETAPAS REALIZADAS VISANDO A SOLUÇÃO FINAL

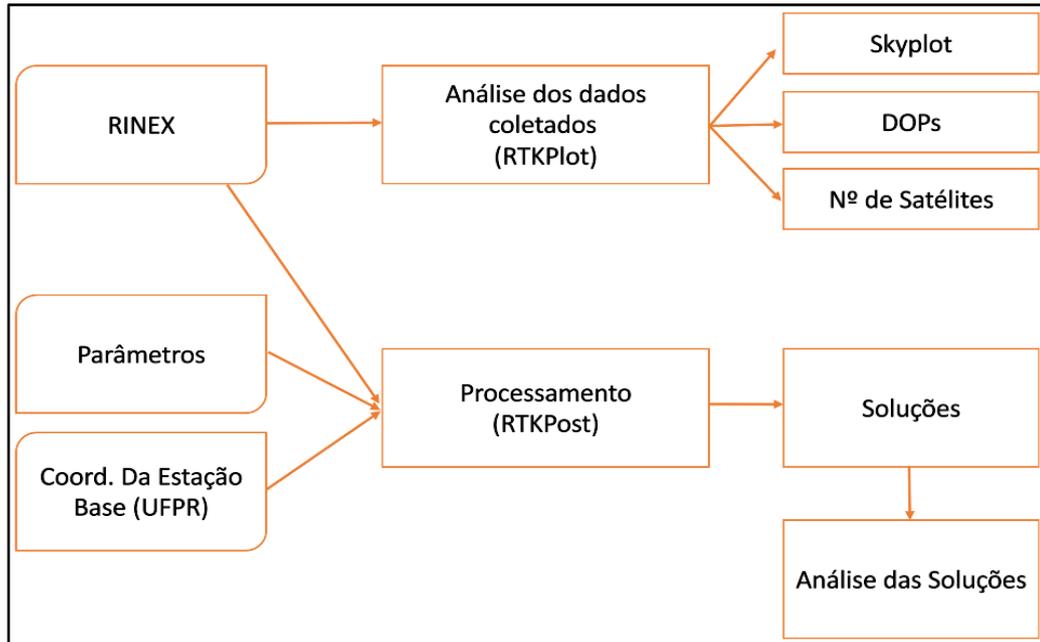
Conforme exposto na seção 3.4 e visualizado na FIGURA 16, no trapiche foram coletados os dados brutos por meio de 2 receptores geodésicos e as informações do posicionamento por ponto obtidas por meio de três receptores de navegação. Os arquivos com os dados dos receptores empregados tiveram seus horários padronizados para 15h30min até 19h30min (UTC), intervalo compreendido entre o início da gravação de dados com a plataforma no local correto, devidamente ancorada ao trapiche, até o momento da retirada da plataforma da água.

A determinação das coordenadas geodésicas das estações Base 1 e da Base 2 (seção 3.4.1) foram importantes para a determinação da altitude elipsoidal do trapiche, posteriormente, elas foram adotadas como valor de referência para os receptores de baixo custo nele instalados.

O pós-processamento dos dados foi realizado com o software livre RTKLIB v.2.4.2 (utilizando o módulo RTKPost) e, pelo módulo RTKPlot, a partir dos dados coletados no formato RINEX, foi possível visualizar a trajetória descrita pelos satélites no momento do levantamento (Skyplot), o número de satélites e valores de DOP ao longo do período de observação.

Na FIGURA 17 é apresentado um fluxograma metodológico indicando as etapas executadas para os receptores geodésicos (Leica 1200 e Hyper SR), culminando na análise das soluções após o processamento.

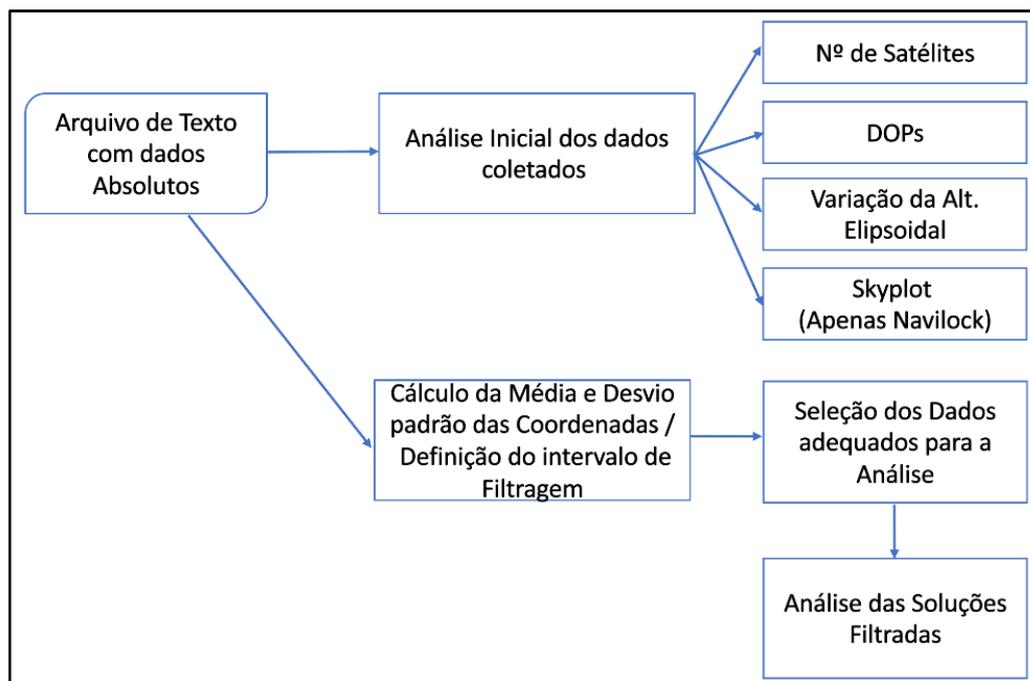
FIGURA 17 - FLUXOGRAMA METODOLÓGICO DA ANÁLISE E PROCESSAMENTO DOS DADOS OBTIDOS COM OS RECEPTORES GEODÉSICOS



FONTE: Os autores (2022)

Na FIGURA 18 é apresentado um fluxograma metodológico para os equipamentos de baixo custo, contendo desde a análise inicial e cálculos estatísticos realizados sobre o conjunto de observações, até a análise das soluções após o tratamento e filtragem dos dados.

FIGURA 18 - FLUXOGRAMA METODOLÓGICO DA ANÁLISE E FILTRAGEM DOS DADOS OBTIDOS COM OS RECEPTORES DE BAIXO CUSTO



FONTE: Os autores (2022)

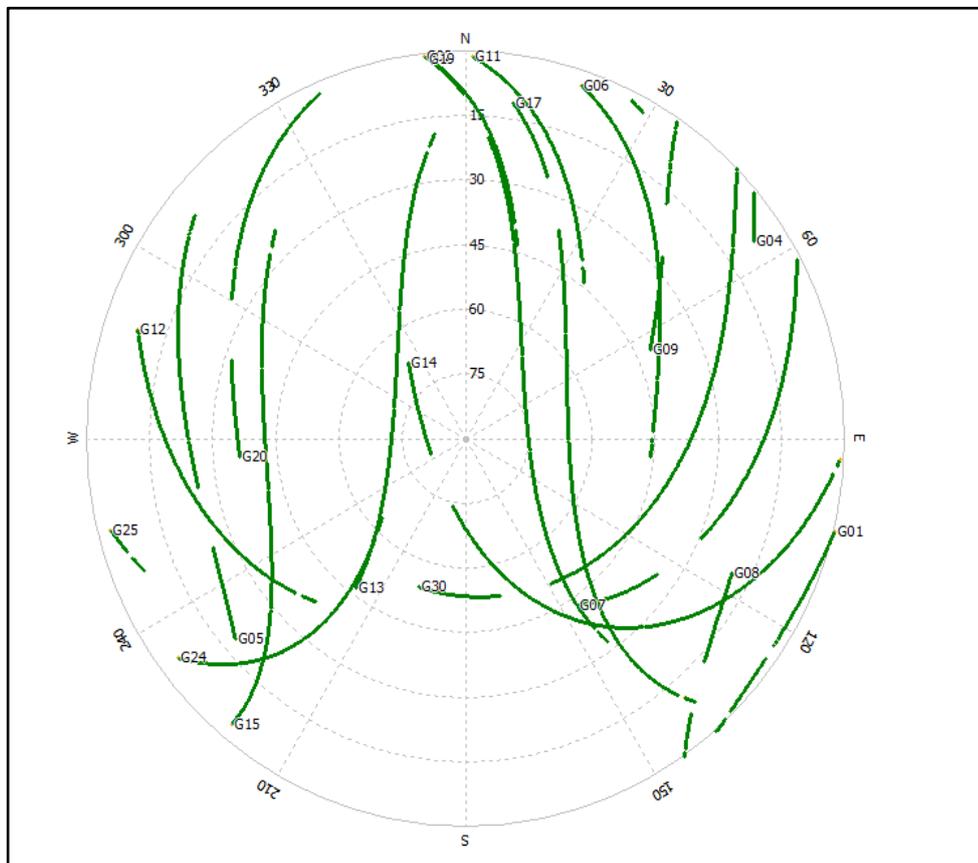
3.5.1 Estações Base 1 e Base 2 instaladas no Trapiche

O processamento dos dados obtidos com esses receptores foi realizado no modo relativo estático, tendo como estação base a estação denominada “CURITIBA-UFPR” pertencente à RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS), localizada nas dependências do Campus do Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná.

A distância entre a estação UFPR e os pontos instalados sobre o trapiche de Antonina foi de aproximadamente 50,66 Km. Os arquivos desta estação estão disponíveis para download, no formato HATANAKA, com intervalo de gravação de dados de 1 ou 15 segundos (IBGE, 2022).

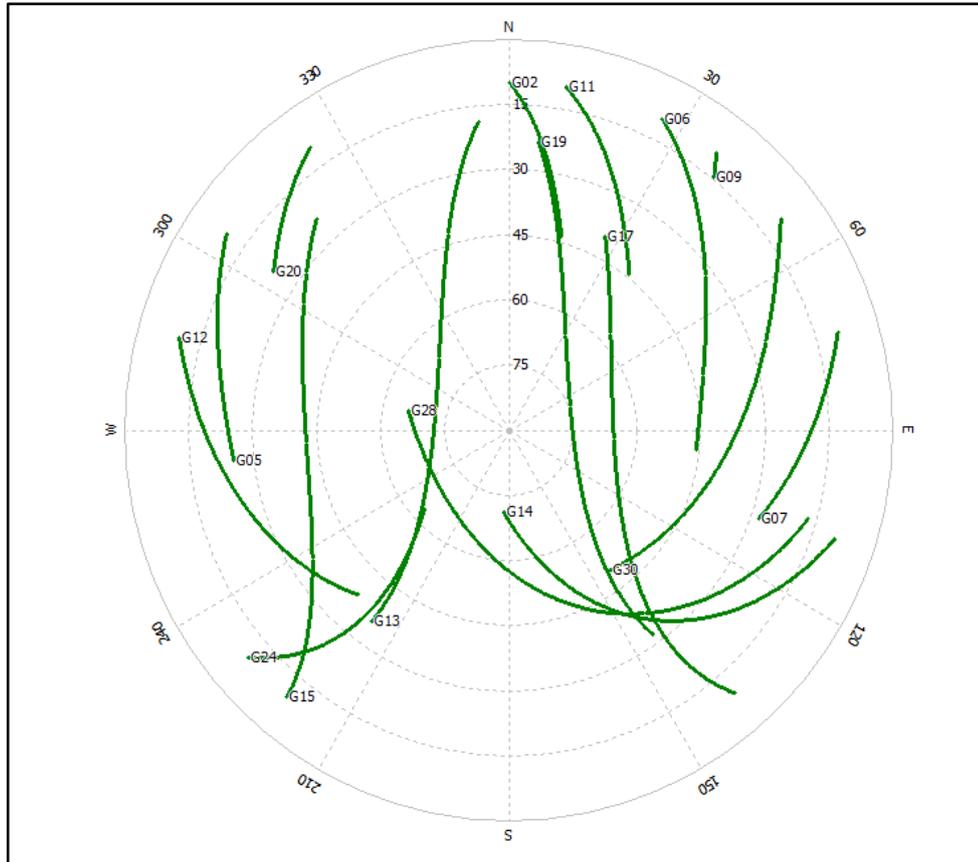
Nas figuras apresentadas na sequência podem ser visualizadas as trajetórias descritas pelos satélites durante todo o levantamento (Skyplot) para a Base 1 (FIGURA 19) e para a Base 2 (FIGURA 20)

FIGURA 19 - SKYPLOT PARA ESTAÇÃO BASE 1 (RECEPTOR LEICA 1200)



FONTE: Os autores (2022)

FIGURA 20 - SKYLOT PARA A ESTAÇÃO BASE 2 (RECEPTOR HYPER SR)

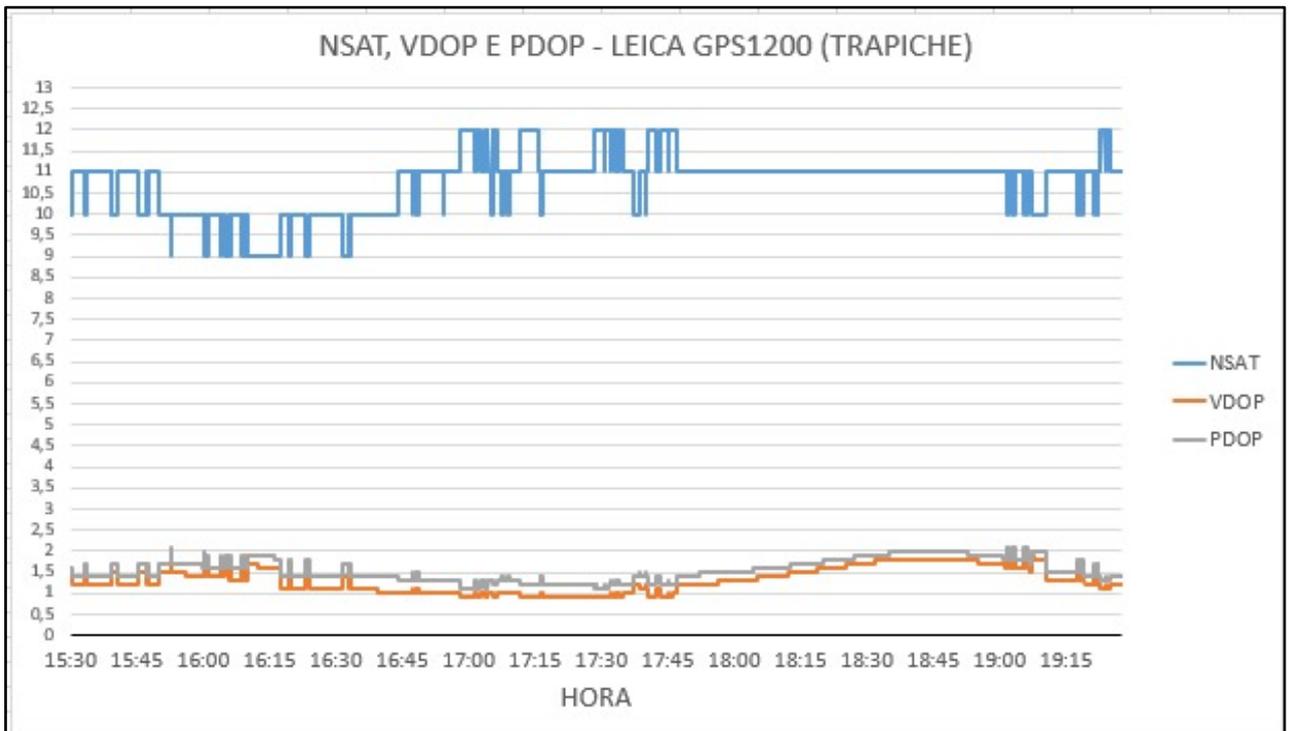


FONTE: Os autores (2022)

Analisando-se as figuras anteriores verifica-se que há uma ótima distribuição dos satélites no espaço em relação às estações ocupadas. Na estação Base 1 os dados brutos começaram a ser gravados logo que os satélites ficaram visíveis no plano do horizonte (máscara de elevação igual a 0 graus) e na Base 2 apenas após os satélites atingirem 10 graus. Na Base 1 verificam-se mais perdas de sinal de alguns satélites do que na Base 2.

