

ANÁLISE DE PRECISÃO DE COORDENADAS PLANIMÉTRICAS OBTIDAS POR RECEPTOR GNSS ATRAVÉS DO SISTEMA IMU (INERTIAL MEASUREMENT UNIT)

ACCURACY ANALYSIS OF PLANIMETRIC COORDINATES OBTAINED BY GNSS RECEIVER THROUGH THE IMU SYSTEM (INERTIAL MEASUREMENT UNIT)

Guilherme Adanael dos Santos¹

Diego De Jesus Queiroz Rosa²

Junio César dos Santos Carmo³

Recebido em: 20.11.2023

Aprovado em: 18.12.2023

Resumo: As tecnologias avançadas desempenham um papel crucial no mapeamento da superfície terrestre e nos sistemas de navegação por satélite, como o GNSS (Global Navigation Satellite System). O princípio básico do GNSS é calcular as distâncias entre o satélite e o receptor, transmitidas por ondas eletromagnéticas. Esses dados, chamados de distância estimada, permitem calcular as coordenadas do receptor. No entanto, essas ondas podem sofrer interferências, como erro de relógio, refração atmosférica e multicaminhamento, que podem afetar a precisão da captura. Esses erros precisam ser corrigidos para obter coordenadas precisas. Portanto, a distância entre os satélites e os receptores GNSS é fundamental para o cálculo das coordenadas, mas está sujeita a erros que precisam ser ajustados para obter informações precisas.

¹ Discente da Faculdade de Engenharia de Minas Gerais (Feamig)

² Revisor. Mestre em Processos Construtivos na Área de Concentração de Materiais de Construção Civil pela Universidade FUMEC, Graduado em Engenharia Civil pela Universidade FUMEC.

³ Revisor. Mestre em Engenharia e Gestão de Processos e Sistemas pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC - MG), com cursos isolados no programa de pós-graduação stricto sensu em Cartografia e Modelagem Ambiental pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Pós-graduado em MBA em Gestão de Pessoas pela Faculdade Pitágoras em 2018. Graduado em Engenharia de Agrimensura pela Faculdade de Engenharia de Minas Gerais (FEAMIG) em 2015.

Palavras-chave: multicaminhamento; GNSS; satélite; precisão; coordenadas.

Abstract: Advanced technologies play a crucial role in mapping the Earth's surface and in satellite navigation systems, such as GNSS (Global Navigation Satellite System). The basic principle of GNSS is to calculate the distances between the satellite and the receiver, transmitted by electromagnetic waves. These data, called estimated distance, allow the calculation of the receiver's coordinates. However, these waves can suffer interferences, such as clock error, atmospheric refraction, and multipathing, which can affect the accuracy of the capture. These errors need to be corrected to obtain accurate coordinates. Therefore, the distance between the satellites and the GNSS receivers is fundamental for the calculation of the coordinates, but it is subject to errors that need to be adjusted to obtain accurate information.

Keywords: multipath; GNSS; satellite; precision; coordinates.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Mônico (2008), entender os erros do GNSS (Global Navigation Satellite System) é crucial para a navegação, pois pode afetar a confiabilidade das informações de posicionamento. Interferências podem ocorrer na transmissão e recepção dos sinais GNSS, gerando erros sistemáticos.

Com o avanço da tecnologia, surgem equipamentos que minimizam esses erros, como o sensor IMU acoplado aos receptores GNSS. Este sensor permite a captura de pontos com solução fixa com uma inclinação de até 60°, não necessitando estar 100% nivelado. Isso levanta questões sobre a precisão das coordenadas obtidas por esse método e a confiabilidade dos dados coletados.

O princípio básico do posicionamento por GNSS é o cálculo das distâncias entre o satélite e o receptor, transmitidas por ondas eletromagnéticas.

No entanto, essas ondas podem sofrer interferências, como erro de relógio, refração atmosférica e multicaminhamento, que precisam ser corrigidos para obter coordenadas precisas, portanto, a distância entre os satélites e os receptores GNSS é fundamental para o cálculo das coordenadas, mas está sujeita a erros que precisam ser ajustados para obter informações precisas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo específico

Analisar a precisão das coordenadas obtidas através do sensor IMU presente no receptor GNSS Sanding T5, em relação de diferentes angulações e compará-las com o modo convencional de capturas de pontos no modo N-Trip.