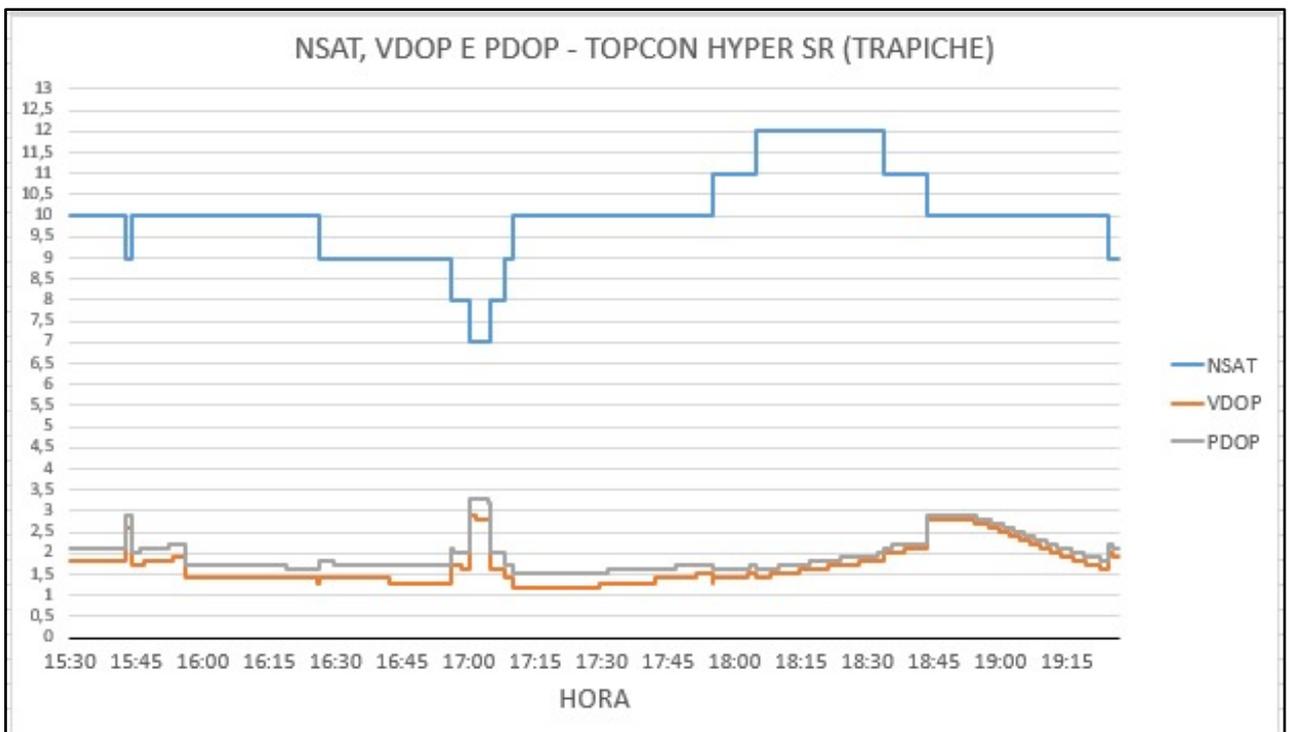
O número de satélites observados ao longo do levantamento e os valores de VDOP e PDOP podem ser visualizados para a estação Base 1 no GRÁFICO 1 e para a estação Base 2 na GRÁFICO 2

GRÁFICO 1 - NSAT, VDOP e PDOP PARA ESTAÇÃO BASE 1 (RECEPTOR LEICA 1200)



FONTE: Os autores (2022)

GRÁFICO 2 - NSAT, VDOP e PDOP PARA ESTAÇÃO BASE 2 (RECEPTOR HYPER SR)



FONTE: Os autores (2022)

Na estação Base 1 o número de satélites variou de 9 a 12 e os valores de VDOP e PDOP foram inferiores a 2, praticamente durante todo o levantamento. Contudo na estação Base 2 o número de satélites variou de 7 a 12. Fica evidente que quando houve uma redução no número de satélites houve uma elevação nos valores de VDOP e PDOP, por exemplo, por volta das 15h 45 min (UTC) e as 17h (UTC). Contudo estes valores são sempre menores que 3.5, considerados adequados segundo a norma e especificações para levantamentos GPS do IBGE (2006).

As configurações empregadas no processamento dos dados coletados pelas estações Base 1 e Base 2 estão indicadas na TABELA 3. Visando às correções de maré, ionosfera e troposfera, optou-se por empregar os modelos padrão indicados no RTKPOST.

TABELA 3 - CONFIGURAÇÕES DOS PROCESSAMENTOS - ESTAÇÕES BASE 1 E BASE 2

Software	RTKPOST
Estação Base	UFPR (RBMC)
Método de Posicionamento	Estático
Frequência	L1+L2
Filtro	Combinado
Máscara de Elevação	10°
Correção da Maré	Desligada
Correção da Ionosfera	Transmitidas
Correção da Troposfera	Saastamoinen
Correção órbita dos Satélites	Transmitidas
Resolução das Ambiguidades	Contínua
Sistemas	GPS

Fonte: Os autores (2022)

3.5.2 Estações com receptores de Baixo Custo instaladas no Trapiche

Verifica-se que o Navilock NL-602U apresentou altitude média e desvio padrão mais elevados do que aqueles obtidos com o receptor U-Blox NEO 6M. Logo, a dispersão das altitudes elipsoidais do Navilock NL-602U foi maior (TABELA 4).

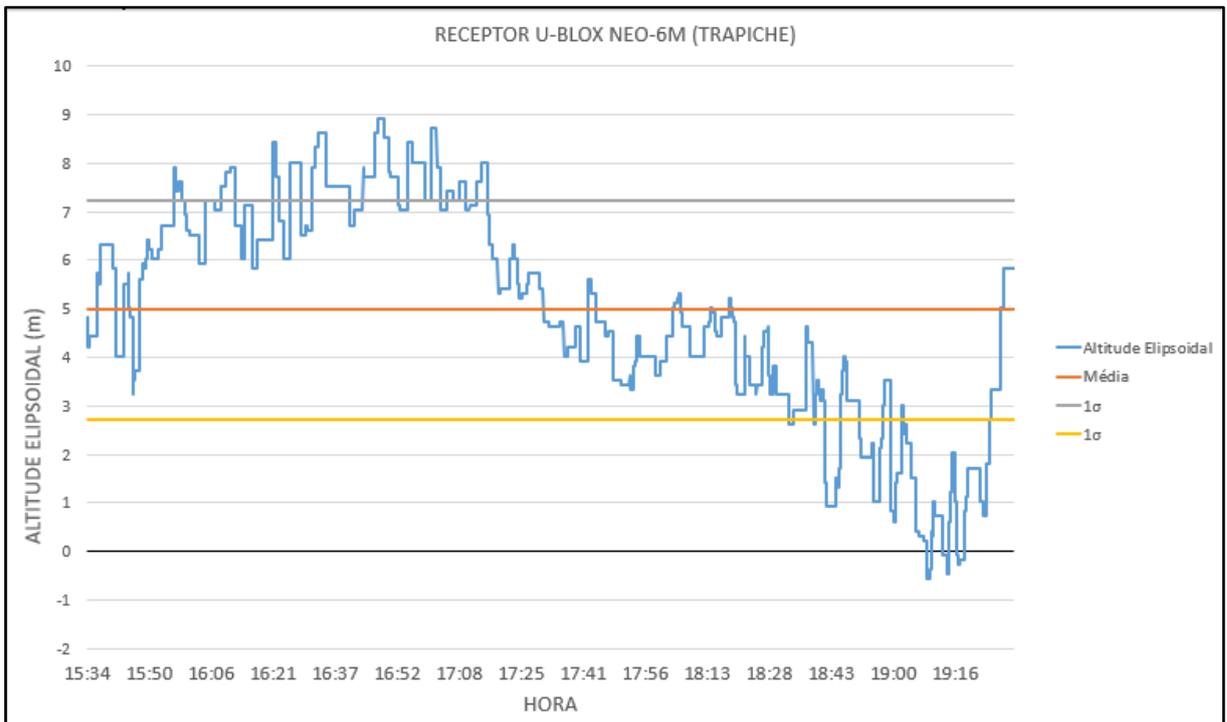
TABELA 4 - ANÁLISES ESTATÍSTICAS PARA AS ALTITUDES OBTIDAS PELOS RECEPTORES DE BAIXO CUSTO DO TRAPICHE

	U-Blox NEO-6M	Navilock NL-602U
Número de Observações	13.451	12.171
Alt. Elipsoidal Média	4,9727 m	5,2503 m
Desvio Padrão	2,2576 m	4,1689 m
h_{min}	-0,579 m	-3,679 m
h_{max}	8,921 m	15,621 m
Amplitude	9,5 m	19,3 m

FONTE: Os autores (2022)

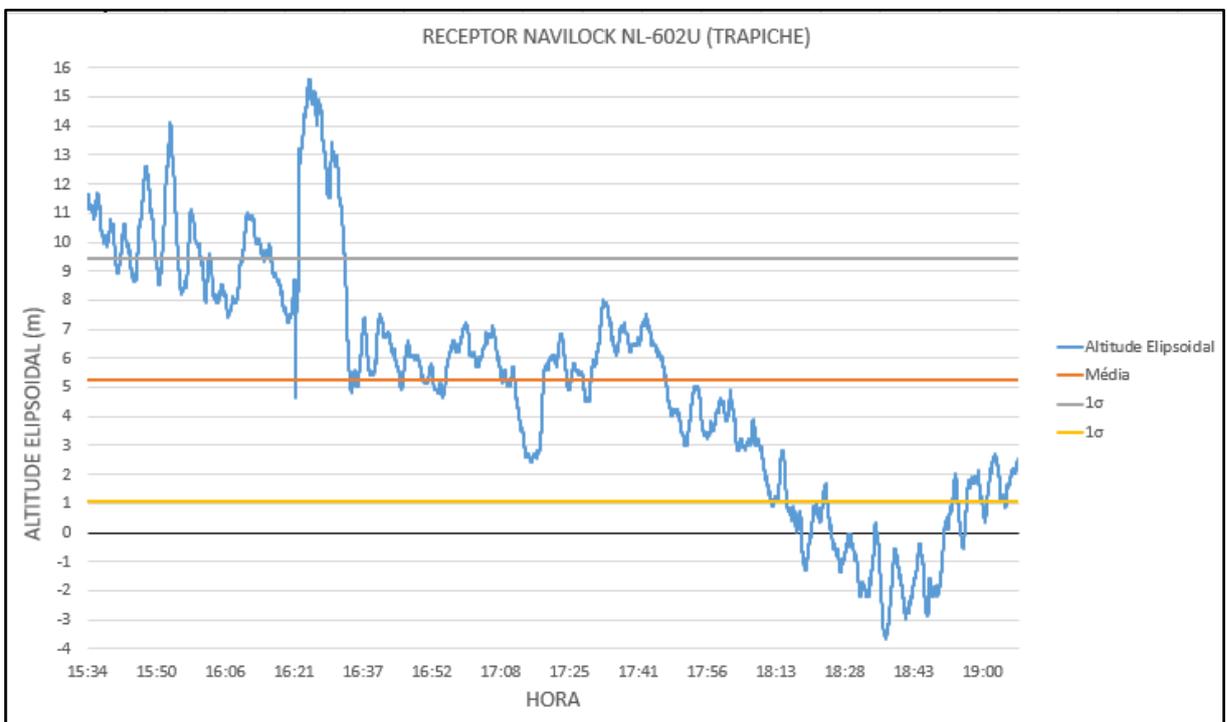
No GRÁFICO 3 pode-se verificar as altitudes instantâneas ao longo do tempo com o receptor U-Blox NEO 6M, bem como, o valor médio obtido e o intervalo de 1 desvio padrão. As mesmas informações para o receptor Navilock NL-602U são apresentadas no GRÁFICO 4.

GRÁFICO 3 - VARIAÇÃO DA ALTITUDE ELIPSOIDAL - RECEPTOR U-BLOX NEO-6M (TRAPICHE)



FONTE: Os autores (2022)

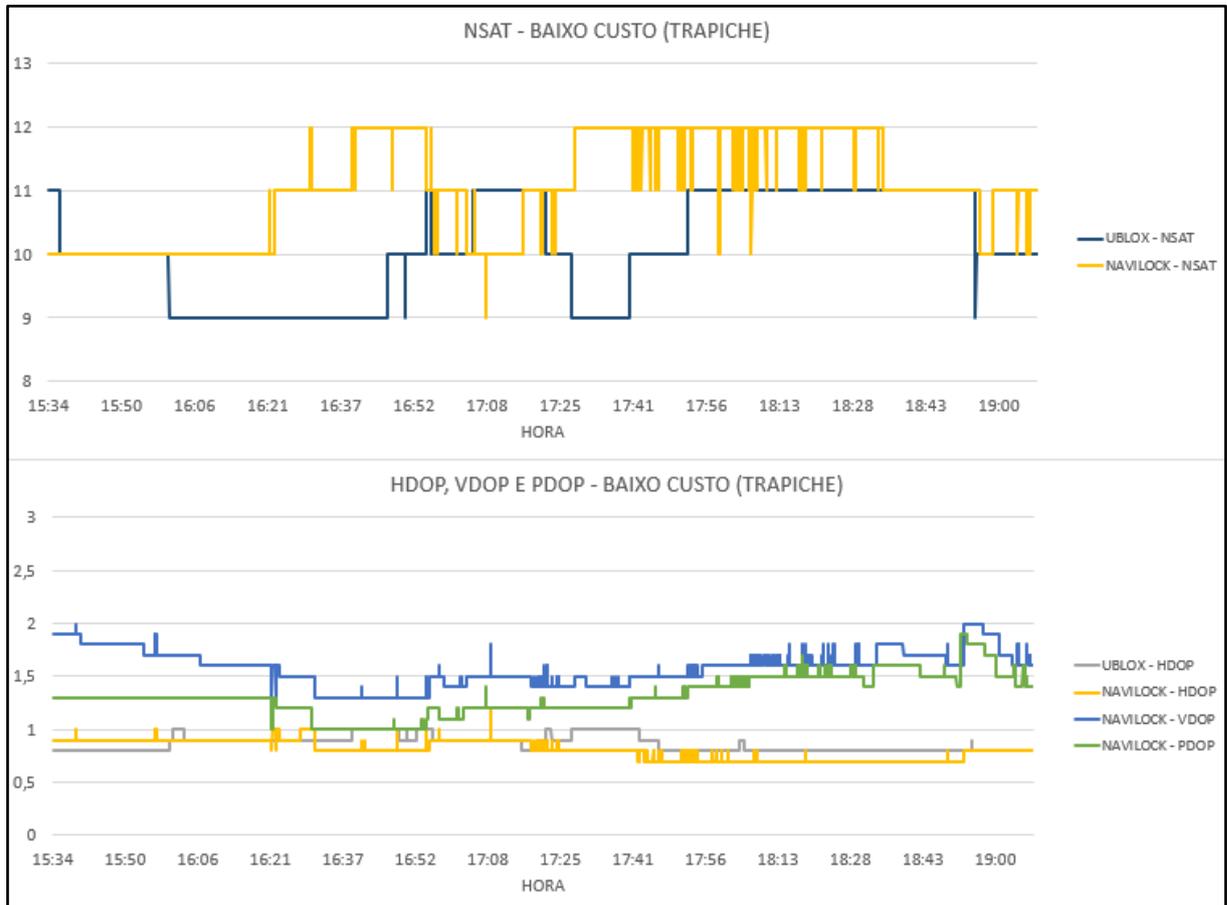
GRÁFICO 4 - VARIAÇÃO DA ALTITUDE ELIPSOIDAL - RECEPTOR NAVILOCK NL-602U (TRAPICHE)



FONTE: Os autores (2022)

A variação dos parâmetros HDOP, PDOP, VDOP e Número de Satélites, ao longo do tempo, para estes receptores podem ser observados no GRÁFICO 5.

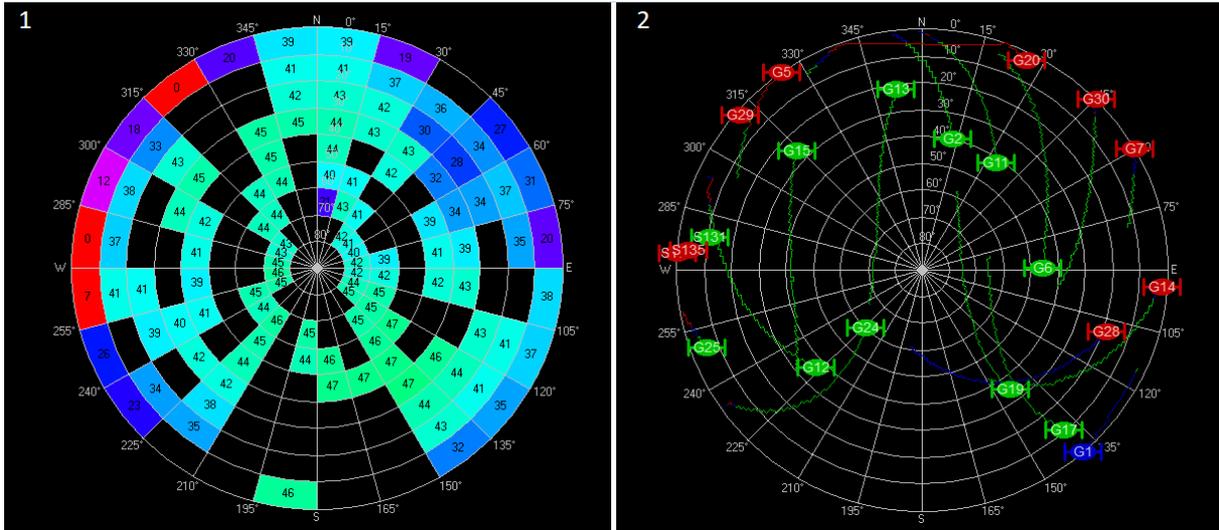
GRÁFICO 5 - ANÁLISE DE NSAT, HDOP, VDOP E PDOP - RECEPTORES DE BAIXO CUSTO (TRAPICHE)



FONTE: Os autores (2022)

Nota-se que para o U-Blox NEO 6M foram observados de 9 a 11 satélites, enquanto para o Navilock NL-602U de 9 a 12 satélites. Os valores de DOP foram inferiores a 2, sendo que o U-Blox NEO 6M forneceu apenas o HDOP. Na sequência, a FIGURA 21 mostra os Skyplots gerados pelas informações obtidas com o receptor Navilock NL-602U:

FIGURA 21 - SKYPLOTS PARA O RECEPTOR NAVILOCK NL-602U



FONTE: Os autores (2022)

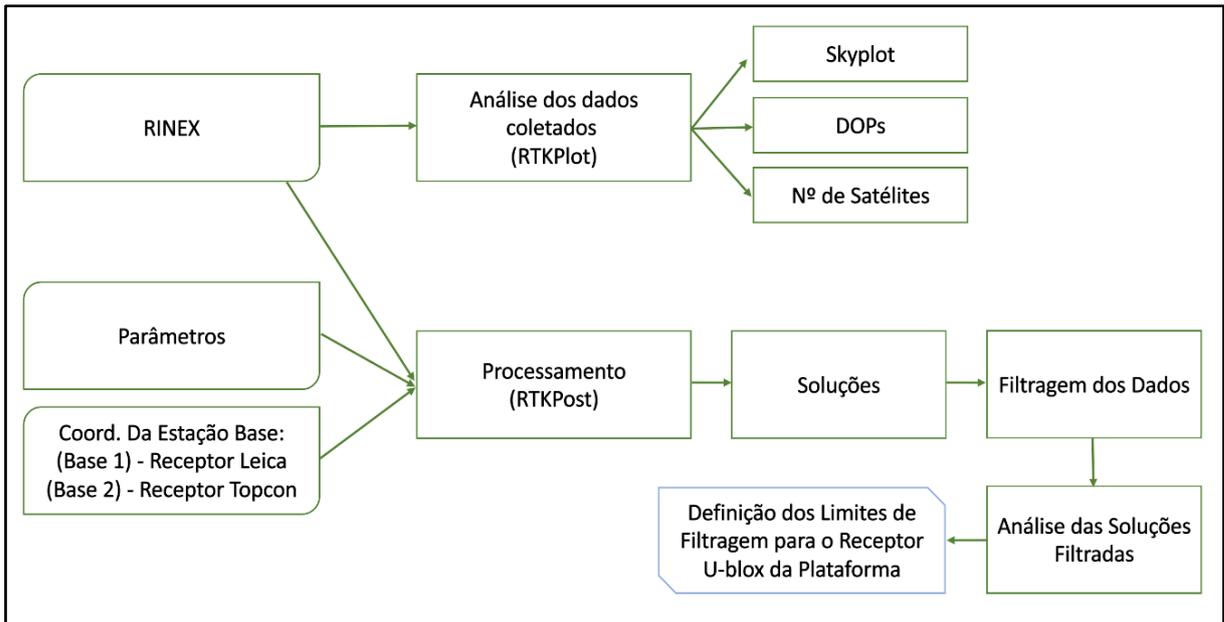
Observa-se que, conforme o gráfico dos azimutes/elevação (FIGURA 21.2) o Skyplot do receptor Navilock NL-602U é semelhante aos observados para os receptores geodésicos, além de boa parte do céu ter sido coberto, em algum momento, por um ou mais satélites, conforme é demonstrado em (FIGURA 21.1).

Mediante os valores obtidos para a média das altitudes elipsoidais e seu desvio padrão, foi decidido efetuar uma filtragem dos dados levando em conta estas grandezas (FIGURA 18). Após ser calculado o intervalo de um desvio padrão a partir da média dentre todas as observações do levantamento, as observações compostas por altitudes que apresentaram valores superiores a este foram removidas.

3.5.3 Estações Móveis instaladas na Plataforma Flutuante – Receptores Geodésicos

Na FIGURA 22 estão indicadas as etapas que foram desenvolvidas no caso dos receptores geodésicos (Leica 1200 e Hyper SR) instalados na plataforma. Destaca-se que o interesse final é obter as altitudes elipsoidais ao longo do levantamento visando à determinação da variação do nível d'água durante a realização destas observações.

FIGURA 22 - FLUXOGRAMA METODOLÓGICO DA ANÁLISE, PROCESSAMENTO E FILTRAGEM DOS DADOS OBTIDOS COM OS RECEPTORES GEODÉSICOS NA PLATAFORMA FLUTUANTE

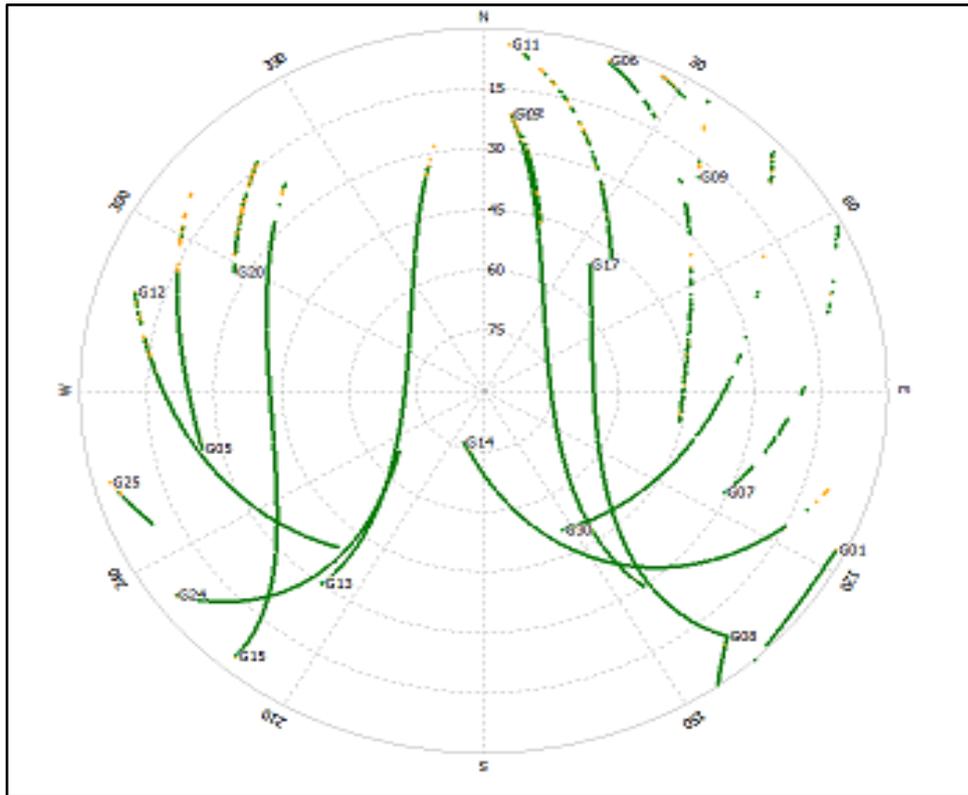


FONTE: Os autores (2022)

Seguindo o que foi efetuado para as estações implantadas no trapiche, são apresentadas, na sequência, as figuras com os Skyplots gerados pelo módulo do RTKPlot, programa RTKLIB, a partir dos dados coletados com o receptor Leica 1200 (FIGURA 23) e com o receptor Hyper SR (FIGURA 24)

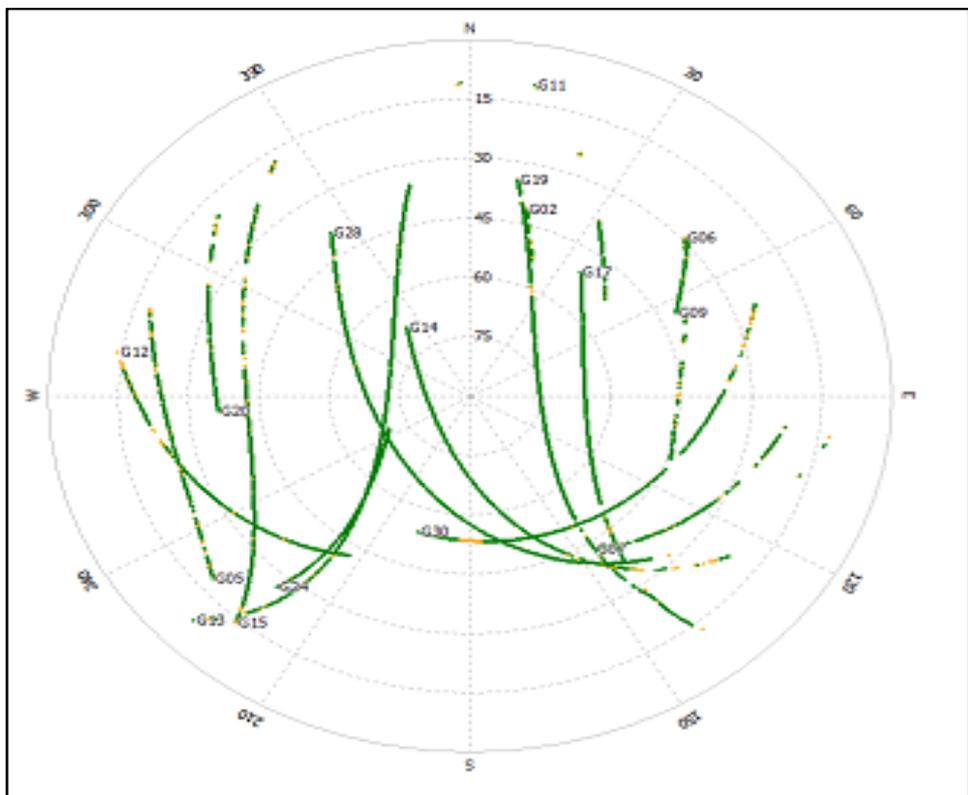
Verifica-se que existem interrupções na recepção do sinal, enviados por alguns satélites, nas estações móveis. No Skyplot dos dados Leica 1200 estas perdas ocorrem mais no quadrante NE para satélites com elevações inferiores a 30 graus. O Skyplot gerado para o Hyper SR é o que apresenta mais interrupções entre eles. Para a elevação de até 30°, observa-se que foram detectados poucos satélites, ou constantes perdas de sinal, especialmente no intervalo compreendido entre os azimutes de 300° a 90° (concordando com a localização do Trapiche).