2.2 Objetivo geral

Analisar e discutir a acurácia do sensor IMU presente receptor GNSS SANDING T5.

3 SISTEMA IMU

A Unidade de Navegação Inercial (IMU) é um aparelho altamente sensível que se divide em três partes principais: um giroscópio que funciona como sensor de rotação, um acelerômetro que atua como sensor de movimento e um computador que calcula o movimento.

O giroscópio e o acelerômetro monitoram constantemente a posição, velocidade e atitude, com os cálculos sendo realizados em um quadro de referência específico. O computador realiza o condicionamento do sinal e a compensação de temperatura, transformando os dados do acelerômetro e do giroscópio em velocidades e taxas angulares, que são transmitidas através de uma interface serial de computador numa taxa de 100HZ a 1000HZ. (CAHYADI; RWABUDANDI, 2019).

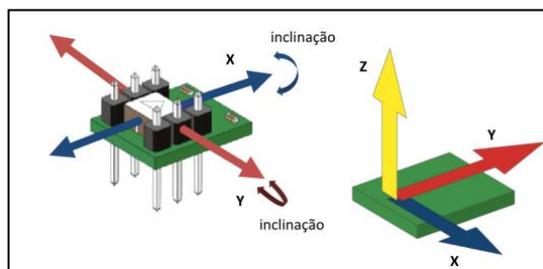
3.1 Giroscópio e acelerômetro

A função primordial do giroscópio em uma Unidade de Medição Inercial (IMU) é medir a velocidade angular nos eixos x, y e z, baseando-se no princípio da conservação do momento angular. Ao girar, o giroscópio detecta mudanças na orientação, convertendo essa taxa de mudança em tensão elétrica para leitura por um microcontrolador (ANJOS, 2018). Essa tecnologia é crucial em diversos contextos, desde dispositivos como smartphones até veículos autônomos, viabilizando sistemas de navegação inercial independentes de sinais externos.

O acelerômetro, outro componente vital da IMU, mede a aceleração linear conforme a segunda lei de Newton ($F = ma$). Modernos acelerômetros, frequentemente baseados em tecnologia micro eletromecânica (MEMS), convertem os movimentos resultantes da aceleração em tensão elétrica para leitura por um microcontrolador (MACEDO, 2021). Esses sensores desempenham papel essencial em determinar a posição e orientação de objetos em movimento, contribuindo para avanços em áreas como veículos autônomos e aeronaves.

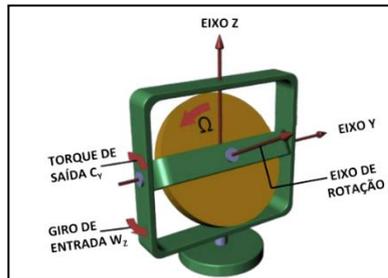
As imagens a seguir mostram exemplos de Acelerômetros e Giroscópio.

Figura 1 - Acelerômetro



Fonte: Kerry Wong

Figura 2 - Giroscópio



Fonte: Passaro

4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo visa analisar a precisão do sensor IMU em comparação com o método tradicional de coleta de dados por GNSS, especificamente o método N-Trip, tanto com quanto sem o compensador angular ativo a 90° . Medidas serão realizadas em diferentes angulações (30° , 45° , 60°) e em pontos cardeais (Norte, Sul, Leste, Oeste) no município de São Sebastião, SP, na rua Cambucaeiro. O objetivo é verificar a acurácia do IMU, analisando erros potenciais ao capturar pontos em diversas direções e ângulos. Um marco foi implantado para mensurações, realizadas nos sentidos mencionados, utilizando um receptor GNSS Sanding T5 com um bastão de 2,5 m. Essa avaliação busca compreender a confiabilidade do sistema IMU para aquisição de coordenadas geográficas.