FIGURA 23 - SKYLOT PARA ESTAÇÃO MÓVEL (RECEPTOR LEICA 1200 - PLATAFORMA)



FONTE: Os autores (2022)

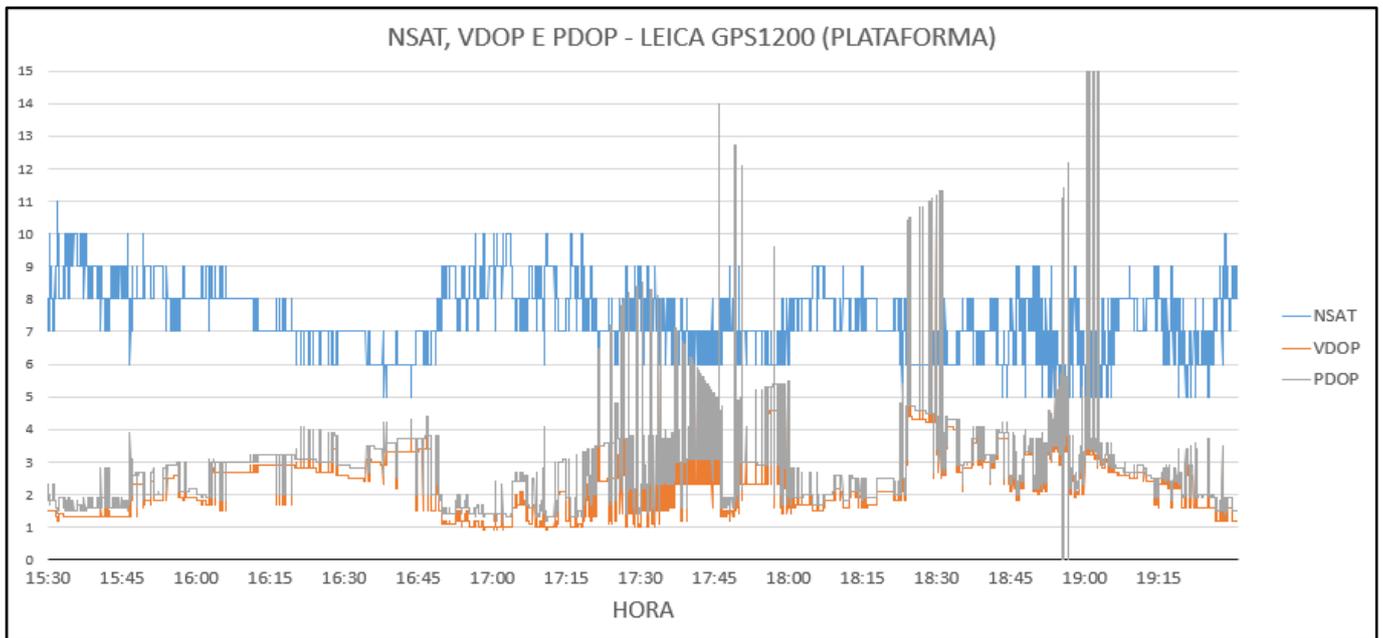
FIGURA 24 - SKYLOT PARA ESTAÇÃO MÓVEL (RECEPTOR HYPER SR - PLATAFORMA)



FONTE: Os autores (2022)

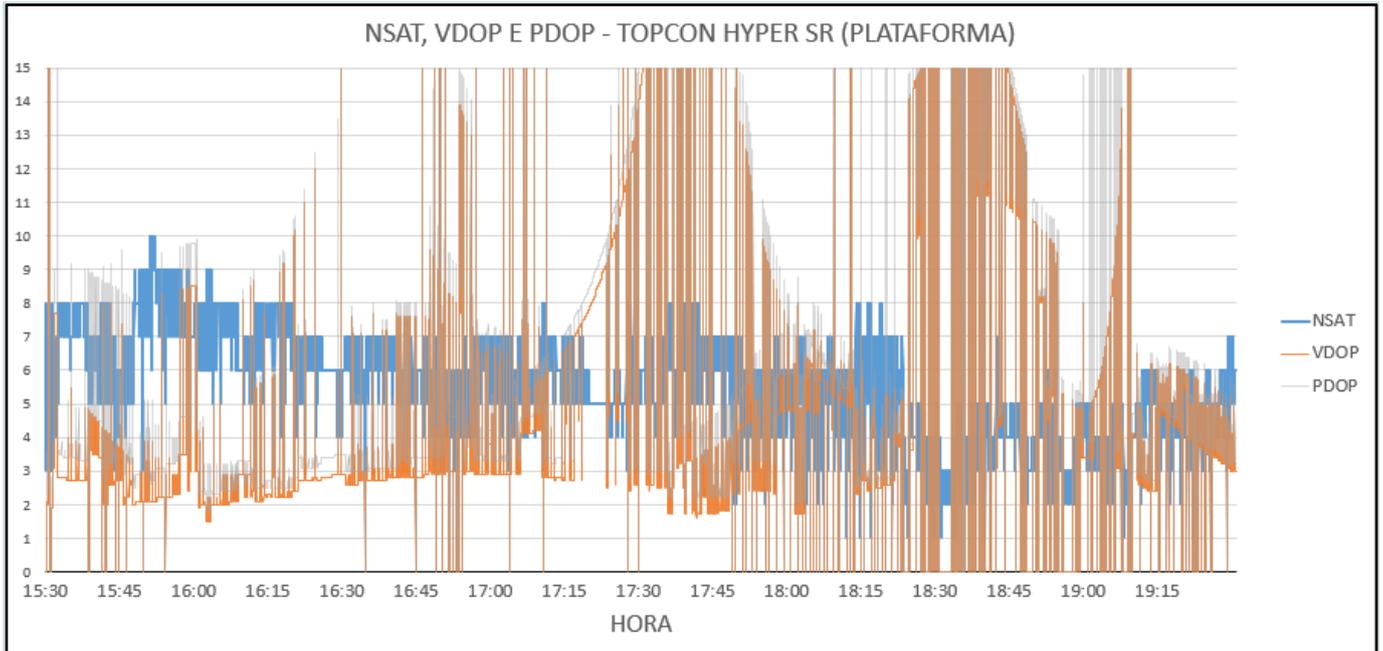
Nas figuras apresentadas na sequência visualizam-se os valores de VDOP, HDOP e número de satélites (NSAT) para o levantamento com os receptores móveis instalados na Plataforma Flutuante. O GRÁFICO 6 indica que para o receptor Leica 1200 o número de satélites esteve entre 10 e 5 e o PDOP chegou a atingir valores superiores a 15 por alguns minutos. Para o Hyper SR (GRÁFICO 7) o número de satélites ficou entre 1 e 10, e os valores de PDOP são mais elevados do que aqueles obtidos com o receptor Leica 1200, superando em muitos momentos o valor de 15.

GRÁFICO 6 - NSAT, VDOP e PDOP PARA ESTAÇÃO MÓVEL (LEICA 1200 - PLATAFORMA)



FONTE: Os autores (2022)

GRÁFICO 7 - NSAT, VDOP e PDOP PARA ESTAÇÃO MÓVEL (HYPER SR - PLATAFORMA)



FONTE: Os autores (2022)

As perdas de sinal ocorridas nas estações móveis podem estar associadas às diferenças de altitudes entre elas e o trapiche. Pela FIGURA 16 a plataforma está sujeita a obstrução por parte da estrutura de concreto do trapiche. Também as diferenças entre os valores encontrados entre as estações móveis podem ser consequência de que: o receptor Hyper foi colocado dentro da caixa plástica, estava mais baixo do que a antena do receptor Leica 1200 e ele não estava posicionado sobre um eixo com compensação de movimentos da plataforma e nem sob o AEM-LAGEH-03.

As configurações empregadas no processamento dos dados coletados pelas estações móveis, com o emprego dos receptores geodésicos, estão indicadas na TABELA 5. As estações base consideradas são seus pares homólogos instalados sobre o trapiche. Visando às correções de maré, ionosfera e troposfera, optou-se por empregar os modelos padrão indicados no RTKPOST.

TABELA 5 - CONFIGURAÇÕES DOS PROCESSAMENTOS - ESTAÇÕES MÓVEIS (LEICA 1200 E HYPER SR)

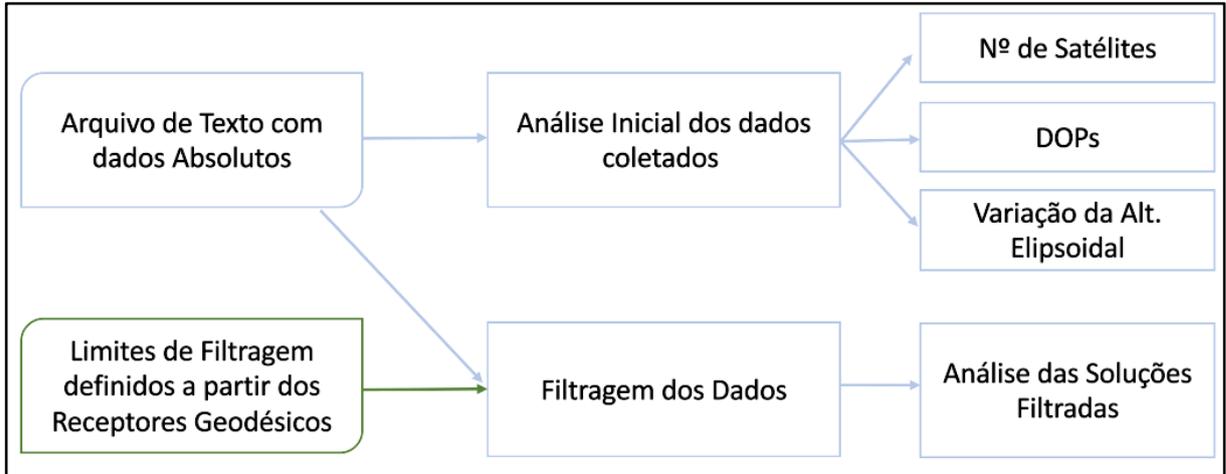
Software	RTKPOST
Estação Base	Receptor homólogo no trapiche
Método de Posicionamento	Cinemático
Frequência	L1+L2
Filtro	Combinado
Máscara de Elevação	20°
Correção da Maré	Desligada
Correção da Ionosfera	Transmitidas
Correção da Troposfera	Saastamoinen
Correção órbita dos satélites	Transmitidas
Sistemas	GPS

FONTE: Os autores (2022)

3.5.4 Estações Móveis instaladas na Plataforma Flutuante – Receptores de Baixo Custo

As etapas que foram desenvolvidas no caso dos receptores de baixo custo instalados na plataforma podem ser visualizadas na FIGURA 25.

FIGURA 25 - FLUXOGRAMA METODOLÓGICO DA ANÁLISE E FILTRAGEM DOS DADOS OBTIDOS COM OS RECEPTORES DE BAIXO CUSTO NA PLATAFORMA FLUTUANTE



FONTE: Os autores (2022)

O receptor U-Blox NEO 6M possibilitou a obtenção de 13.242 altitudes elipsoidais. Foi calculada a média e o desvio padrão da referida coordenada, indicando-se ainda os valores de máximo e mínimo e a amplitude de variação. (TABELA 6)

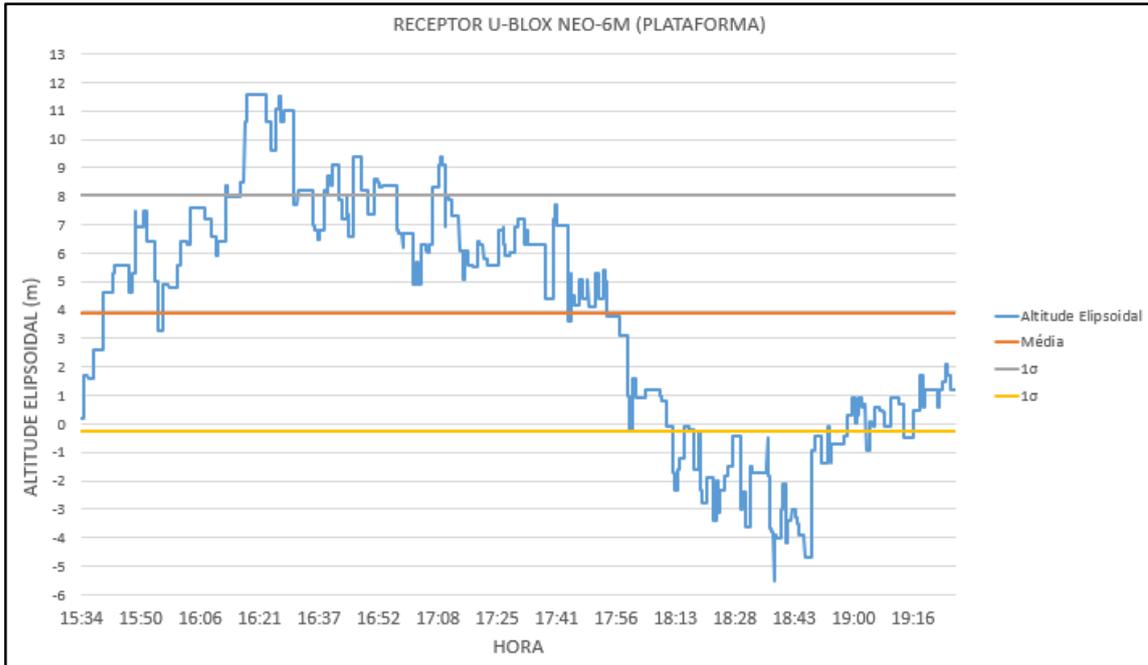
TABELA 6 - ANÁLISES ESTATÍSTICAS PARA AS ALTITUDES OBTIDAS PELOS RECEPTORES DE BAIXO CUSTO DA PLATAFORMA

Número de Observações	13242
Alt. Elipsoidal Média	3,8993 m
Desvio Padrão	4,12622 m
h_{\min}	5,5 m
h_{\max}	11,6 m
Amplitude	17,1 m

FONTE: Os autores (2022)

No GRÁFICO 8 visualiza-se a variação da altitude ao longo do levantamento, e como referência para o comportamento da dispersão da altitude elipsoidal ao longo da coleta, o valor da média e o intervalo de 1 desvio padrão:

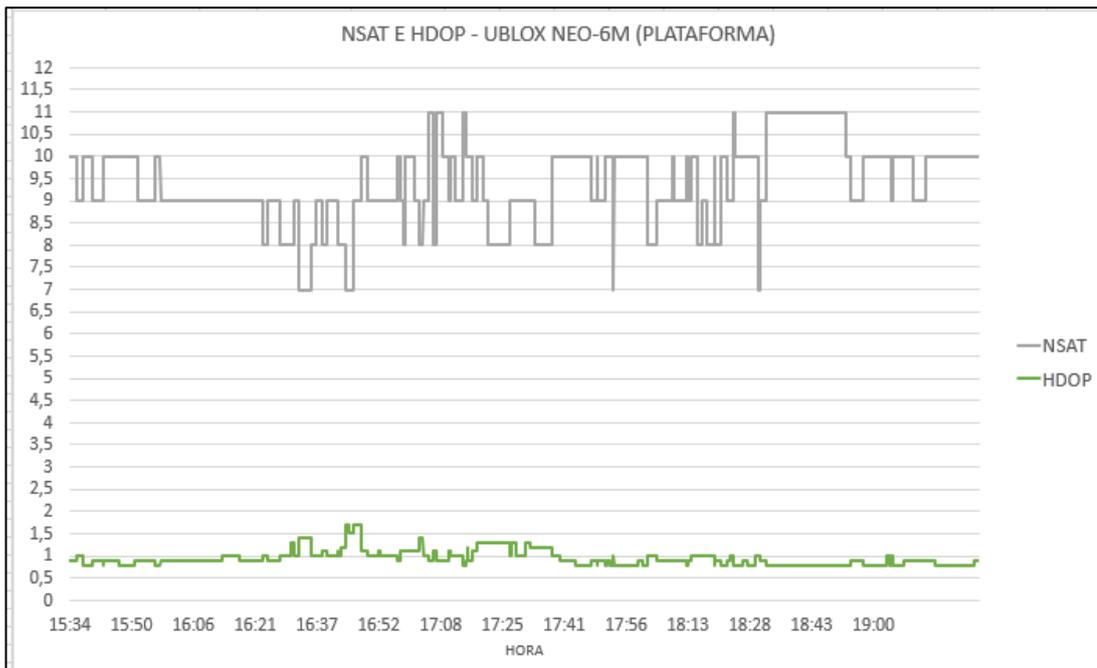
GRÁFICO 8 - VARIAÇÃO DA ALTITUDE ELIPSOIDAL - RECEPTOR U-BLOX NEO-6M (PLATAFORMA)



FONTE: Os autores (2022)

Adicionalmente, pode-se observar o gráfico do HDOP e número de satélites observados (NSAT) ao longo do levantamento na plataforma (GRÁFICO 9):

GRÁFICO 9 - NSAT, HDOP PARA ESTAÇÃO MÓVEL (U-BLOX NEO-6M - PLATAFORMA)



FONTE: Os autores (2022)

O HDOP se manteve inferior a 1,6 em grande parte do tempo e o número de satélites variou entre 7 e 11. As elevações mais significativas nos valores do HDOP ocorreram quando se observam apenas 7 satélites.

Para os receptores de baixo custo embarcados, os limiares de filtragem de seus dados tiveram que ser redefinidos (em comparação aos utilizados para os receptores de baixo custo instalados no trapiche), uma vez que neste caso se buscava, ao invés de uma coordenada única, a variação da altitude elipsoidal da plataforma ao longo do tempo. Por conta disso, observou-se os valores filtrados do receptor de referência da Plataforma Flutuante, o Leica 1200, e tomou-se para o intervalo de filtragem o valor máximo e mínimo de Altitude Elipsoidal calculados, com uma margem de 2,5 metros (precisão nominal do posicionamento informado pelo fabricante). Considerou-se valores fora deste intervalo como outliers, sendo descartados da análise. Mais considerações sobre as soluções com este receptor, após a filtragem, serão realizadas nos resultados.

3.5.5 Variação do Nível d'Água medido na Estrutura de PVC com Trena

A leitura na trena colada na estrutura de PVC (seção 3.4.1) foi efetuada ao longo do levantamento, com intervalos regulares de aproximadamente 20 minutos. Vale ressaltar, que os valores que foram lidos estão afetados por ondas resultantes da ação do vento e correntes em torno do trapiche no instante da leitura. Logo, obteve-se uma variação do nível d'água nas imediações da plataforma, imprecisa pois foi obtida visualmente, mas que contribui com este trabalho. Comenta-se ainda que estas leituras terminaram antes da retirada da plataforma da água visto que a estrutura de PVC, num certo momento, ficou acima do nível da água.

Na TABELA 7 são visualizados os valores lidos num certo horário (Hora UTC), a variação e o acumulado desta variação. Percebe-se que ao longo de 2h e 38min a variação do nível d'água foi igual a 0,87 m.

TABELA 7 - LEITURAS REALIZADAS SOBRE A ESTRUTURA DE PVC COM TRENA TOPOGRÁFICA

Hora UTC	Leitura (cm)	Varição (cm)	Acumulado em módulo (cm)	Intervalo de Tempo
15:59:00	76	0	--	--
16:20:00	77	-1	1	00:21:00
16:45:00	83	-6	7	00:25:00
17:05:00	92	-9	16	00:20:00
17:30:00	108	-16	32	00:25:00
17:55:00	122	-14	46	00:25:00
18:17:00	142	-20	66	00:22:00
18:37:00	163	-21	87	00:20:00

Fora dos limites da régua

FONTE: Os autores (2022)

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos para os equipamentos instalados no trapiche e na plataforma, bem como algumas análises e discussões.

4.1 EQUIPAMENTOS INSTALADOS NO TRAPICHE

Conforme indicado nas seções anteriores dados coletados por dois receptores geodésicos foram pós-processados pelo programa RTKLIB aplicando os parâmetros indicados ao longo da seção 3.5. As soluções obtidas estão indicadas na TABELA 8. Verifica-se que a precisão interna para as coordenadas locais, foi inferior ao décimo do milímetro. Cabe lembrar que as estações Base 1 e Base 2 estão instaladas próximas, sobre o trapiche. O Ratio é um dos parâmetros que indica a qualidade da solução (quanto mais alto é melhor) bem como, a % de ambiguidades fixadas. Como o intuito desta pesquisa é avaliar a variação do nível d'água o foco das análises foi nas altitudes elipsoidais. Então, com base nos resultados alcançados a altitude elipsoidal do trapiche é igual a 4,5622 m com precisão interna de 0,0008 m.

TABELA 8 - COORDENADAS FINAIS, PRECISÕES E PARÂMETROS - RECEPTORES GEODÉSICOS (TRAPICHE)

Receptor	Coordenada Final (Geodésicos) - TRAPICHE			Precisões Internas (m)			Parâmetros		
	Latitude	Longitude	Altitude Elipsoidal (m)	σE	σN	σU	Ambiguidades	NSAT	Ratio
Leica 1200	- 25° 25' 45,22804"	- 48° 42' 28,34128"	4,5622	0,0004	0,0003	0,0008	Fixa (94,6%)	6	13,8
Topcon Hyper SR	- 25° 25' 45,19737"	- 48° 42' 28,32706"	4.5857	0,0004	0,0003	0,0008	Fixa (90,2%)	7	9

FONTE: Os autores (2022)

Conforme citado na seção 3.5.2, foi aplicado um filtro para as altitudes elipsoidais obtidas com os receptores de baixo custo. A TABELA 9 indica o número total de observações coletadas; o intervalo de filtragem aplicado com base na média e desvio padrão e o número de observações que foram descartadas. Percebe-se que

o receptor Navilock NL-602U teve 37,01% de observações descartadas enquanto que o receptor U-Blox Neo-6M teve 32,92%. Conforme apresentado na seção 3.5.2, TABELA 4, o receptor Navilock NL-602U apresentou um desvio padrão maior do que aquele observado para o outro receptor de baixo custo, que resulta em um maior intervalo de filtragem.

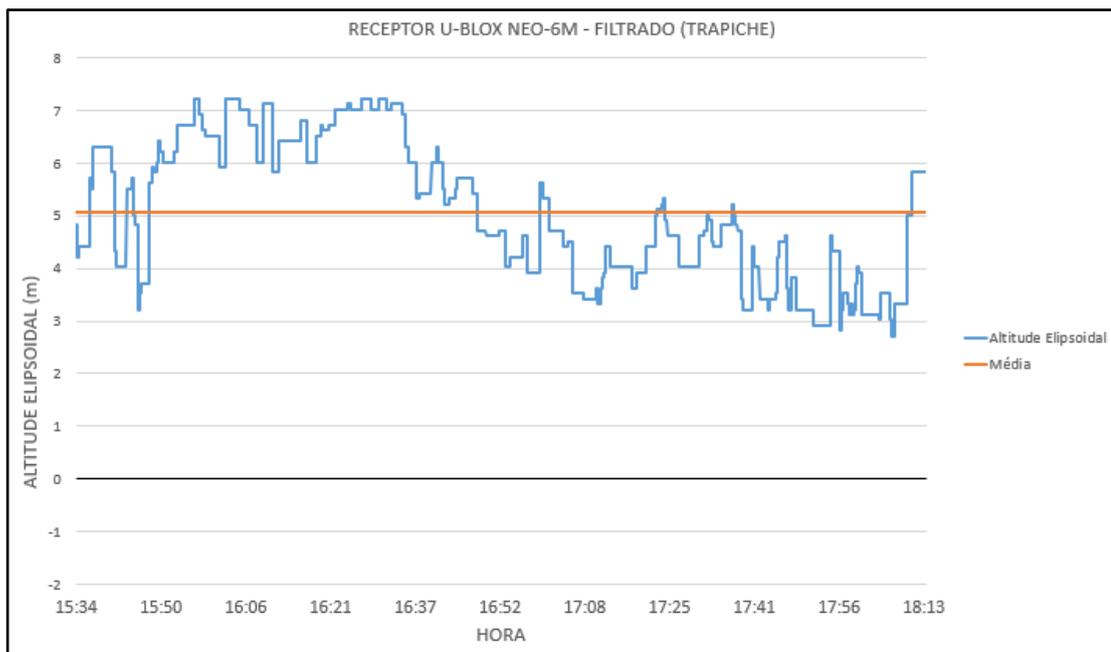
TABELA 9 - FILTRAGEM DOS DADOS - RECEPTORES DE BAIXO CUSTO (TRAPICHE)

Filtragem dos Dados (Baixo Custo) - TRAPICHE					
Receptor	Número Total de Observ./Altitudes	Critério	Intervalo	Altitudes Descartadas	% (Altitudes Descartadas)
U-Blox Neo-6M	13.451	Média \pm 1 σ	2,715 m < h < 7,230 m	4428	32,92
Navilock NL-602U	12.171	Média \pm 1 σ	1,081 m < h < 9,419 m	4504	37,01

FONTE: Os autores (2022)

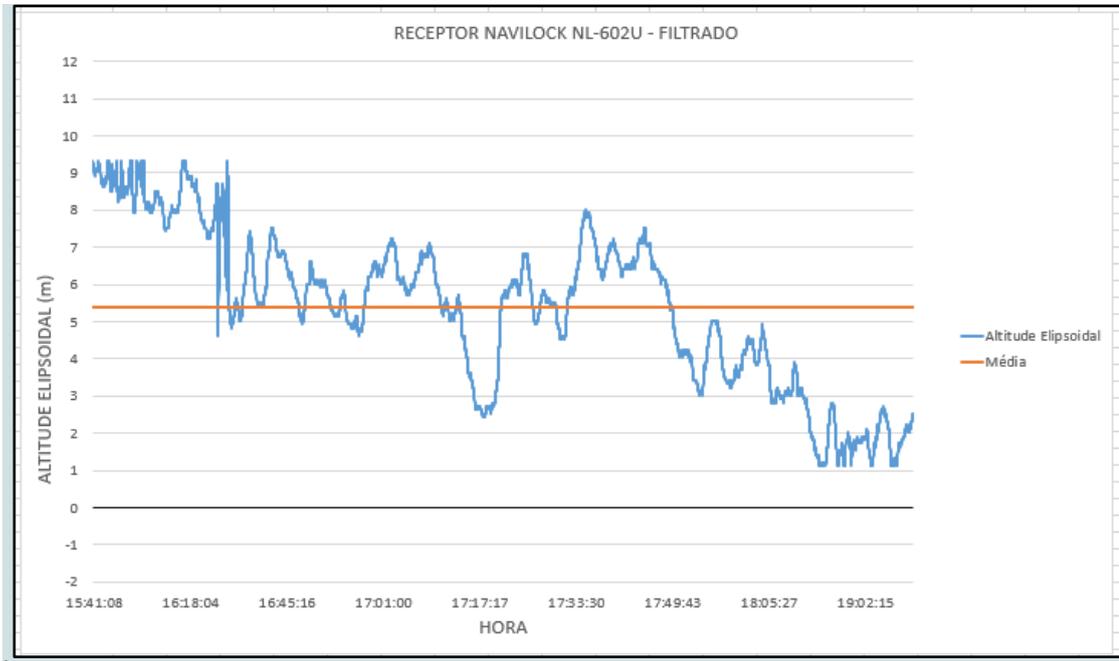
Os gráficos apresentados na sequência mostram as altitudes elipsoidais filtradas e a média calculada. Para o receptor U-Blox NEO 6M visualiza-se no GRÁFICO 10 e para o receptor Navilock NL-602U no GRÁFICO 11:

GRÁFICO 10 - VARIAÇÃO DA ALTITUDE DO MÓDULO U-BLOX AO LONGO DA COLETA NO TRAPICHE (DADOS FILTRADOS)



FONTE: Os autores (2022)

GRÁFICO 11 - VARIAÇÃO DA ALTITUDE DO NAVILOCK NL-602U AO LONGO DA COLETA NO TRAPICHE (DADOS FILTRADOS)



FONTE: Os autores (2022)

As altitudes elipsoidais filtradas possibilitaram o cálculo de novas médias e desvios-padrão para os receptores de baixo custo, valores estes indicados a TABELA 10:

TABELA 10 - COORDENADAS FINAIS E SEUS DESVIOS PADRÃO - RECEPTORES DE BAIXO CUSTO FILTRADOS (TRAPICHE)

Receptor	Coordenada Final (Observações Filtradas)			Desvio Padrão			Nº de Observações
	Latitude	Longitude	Altitude Elipsoidal (m)	σ_{Lat}	σ_{Lon}	σ_h	
U-Blox Neo-6M	- 25° 25' 45,31349"	- 48° 42' 28,27777"	5,0702	0.03830"	0.01879"	1,3365 m	9023
Navilock NL-602U	- 25° 25' 45,29407"	- 48° 42' 28,28014"	5,3873	0.03606"	0.03432"	2,1154 m	7667

FONTE: Os autores (2022)

A TABELA 11 traz as altitudes elipsoidais finais após os pós-processamentos dos dados provenientes dos receptores geodésicos e as altitudes médias calculadas após a filtragem dos dados obtidos pelos receptores de baixo custo. Está indicada a discrepância calculada em relação à altitude de referência adotada para o trapiche, ou seja, de 4,5622m.