A imagem a seguir retrata a área a qual foram feitas as mensurações:

Imagem 1 - Localização Área de Interesse

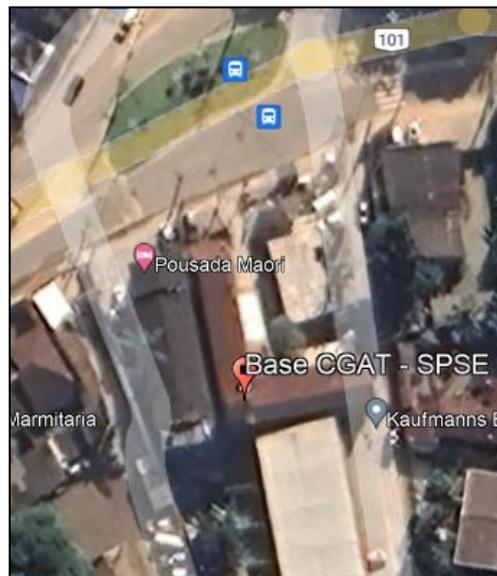


Fonte: Google Earth.

4.1. Localização da base

Para conectar o receptor foi utilizado a base SPSE, que uma base do sistema CGAT localizada em São Sebastião – SP no Centro comercial Gaivota, sendo instalada no escritório de topografia Terra Serviços topográficos.

Figura II :Localização Base CEGAT, Fonte :Google Earth



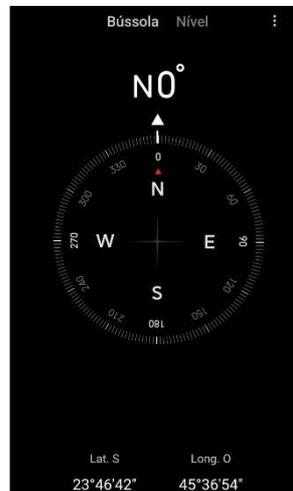
A imagem a seguir mostra os equipamentos utilizados nas mensurações:

Imagem 3 - Receptor GNSS - *Sanding T5*



Fonte: Autor.

Imagem 4 - Bússola



Fonte: Autor

Imagem 5 - Ponto Materializado



Fonte: Autor

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados de campo foram coletados tanto pela manhã quanto à tarde, abrangendo diversas posições do receptor, incluindo a normal, com sensor de inclinação ativado, e nas direções cardeais (Norte, Sul, Leste, Oeste), em ângulos de 30°, 45° e 60°. Utilizando como coordenada base X = 437315,936m, Y = 7370176,288m e Z = 2,076m, levantada na posição convencional nivelada sem o sensor de inclinação desligado, todos os cálculos e análises foram realizados a partir dessa referência. Os resultados dessas medições estão apresentados na tabela de coordenadas, seguindo a metodologia descrita.

A tabela a seguir mostra o resultado dos dados coletados em campo, juntamente com suas medias e os desvios padrão de cada coordenada.

Para a base de cálculo foi usado a discrepância das coordenadas em relação ao ponto na posição normal sem o sensor de inclinação ligado.

Tabela 1 - Dados levantados no dia I no período da manhã.

COORDENADAS UTM - SIRGAS 2000							
Ponto	Descrição	Este (m)	Norte (m)	Z (m)	ΔX	ΔY	ΔZ
1	PSD *	437315,936	7370176,28	2,076	----	----	----
2	PSL **	437315,940	7370176,28	2,072	-0,004	0,001	0,004
3	N - 30°	437315,917	7370176,27	2,101	0,019	0,016	-0,025
4	N - 45°	437315,930	7370176,27	2,093	0,006	0,013	-0,017
5	N - 60°	437315,908	7370176,28	2,080	0,028	0,001	-0,004
6	S - 30°	437315,948	7370176,29	2,075	-0,012	-0,008	0,001
7	S - 45°	437315,962	7370176,31	2,112	-0,026	-0,025	-0,036
8	S - 60°	437315,913	7370176,35	2,174	0,023	-0,066	-0,098
9	W - 30°	437315,952	7370176,26	2,098	-0,016	0,026	-0,022
10	W - 45°	437315,939	7370176,27	2,098	-0,003	0,018	-0,022
11	W - 60°	437315,952	7370176,23	2,123	-0,016	0,053	-0,047
12	E - 30°	437315,917	7370176,32	2,098	0,019	-0,039	-0,022
13	E - 45°	437315,880	7370176,38	2,054	0,056	-0,098	0,022