TABELA 11 - COMPARATIVO FINAL - ALTITUDE ELIPSOIDAL OBTIDA PARA O TRAPICHE E SUA PRECISÃO

Receptor	Altitude Elipsoidal (m)	Precisão/ Desvio Padrão (m)	Discrepância (Δ_h) (m)
Leica 1200	4,5622	0,0008	0,000 (Referência)
Topcon HyperSR	4,5857	0,0008	0,0235
U-Blox Neo-6M	5,0702	1,3365	0,5080
Navilock NL-602U	5,3873	2,1154	0,8251

FONTE: Os autores (2022)

Como esperado, a menor discrepância encontrada foi a do receptor Hyper SR. Os receptores de baixo custo, U-Blox NEO-6M e Navilock NL-602U, apresentaram uma discrepância inferior ao metro, indicando que a altitude elipsoidal média obtida após a filtragem de dados foi um fator positivo. Contudo deve-se levar em conta o desvio padrão obtido em cada análise. Desta forma, constatou-se que o U-Blox NEO-6M apresentou uma solução mais precisa e acurada do que aquela obtida com o receptor Navilock NL-602U.

4.2 EQUIPAMENTOS INSTALADOS NA PLATAFORMA FLUTUANTE

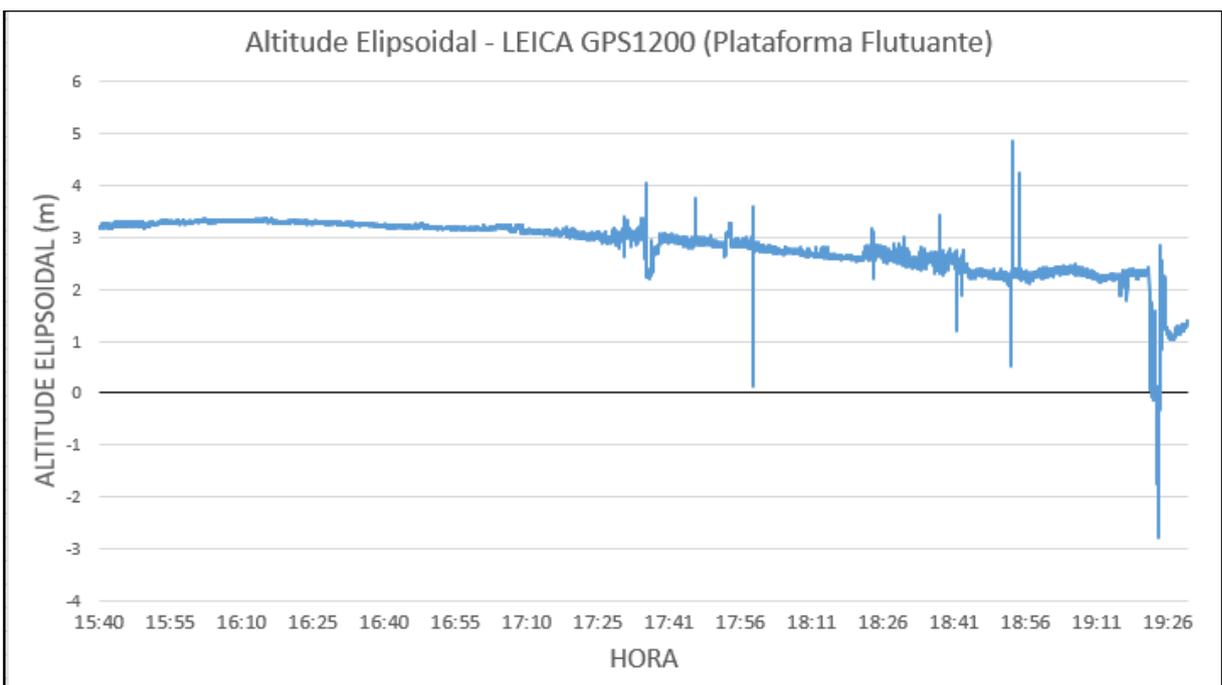
Nesta seção serão apresentadas as altitudes elipsoidais obtidas com os equipamentos geodésicos e com os receptores de baixo custo instalados na plataforma obtidos a partir da metodologia explicada na seção 3.5.

4.2.1 ALTITUDES ELIPSOIDAIS DA PLATAFORMA EULERIANA – RECEPTORES GEODÉSICOS

Conforme apresentado na seção 3.5.3 os dados coletados com o receptor Leica 1200 apresentaram algumas perdas de sinal, períodos com valores de PDOP acima do preconizado pela literatura citada na seção 3.5.1. Os períodos mais críticos são das 17h20min às 17h50min, das 18h20min às 18h35min e 18h50min às 19h30min. No GRÁFICO 12 são visualizadas as altitudes elipsoidais pós-processadas obtidas durante o posicionamento cinemático da plataforma com o receptor Leica 1200. Percebe-se que há algumas altitudes com valores errôneos e que estão correlacionadas com os intervalos de tempo mencionados.

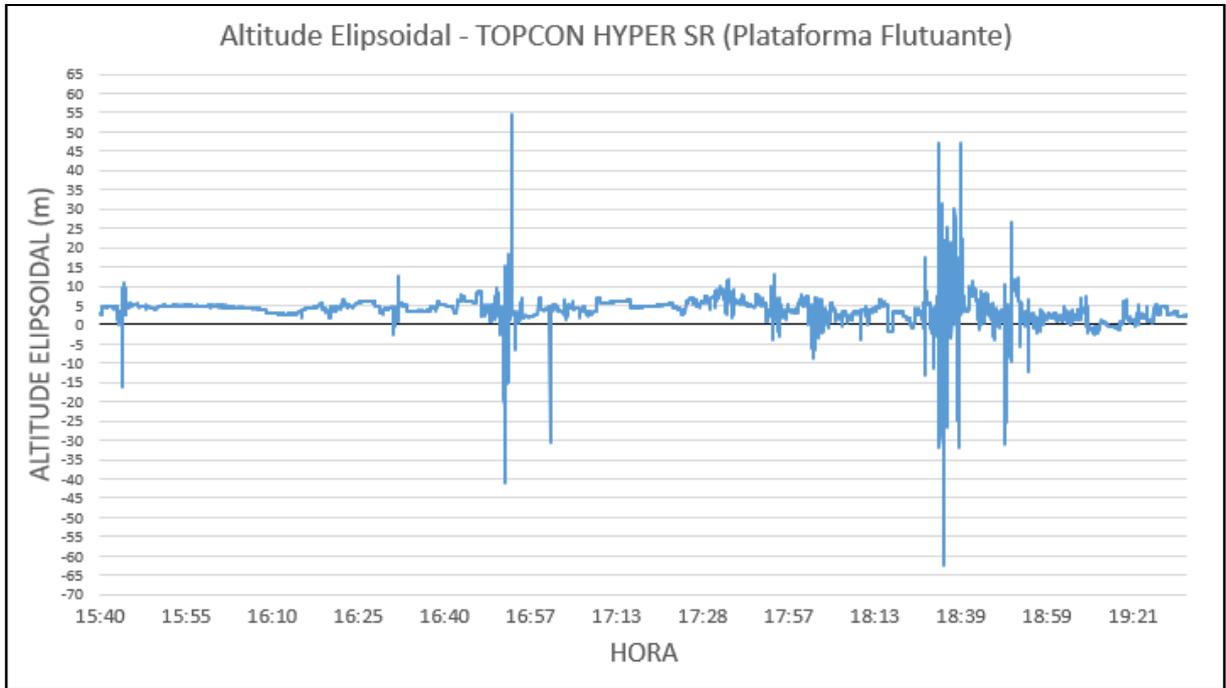
No GRÁFICO 13 tem-se as altitudes elipsoidais pós-processadas (não filtradas) obtidas durante o posicionamento cinemático da plataforma com o receptor Hyper SR. Corroborando com os dados analisados anteriormente (seção 3.5.3), as perdas de sinal acarretaram em elevação dos valores de DOP e, conseqüentemente, em altitudes elipsoidais com maior imprecisão

GRÁFICO 12 - VARIAÇÃO DA ALTITUDE ELIPSOIDAL - LEICA 1200 PLATAFORMA - DADOS NÃO FILTRADOS



FONTE: Os autores (2022)

GRÁFICO 13 - VARIAÇÃO DA ALTITUDE ELIPSOIDAL - TOPCON HYPER SR (DADOS NÃO FILTRADOS)



FONTE: Os autores (2022)

Na TABELA 12 indicam-se as soluções que tiveram as suas ambiguidades inteiras resolvidas (fixadas) e as com ambiguidades flutuantes. Percebe-se que o receptor Hyper SR teve a maioria de suas soluções (96,54%) geradas com as ambiguidades flutuantes, motivo pelo qual as altitudes elipsoidais têm um comportamento diferente daquele obtido com as soluções do Leica 1200.

TABELA 12 - OBSERVAÇÕES COM AMBIGUIDADE FIXADA (DADOS NÃO FILTRADOS)

Ambiguidades Fixadas (Geodésicos) - PLATAFORMA			
Receptor	Número Total de Obs.	Observações com Ambiguidade Fixada	Observações com Ambiguidade Float
Leica 1200	13892	7891 (56,80%)	5860 (42,18%)
Topcon HyperSR (Bóia)	11672	218 (1,86%)	11269 (96,54%)

FONTE: Os autores (2022)

Como o interesse é obter altitudes elipsoidais visando a determinação da variação do nível d'água durante o levantamento, e que segundo a NORMAM-25 (Marinha do Brasil, 2017) a incerteza máxima da maré deve ser de 10 cm para a Ordem Especial de levantamento hidrográfico optou-se por filtrar as altitudes pós-processadas admitindo que a imprecisão da altitude calculada seja inferior ou igual a 10cm.

Na TABELA 13 estão indicados o número total de altitudes calculadas pelo pós-processamento, critério utilizado para a filtragem das soluções, total de altitudes descartadas e a porcentagem de altitudes descartadas após a filtragem, com relação ao número total de altitudes. Corroborando com a porcentagem de soluções flutuantes, o receptor Hyper SR apresentou a maior porcentagem de altitudes descartadas.

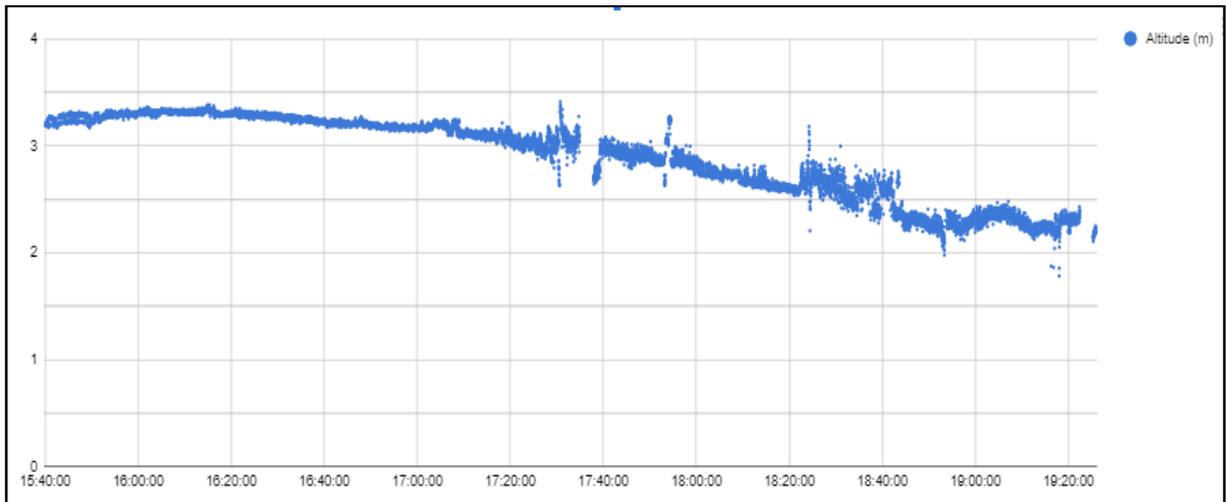
TABELA 13 - FILTRAGEM DOS DADOS - RECEPTORES GEODÉSICOS (PLATAFORMA FLUTUANTE)

Filtragem dos Dados - PLATAFORMA				
Receptor	Número Total de Observ./Altitudes	Critério	Altitudes Descartadas	% (Altitudes Descartadas)
Leica 1200	14264	$\sigma h < 10 \text{ cm}$	1174	8,2
Topcon HyperSR	11672	$\sigma h < 10 \text{ cm}$	4671	40,0

FONTE: Os autores (2022)

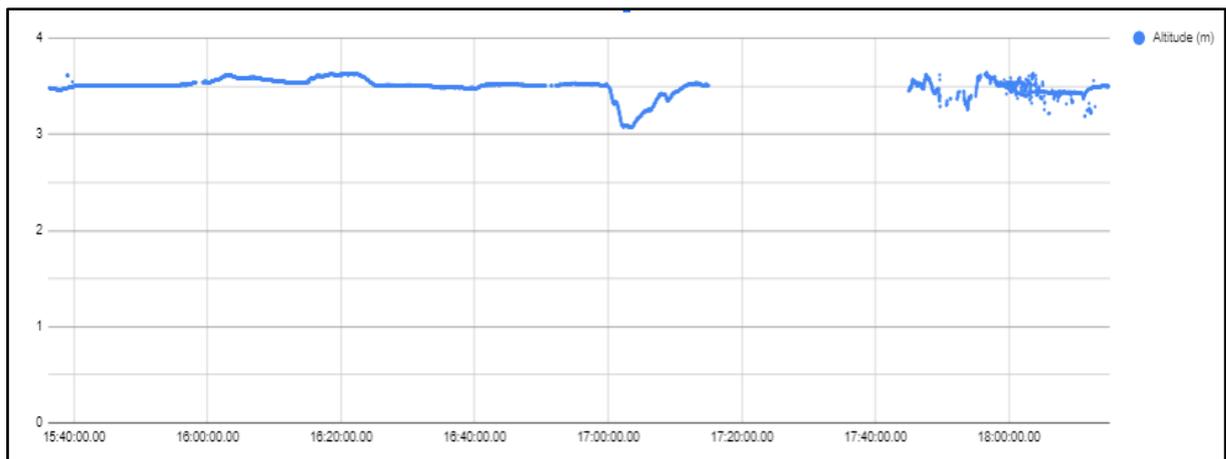
No GRÁFICO 14 tem-se a representação das altitudes calculadas e filtradas ao longo do levantamento com o emprego do receptor Leica 1200. O mesmo procedimento foi efetuado para as soluções geradas com o pós-processamento dos dados coletados com o receptor Hyper SR e as altitudes calculadas e filtradas são visualizadas no GRÁFICO 15:

GRÁFICO 14 - ALTITUDES FINAIS LEICA 1200 (OBSERVAÇÕES FILTRADAS)



FONTE: Os autores (2022)

GRÁFICO 15 - ALTITUDES FINAIS TOPCON HYPER SR (OBSERVAÇÕES FILTRADAS)



FONTE: Os autores (2022)

Comparando-se visualmente os GRÁFICOS 14 e 15 percebe-se que a variação da altitude elipsoidal que está mais próxima da variação do nível d'água esperado é a do Leica 1200. Mediante as informações da Tábua de Marés e as amplitudes obtidas com a trena no PVC, o levantamento foi iniciado com a maré em nível mais alto, registrando uma menor variação nas primeiras medições (15h30min-17h) e maior redução do nível d'água a partir das 17h, o que corrobora com o GRÁFICO 14

4.2.2 ALTITUDES ELIPSOIDAL DA PLATAFORMA EULERIANA – RECEPTORES DE BAIXO CUSTO

De acordo com o exposto anteriormente, as altitudes elipsoidais obtidas pelos receptores de baixo custo deve ser filtradas. Desta forma, optou-se por empregar os máximos e mínimos das altitudes filtradas do receptor Leica 1200 visando definir os limiares de filtragem para o receptor de baixo custo. Além dos máximos e mínimos, foi adicionado o valor da precisão nominal do equipamento, como margem de erro para realizar uma filtragem que não eliminasse um número tão significativo de observações. Na TABELA 14, indica-se o intervalo de filtragem a ser empregado para as altitudes obtidas com o receptor U-Blox NEO-6M instalado na plataforma.

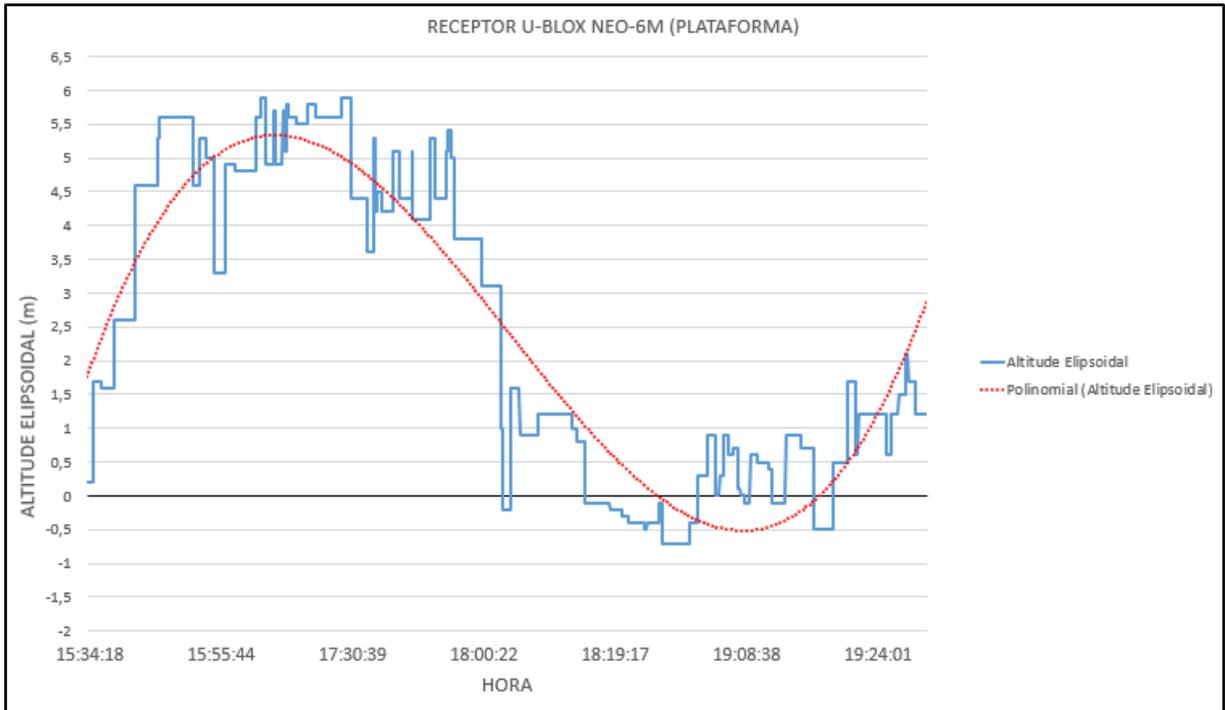
TABELA 14 - INTERVALO DE FILTRAGEM PARA O RECEPTOR DE BAIXO CUSTO DA PLATAFORMA FLUTUANTE

U-Blox NEO-6M (Boia)	
Leica 1200 (Filtrado)	Min = 1,782 m; Max = 3,411 m
Precisão da Posição	2,5m
Intervalo de filtragem	-0,718 m < h < 5,911 m

FONTE: Os autores (2022)

Após esta filtragem, as altitudes elipsoidais obtidas ao longo do levantamento podem ser visualizadas no GRÁFICO 16:

GRÁFICO 16 - VARIAÇÃO DA ALTITUDE ELIPSOIDAL - U-BLOX NEO-6M PLATAFORMA (DADOS FILTRADOS)



FONTE: Os autores (2022)

Mediante uma análise visual do GRÁFICO 16 constata-se que a altitude elipsoidal não apresenta um comportamento similar ao obtido com o receptor Leica 1200. Os valores de altitude estão entre 6 m e -0,7 m. A curva de tendência exibe uma amplitude maior do que aquela percebida para a variação da maré no intervalo do levantamento

4.2.3 COMPARAÇÃO DAS AMPLITUDES DE VARIAÇÃO DO NÍVEL D'ÁGUA

Nesta seção são comparadas as amplitudes das altitudes instantâneas com cada uma das soluções filtradas pelos diferentes receptores instalados na plataforma. Na TABELA 15 são apresentados os valores de altitudes máxima e mínima, extraídos da série temporal analisada, e as amplitudes calculadas. Inclui-se ainda, nesta tabela, a amplitude de maré estimada a partir da tábua de maré predita para a Ponta do Felix, situada em Antonina.

TABELA 15 - AMPLITUDE DAS ALTITUDES OBSERVADAS - RECEPTORES INSTALADOS NA PLATAFORMA FLUTUANTE

Receptor	h Max (m)	h Min (m)	Amplitude (m)	Amplitude (Ponta do Félix)
Leica 1200	3,411	1,782	1,629	1,4 m
Topcon HyperSR	3,641	3,072	0,569	
U-Blox Neo-6M	5,9	-0,7	6,6	

FONTE: Os autores (2022)

Verifica-se que a amplitude calculada com as soluções filtradas com o Receptor Leica 1200 é a que mais se aproxima da amplitude prevista para a Ponta do Félix, apresentando uma diferença de cerca de 20cm. A diferença de amplitude entre as soluções Hyper SR e maré predita foi da ordem de 80 cm e entre o U-Blox Neo-6M e esta maré foi de alguns metros. Vale destacar que se está comparando os valores medidos com os receptores GPS com uma maré predita e que a localização da plataforma não coincide com a Ponta do Félix. Fatores estes que podem ter contribuído com a discrepância de 20 centímetros.

Com as informações indicadas na TABELA 7 da seção 3.4.1 foi possível obter uma variação da amplitude de variação do nível da água nas imediações da plataforma a partir das leituras na estrutura de PVC com trena, mesmo que se tratem de estimativas visuais. Visando comparar este valor com aqueles obtidos com as soluções das altitudes filtradas para os receptores instalados na plataforma foram extraídas as altitudes elipsoidais em dois instantes de tempo e calculadas as médias das variações neste intervalo. Estes instantes de tempo foram definidos nos minutos iniciais e finais da medição visual realizada na régua.

Na TABELA 16 estão indicadas as altitudes, variações de altitudes e a variação detectada no PVC com trena.

TABELA 16 - COMPARATIVO DA ALTITUDE ELIPSOIDAL E DA VARIAÇÃO ABSOLUTA MEDIDA NA ESTRUTURA DE PVC NOS HORÁRIOS OBSERVADOS

Receptor	Hora UTC		Variação das Altitudes (m)	Variação Detectada (PVC + trena)
	Alt. Elipsoidal (m)- 15:59:00	Alt. Elipsoidal (m)- 18:37:59		
Leica 1200	3,2906	2,5602	0,7304	0,87m
Topcon HyperSR	4,7129	3,4989	1,214	
U-Blox Neo-6M	4,8	-0,42	5,22	

FONTE: Os autores (2022)

Verificou-se que o receptor Leica 1200 foi o que mais se aproximou da variação real, enquanto os receptores Hyper SR e o U-Blox NEO-6M foram os mais discrepantes.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por fim, pode-se considerar que os objetivos foram atingidos com êxito, através das soluções obtidas e das análises efetuadas.

Inicialmente houve a recuperação da Plataforma Euleriana de Nível PEN-01 possibilitando o desenvolvimento deste projeto, bem como, para prosseguimento de sua aplicação em trabalhos futuros.

Os receptores geodésicos (Leica 1200 e Hyper SR) instalados no trapiche de Antonina possibilitaram a observação de um número de satélites superior ao mínimo necessário para um posicionamento preciso, ficando entre 7 e 12 satélites, conduzindo a valores de PDOP inferiores a 3,5. Por sua vez, os receptores de baixo custo analisados (U-Blox NEO 6M e Navilock NL-602U) também receberam os sinais de pelo menos 9 satélites e com valores de DOP inferiores a 2.

Já os receptores geodésicos e o receptor U-Blox NEO 6M instalados na plataforma flutuante, captaram os sinais de um número inferior de satélites. Mediante a análise dos Skyplot fica evidente que houveram muitas perdas de sinal, especialmente, entre os azimutes em que os sinais dos satélites sofrem interrupções devido a presença da estrutura de concerto do trapiche. Infelizmente a plataforma foi lançada num nível inferior a esta estrutura. O melhor desempenho entre os receptores geodésicos ocorreu para o Leica 1200. Destaca-se que a antena do receptor Leica 1200 estava um pouco mais elevada do que os demais e numa situação mais privilegiada, pois estava fixada sobre o eixo de compensação de movimentos longitudinais e transversais da plataforma, além de estar fixada sob o AEM-LAGEH-03. Este último possibilitou a minimização do efeito do multicaminho e o eixo manteve a antena na vertical durante a coleta.

Mediante a análise das soluções geradas no pós-processamento dos dados levando em conta o Ratio e a % de ambiguidades fixadas a altitude elipsoidal do Trapiche foi igual a 4,5622m com precisão interna de 0,0008m (solução receptor Leica 1200 instalado na Base 1). A diferença altimétrica entre esta altitude e a obtida com o processamento dos dados do receptor Hyper SR (instalado na Base 2) foi de 0,0235m. Os receptores de baixo custo apresentaram diferenças superiores, tendo-se 0,5080m e 0,8251m para as altitudes médias dos equipamentos U-Blox NEO 6M e Navilock NL-602U, respectivamente, com desvios-padrão de 1,3365m e 2,1154m. O desempenho do U-Blox NEO 6M foi superior ao do Navilock NL-602U.

A melhor variação das altitudes elipsoidais da plataforma flutuante foi obtida com o receptor Leica 1200. Com o pós-processamento dos dados verificou-se que 56,08% das observações coletadas tiveram as ambiguidades inteiras determinadas. Já para as soluções do Hyper SR apenas 1,86% obtiveram o mesmo êxito. Com o primeiro equipamento foi obtida uma amplitude de variação altimétrica de 1,629m e com o segundo foi igual a 0,569m. Para o receptor de baixo custo, devidamente com as soluções filtradas, esta amplitude foi de 6,6m. Ao se comparar estas variações com a amplitude de variação da maré predita para a Ponta do Félix, obtiveram-se diferenças de 0,2m e 0,8m para soluções Leica 1200 e Hyper SR, respectivamente. Já para o U-BLOX NEO-6M foi de 5,2 metros. Cabe aqui salientar que a maré predita está sendo determinada em outro local que dista aproximadamente 4,4Km do trapiche em que as observações foram efetuadas (Ponta do Félix).

Mediante uma análise das variações das altitudes elipsoidais com a variação detectada nas leituras efetuadas nas imediações do trapiche (PVC com Trena), no intervalo compreendido entre às 15h 59min 00s e 18h 37min 59s (UTC), o que mais se aproximou foi a variação com o Leica 1200 (diferença de 0,14m). Já as obtidas com o Hyper SR e U-Blox NEO-6M foram mais discrepantes, sendo 0,34m e .4,35m, respectivamente.