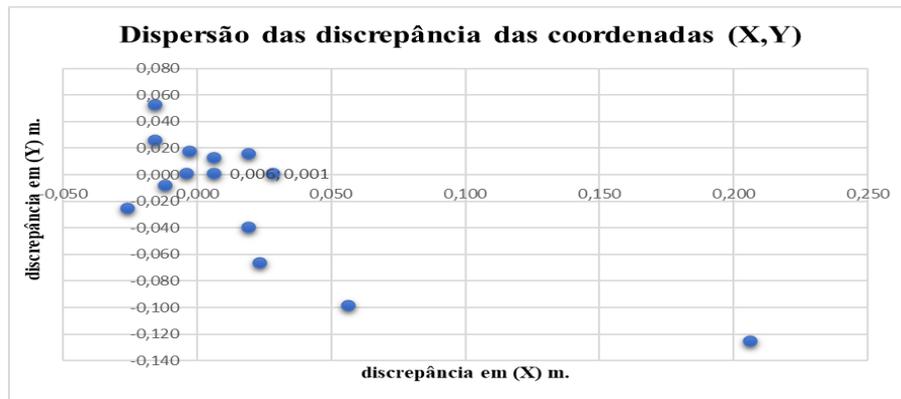
14	E - 60°	437315,730	7370176,41	2,099	0,206	-0,125	-0,023
			3				
	MÉDIA	----	----	----	0,006	0,001	-0,022
	σ ***	----	----	----	0,057	0,050	0,028

* Coordenada obtida com sensor de inclinação desligado.

** Coordenada obtida com sensor de inclinação Ligado.

*** O desvio padrão e as medias foram calculadas através da discrepância dos dados em relação a coordenadas em relação a posição normal do receptor GNSS.

Figura 3 - Dispersão das discrepâncias das coordenadas do primeiro rastreo.



Fonte: Autoral.

Tabela 2 - Dados levantados no dia I no período da Tarde

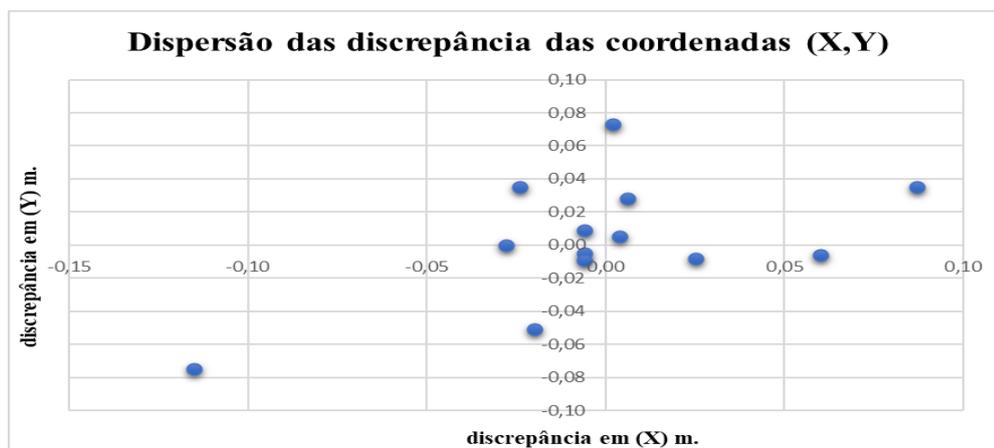
COORDENADAS UTM - SIRGAS 2000							
Ponto	Descrição	Este (m)	Norte (m)	Z (m)	ΔX	ΔY	ΔZ
1	PSD *	437315,93	7370176,31	2,08	----	----	----
2	PSL **	437315,95	7370176,36	2,10	-0,02	-0,05	-0,01
3	N - 30°	437315,93	7370176,31	2,11	-0,01	0,00	-0,03
4	N - 45°	437315,96	7370176,31	2,10	-0,03	0,00	-0,01
5	N - 60°	437315,93	7370176,24	1,94	0,00	0,07	0,14
6	S - 30°	437315,92	7370176,30	2,07	0,00	0,00	0,02
7	S - 45°	437315,92	7370176,28	2,12	0,01	0,03	-0,03
8	S - 60°	437315,87	7370176,31	2,17	0,06	-0,01	-0,09
9	W - 30°	437315,95	7370176,27	2,06	-0,02	0,04	0,02
10	W - 45°	437315,93	7370176,30	2,07	-0,01	0,01	0,02
11	W - 60°	437316,04	7370176,38	1,96	-0,11	-0,08	0,12
12	E - 30°	437315,93	7370176,32	2,09	-0,01	-0,01	-0,01
13	E - 45°	437315,90	7370176,32	2,14	0,03	-0,01	-0,05
14	E - 60°	437315,84	7370176,27	1,93	0,09	0,04	0,15
	MÉDIA	----	----	----	-0,01	0,00	-0,01
	σ ***	----	----	----	0,045	0,036	0,072

* Coordenada obtida com sensor de inclinação desligado.