Esperava-se um melhor desempenho do receptor U-Blox NEO-6M face ao número de satélites observados, e as novas tecnologias dos receptores, contudo deve-se observar que ele está superior ao preconizado pela literatura no que tange ao posicionamento por ponto ou absoluto.

O baixo custo e a facilidade de operar remotamente o receptor U-Blox, sem a necessidade de conexão por fio, deve encorajar o uso deste receptor para emprego em novos estudos para plataformas flutuantes buscando tentar melhorar a qualidade do posicionamento, talvez aplicando alguma estratégia matemática. Apesar disso, conforme evidenciado, em situações estáticas este receptor foi capaz de definir uma altitude média com baixa discrepância em relação aos receptores geodésicos.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- a) Avaliar a performance destes receptores lançando a plataforma em locais onde não ocorram obstruções como neste levantamento ocorreu;

- b) Investigar se a caixa plástica, presença de outros equipamentos, estrutura da plataforma ou outros fatores colaboraram para as perdas de sinal ocorridas nos dados coletados pelo Receptor Topcon Hyper SR;
- c) Realizar outros testes com versões alternativas do módulo U-blox, preferencialmente mais precisos (como o modelo M8T), visando compará-lo ao U-blox utilizado neste trabalho para o caso de ocupações mais longas;
- d) Efetuar um maior número de observações, aplicar diferentes filtros e análise das séries temporais a partir do comportamento médio do receptor em determinados intervalos de tempo possam contribuir na busca por soluções mais precisas;
- e) Realizar estudos de efeitos troposféricos com os dados coletados pelo Receptor Leica 1200, o qual estava configurado para uma máscara de elevação 0 graus.
- f) Estudar os dados obtidos com o receptor Garmin GPS72, os quais não foram avaliados no presente estudo.

REFERÊNCIAS

- ANDRÉ, G.; MARTÍN MÍGUEZ, B.; BALLU, V.; TESTUT, L.; WÖPPELMANN, G. **Measuring Sea Level With Gps-equipped Buoys: A Multi-instruments Experiment At Aix Island**. International Hydrographic Review, Monaco, v.10, n. 01, p.27-38, nov. 2013.
- ARUN KUMAR, V.V.S; LUHAR, R.K; Sharma, R; Kumar. R. **Design and development of a low-cost GNSS drifter for rip currents**. Current Science, Ahmedabad, Índia. Vol. 118, No. 2, 25 Jan-2020.
- A. O. ALOTHMAN; M. BOS; FERNANDES. R, ALI M. RADWAN; RASHWAN. M. **Annual sea level variation in the Red Sea observed using GNSS**. Geophysical Journal International. Riyadh, v.01, n.08 p. 826-834. jan. 2021.
- BERAN, T.; SERRANO, L.; BISNATH., S.; **High-Accuracy Point Positioning with Low-Cost GPS Receivers**. Navigation. v. 54, n. 10, p .173-185, mar, 2007.
- BLITZKOW, Denizar; CAMPOS, Ilce de Oliveira; FREITAS, Silvio Rogério Correia de. **Altitude: o que interessa e como equacionar?**. São Paulo: USP, 2002. 6 p. Relatório Técnico.
- BLITZKOW, D. **Sistemas de altitudes e a determinação do geóide**. Curso proferido no Instituto Oceanográfico da Armada (INOCAR). Guayaquil, Equador, 2003.
- CASTRO, A. L. C.1998. **Glossário de defesa civil: estudo de riscos e medicina de desastres**. Brasília: MPO/ Departamento de Defesa Civil. 283 p.
- CATANIA, P.; COMPARETTI, A.; FEBO, P.; MORELLO, G.; ORLANDO, S.; ROMA, E.; VALLONE, M.; **Positioning Accuracy Comparison of GNSS Receivers Used for Mapping and Guidance of Agricultural Machines**. Agronomy. Basel, v.10, n.15, p 925-940, jun 2020.
- CAZENAVE, A.; CABANES, C.; DOMINH, K.; GENNERO, M. C.; LE PROVOST, C. **Present-day sea level change: Observations and causes**. Space Science Reviews, v. 108, n. 1–2, p. 131–144, 2003.
- CHENG, Kai-Chien. **Analysis of Water Level Measurements Using GPS**. Ohio: Geodetic Science and Surveying, The Ohio State University, 2005. 127 p. Relatório Técnico.
- CONGRESSO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO E GESTÃO TERRITORIAL, 10., 2004, Florianópolis. Anais [...].: Sbeb, 2005. p. 03-11.
- DA SILVEIRA, E.; **Boias ao Mar - Equipamentos flutuantes de coleta de dados entram em operação ainda neste ano**. Estudos marítimos e meteorológicos, v.198, n.01, p. 69-71, ago-2012.

DALAZOANA, R. 2001. **Implicações na Cartografia com a evolução do Sistema Geodésico Brasileiro e futura adoção do SIRGAS**. Dissertação de mestrado. CPGCG - UFPR, Curitiba, 122 pp.

EURIQUES, J. F.; KRUEGER, C. P.; VISKI, R. A.; **Análise das variações das altitudes obtidas com RTK visando o monitoramento de massas de água por meio de plataformas Eulerianas**. Revista Brasileira de Geomática, v.05, n.2, p.126-148, abr-jun, 2017.

GAMARO, P. E. **Medidores Acústicos Doppler de Vazão**. 1ª ed. Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 2012.

GEO Brasil 2002 - **Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil**. Organizado por Thereza Christina Carvalho Santos e João Batista Drummond Câmara. - Brasília: Edições IBAMA, 2002.

GRASSI, M. T. **As Águas do Planeta**. Edição Especial. Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola, 2001.

Geografia — **Manual do aluno - 8º Ano**, Maria João Matos Raúl Castelão - Santillana Constância Editores, S.A. ISBN: 9789897085451, 2014.

PIRATA. Disponível em: <http://www.goosbrasil.org/pirata/>. Acesso em: 12 jun. 2022

HAMZA, V.; STOPAR, B.; AMBROZIC, T.; TURK, G.; STERLE, O.; Testing Multi-Frequency Low-Cost GNSS Receivers for Geodetic Monitoring Purposes. Sensors. Basel, v.20, n.16: 4375, ago 2020.

IBGE, 2006. **NORMAS E ESPECIFICAÇÕES PARA LEVANTAMENTOS GPS - IV CONFEGE - 21/08/06 a 25/08/06 - Rio de Janeiro/RJ**. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/confest_e_confegfe/pesquisa_trabalhos/CD/oficinas/553-2.pdf Acesso em: 14 set. 2022

IBGE, 2008. **RECOMENDAÇÕES PARA LEVANTAMENTOS RELATIVOS ESTÁTICOS – GPS - 10/08/06 a 25/08/06**. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/recom_gps_internet.pdf Acesso em 20 set 2022.

IBGE, 2022. **RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS - Dados diários e situação operacional**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/rede-geodesica/16258-rede-brasileira-de-monitoramento-continuo-dos-sistemas-gnss-rbmc.html?=&t=dados-diarios-e-situacao-operacional> Acesso em: 14 set. 2022

JACOMINI, Grasiani. **Reservatórios de Curitiba e região estão com 41,92% da capacidade após chuvas**. Disponível em: <https://paranaportal.uol.com.br/cidades/reservatorios-de-curitiba-e-regiao-estao-com-4192-da-capacidade-apos-chuvas/>. Acesso em: 15 dez. 2020.

JESSEN P. F; HERBERS T. H. C; JANSSEN T. T; COLBERT, D. B.; MACMAHAN J. H; **Observing Ocean Surface Waves with GPS-Tracked Buoys**. Journal Of Atmospheric And Oceanic Technology. v.29, n.1, p.944-960, jul-2012.

JOHNSON, D.; STOCKER, R.; HEAD, J.; IMBERGER, J.; PATTIARATCHI, C.; **A Compact, Low-Cost GPS Drifter for Use in the Oceanic Nearshore Zone, Lakes, and Estuaries**. Journal Of Atmospheric And Oceanic Technology, v.20, n.13, p. 1880 - 1885, jun-2003.

KNIGHT, PHILIP J.; BIRD, CAI O.; SINCLAIR, ALEX; PLATER, ANDREW J.. **A low-cost GNSS buoy platform for measuring coastal sea levels**. Ocean Engineering. Liverpool, v. 203, n.02, p. 01-12, 2020.

KOWALSKI, Rodolfo Luis. **Volume de água sobe em Curitiba, mas Sanepar alerta para nova estiagem com o efeito 'La Niña'**. Disponível em: <<https://www.bemparana.com.br/noticia/volume-de-agua-aumenta-em-curitiba-mas-nao-o-suficiente-para-acabar-com-a-crise-hidrica#.YErA7GhKjIV>>. Acesso em: jun. 2022

KRUEGER, C. P., **Posicionamento por satélites**. Apostila do Curso de Especialização em Geotecnologias – Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

KRUEGER, C. P; HUINCA, M. C. S.; DIULIANA, L.; VISKI, R. A.; **Inovações Tecnológicas Do Laboratório De Geodesia Espacial E Hidrografia (Lageh)** In: IV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 4., 2012, Recife. Anais [...] . Presidente Prudente: Issn, 2012. p. 001-008.

LIN, Y.; HUANG, C.; CHEN, S.; DOONG, D.; KAO, C. C.; **Development of a GNSS Buoy for Monitoring Water Surface Elevations in Estuaries and Coastal Areas. Sensors**. Basel, v.17, n.01: 172-191, jan 2017.

MARCELINO, E. V. **DESASTRES NATURAIS e Conceitos Básicos**. Inpe-Crs, p. 37, 2008.

MARINHA DO BRASIL, 2022 – **CARTAS RASTER**. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-segnav/cartas-raster>. Acesso em: 14 set. 2022

MARINHA DO BRASIL - CENTRO DE HIDROGRAFIA DA MARINHA; **Plano Nacional De Trabalho - Programa Nacional De Boias (Pnboia)**. 2013-2017.

MARINHA DO BRASIL, 2017 – **NORMAM-25/DHN - NORMAS DA ATURORIDADE MATÍRIMA PARA LEVANTAMENTOS HIDROGRÁFICOS 2ª Revisão, 2017**.

Disponível em:

<https://www.marinha.mil.br/dhn/sites/www.marinha.mil.br.dhn/files/normam/NORMAN-25-REV2-MOD1.pdf> Acesso em: 14 set. 2022

MILTON ARANA, J. **O USO DO GPS NA DETERMINAÇÃO DE ALTITUDES ORTOMÉTRICAS.**

MONZÓN-ARGÜELLO, C.; LÓPEZ-JURADO, L. F.; RICO, C.; MARCO, A.; LÓPEZ, P.; HARYS, C. G.; LEE, P. L. M.; **Evidence from genetic and Lagrangian drifter data for transatlantic transport of small juvenile green turtles.** *Journal Of Biogeography*, v.37, n.09, p. 1752-1766, Blackwell, 2007.

H.-P. PLAG & M. PEARLMAN (EDS.), 2009. **Global Geodetic Observing System: Meeting the requirements of a Global Society on a changing planet in 2020.** Springer, pp. XIII-XIV.

Química — Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola, Edição Especial - Maio 2001 - Marco Tadeu Grassi - PubliSBQ, A.P., ISSN 2175-2699, 2001.

ROßBACH, Udo. **Positioning and Navigation Using the Russian Satellite System GLONASS.** 167 f. Tese (Doutorado) - Curso de Faculdade de Engenharia Civil e Topografia, Universidade das Forças Armadas Federais de Munique, Munique, 2000.

RODRÍGUEZ-PÉREZ, R. J.; ÁLVARES, M. F.; SANZ-ABLANEDO, E.; **Assessment of Low-Cost GPS Receiver Accuracy and Precision in Forest Environments.** *Journal Of Surveying Engineering*, v.133, n.05, p. 159-167, nov-2007.

ROMERO-ANDRADE, R.; ZAMORA-MACIEL, A.; URIARTE-ADRIÁN, J. J. de.; PIVOT, F.; TREJO-SOTO, M. E.; **Comparative analysis of precise point positioning processing technique with GPS low-cost in different technologies with academic software.** *Journal Elsevier*, v.136, n.08, p. 337-344, dez-2018.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Application.** 1ª ed. Berlin – New York, 2003.

SOARES, Wilson. 2022. **DISPOSITIVO MECÂNICO IMPRESSO EM 3D PARA VERTICALIZAÇÃO DO EIXO DA ANTENA DO RECEPTOR GEODÉSICO.** Confeccionado para os propósitos deste projeto. UFPR, LAGEH.

SUARA, K.; WANG, C.; FENG, Y.; et al. **High-resolution GNSS-tracked drifter for studying surface dispersion in shallow water.** *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, v. 32, n. 3, p. 579–590, 2015. American Meteorological Society.

TÁBUA DE MARES, 2022. Disponível em <https://tabuademares.com/mares/previsao-mares>. Acesso em 12 set. 2022

TEUNISSEN, P. J. G; MONTENBRUCK. **Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems.** Edição 01. Cham, Suécia. Springer International Publishing AG. mai-2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ (UFPR). Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia. **Programa de Pós-Graduação em Engenharia de**

Recursos d'água e Ambiental. Curitiba, 2021. Disponível em:
<http://www.prppg.ufpr.br/ppgerha/infraestrutura/lageh/>. Acesso em: 14 jun. 2022

VISKI, A. R. **Análise Da Atenuação Do Efeito Multicaminho No Posicionamento Gps De Plataformas Lagrangeanas E Eulerianas Em Massas De Água.** 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

VISKI, A. R. **Desenvolvimento De Um Sistema De Monitoramento De Massas De Água Por Meio De Plataformas Eulerianas E Sensores De Baixo Custo Aplicados Na Prevenção De Desastres Naturais.** Tese (Mestrado) - Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

VISKI, A. R.; KRUEGER, C. P.; BLENINGER, T. **Plataformas Euleriana E Lagrangeana Aplicada Ao Monitoramento De Massas De Água.** In: III SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOMÁTICA, 3., 2012, Presidente Prudente. Anais [...] . Presidente Prudente: Issn, 2012. p. 000-000.

XI. R, ZHOU. X, JIANG. W, CHEN. Q. **Simultaneous estimation of dam displacements and reservoir level variation from GPS measurements.** *Measurement*, v. 122, n. 02, p. 247-256, 2018.