** Coordenada obtida com sensor de inclinação Ligado.

*** O desvio padrão e as medias foram calculadas através da discrepância dos dados em relação a coordenadas em relação a posição normal do receptor GNSS.

Figura 4 - Dispersão das discrepâncias das coordenadas do segundo rastreo



Fonte: Autoral.

As tabelas apresentadas mostram os dados coletados no período da manhã e da tarde do dia I. As coordenadas UTM (SIRGAS 2000) foram coletadas em diferentes condições e direções. Aqui estão algumas observações:

Período da Manhã:

O ponto PSD* serviu como referência, com coordenadas Este = 437315,936 m, Norte = 7370176,288 m, e Z = 2,076 m.

Para os pontos coletados em diferentes ângulos na direção Norte (N - 30°, N - 45°, N - 60°), observa-se que as variações nas coordenadas Este e Norte aumentam com o aumento do ângulo. A variação na coordenada Z também aumenta, mas de forma negativa.

Para os pontos coletados em diferentes ângulos na direção Sul (S - 30°, S - 45°, S - 60°), as variações nas coordenadas Este e Norte diminuem com o aumento do ângulo. A variação na coordenada Z também aumenta, mas de forma negativa.

Para os pontos coletados em diferentes ângulos na direção Oeste (W - 30°, W - 45°), as variações nas coordenadas Este e Norte são negativas e positivas, respectivamente. A variação na coordenada Z é a mesma para ambos os pontos.

Período da Tarde:

O ponto PSD* serviu como referência, com coordenadas Este = 437315,93 m, Norte = 7370176,31 m, e Z = 2,08 m.

Para os pontos coletados em diferentes ângulos na direção Norte (N - 30°, N - 45°, N - 60°), observa-se que as variações nas coordenadas Este e Norte diminuem com o aumento do ângulo. A variação na coordenada Z aumenta de forma negativa.

Para os pontos coletados em diferentes ângulos na direção Sul (S - 30°, S - 45°, S - 60°), as variações nas coordenadas Este e Norte aumentam com o aumento do ângulo. A variação na coordenada Z também aumenta, mas de forma negativa.

Para os pontos coletados em diferentes ângulos na direção Oeste (W - 30°, W - 45°, W - 60°) e Leste (E - 30°, E - 45°, E - 60°), as variações nas coordenadas Este e Norte são mistas. As variações na coordenada Z são também mistas.

Os desvios padrão (σ) para as variações são maiores no período da tarde em comparação com o período da manhã. Isso indica que os dados coletados no período da tarde estão mais dispersos em relação à média.

Com base nesses dados, pode-se inferir que o ângulo, a direção e o horário do dia têm um impacto significativo na precisão das coordenadas obtidas pelo sensor IMU. No entanto, seria útil ter mais dados para confirmar essas observações. Além disso, a precisão do sensor IMU pode variar dependendo de outros fatores, como o ambiente e as condições atmosféricas, que não foram considerados neste estudo. Portanto, mais pesquisas são necessárias para entender completamente o impacto de diferentes fatores na precisão das coordenadas obtidas com o sensor IMU. Isso poderia incluir a realização de estudos em diferentes locais e condições, bem como a investigação de outras fontes potenciais de erro.

Tabela 3 - Resultados da média das coordenadas manhã e tarde

COORDENADAS UTM - SIRGAS 2000							
Ponto	Descrição	Este (m)	Norte (m)	Z (m)	ΔX	ΔY	ΔZ
1	DI - M	437315,933	7370176,288	2,098	0,003	0,001	-0,022
2	DI - T	437315,931	7370176,308	2,087	0,005	-0,020	-0,011
	σ ***	----	----	----	0,001	0,010	0,006

Figura 5 - Dispersão das discrepâncias da média das coordenadas



Fonte: Autoral.

A tabela apresentada mostra as médias das coordenadas UTM (SIRGAS 2000) coletadas durante os períodos da manhã e da tarde. As coordenadas são dadas em metros para as direções leste (Este), norte (Norte) e vertical (Z). Além disso, a tabela fornece as variações dessas coordenadas (ΔX , ΔY , ΔZ).

Para o ponto “DI - M”, as coordenadas médias são:

Este: 437315,933 m

Norte: 7370176,288 m

Z: 2,098 m as variações para este ponto são $\Delta X = 0,003$ m, $\Delta Y = 0,001$ m e $\Delta Z = -0,022$ m.

Para o ponto “DI - T”, as coordenadas médias são:

Este: 437315,931 m

Norte: 7370176,308 m

Z: 2,087 m as variações para este ponto são $\Delta X = 0,005$ m, $\Delta Y = -0,020$ m e $\Delta Z = -0,011$ m.

Os desvios padrão (σ) para as variações são $\sigma\Delta X = 0,001$ m, $\sigma\Delta Y = 0,010$ m e $\sigma\Delta Z = 0,006$ m. Estes valores representam a dispersão dos dados em relação à média. Valores menores indicam que os dados estão mais próximos da média.

Com base nesses dados, pode-se inferir que o sensor IMU pode melhorar a precisão das medições GNSS em certas condições, mantendo os erros dentro dos limites aceitáveis. No entanto, outros fatores, como o horário do dia e a posição do receptor, podem influenciar a precisão.

Portanto, mais pesquisas são necessárias para entender completamente o impacto de diferentes fatores na precisão das coordenadas obtidas com o sensor IMU. Isso poderia incluir a realização de estudos em diferentes locais e condições, bem como a investigação de outras fontes potenciais de erro.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Com base na análise das tabelas e no texto do estudo, pode-se concluir que o sensor IMU no receptor GNSS SANDING T5 tem potencial para melhorar a precisão das medições GNSS em certas condições, mantendo os erros dentro dos limites estabelecidos pela ABNT e pelo INCRA. No entanto, a precisão das coordenadas obtidas pelo sensor IMU pode ser influenciada por vários fatores, incluindo o ângulo, a direção e o horário do dia.

Os dados coletados durante os períodos da manhã e da tarde mostram variações nas coordenadas Este, Norte e Z, com desvios padrão indicando a dispersão dos dados em relação à média. Isso sugere que, embora o sensor IMU possa melhorar a precisão das medições GNSS, ainda existem variações nos dados que podem ser influenciadas por vários fatores.

Portanto, mais pesquisas são necessárias para entender completamente o impacto de diferentes fatores na precisão das coordenadas obtidas com o sensor IMU. Isso poderia incluir a realização de estudos em diferentes locais e condições, bem como a investigação de outras fontes potenciais de erro. Além disso, seria útil explorar maneiras de minimizar a influência desses fatores na precisão das coordenadas obtidas pelo sensor IMU.

Em resumo, o estudo fornece insights valiosos sobre a acurácia do sensor IMU no receptor GNSS SANDING T5, mas também destaca a necessidade de mais pesquisas para entender completamente o impacto de diferentes fatores na acurácia das coordenadas obtidas com o sensor IMU.

REFERÊNCIAS

ANJOS, Eudisley Gomes dos. Utilização de acelerômetros em uma rede de sensores sem fios de alta qualidade para monitoramento de trens. 2018. 82 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa - Paraíba, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 17047: Levantamento cadastral territorial para registro público. 1. ed. Rio de Janeiro, 2022. 12 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. 2.502: Manual Técnico para o Georreferenciamento de Imóveis Rurais. 2. ed. Brasília, 2022. 63 p.

CAHYADI, Mokhamad Nur; RWABUDANDI, Irene. Integration of GNSS-IMU for increasing the observation accuracy in condensed areas (infrastructure and forest canopies). Simpósio Internacional Sobre Sistema Global de Navegação Por Satélite 2018, Surabaya Indonésia, v. 94, n. 03015, p. 1-4, maio 2019.

MACEDO, Lucas Corrêa. Sistema de coleta e anotação de dados de sensores de dispositivos móveis para aplicações de aprendizado de máquina. 2021. 68 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Eletrônica e de Computação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

MONICO, João Francisco Galera. Posicionamento pelo gnss: descrição, fundamentos e aplicações. 2. ed. São Paulo: Ed UNESP, 2008.