

**ESTUDO COMPARATIVO DE 2 GPSs QUANTO À PRECISÃO, EXATIDÃO E A VALIAÇÃO DA
ROBUSTEZ NA PRESENÇA DE JAMMER****COMPARATIVE STUDY OF 2 GPSs AS TO PRECISION, ACCURACY AND ASSESSMENT OF
ROBUSTNESS IN THE PRESENCE OF JAMMER**

Fransérgio Martins Carvalho^{1, i}
Leandro Poloni Dantas^{2, ii}
Marcones Cleber Brito da Silva^{3, iii}
Luiz Carlos Canno^{4, iv}
Fernando Simplicio de Sousa^{5, v}

Data de submissão: (26/05/2023) Data de aprovação: (24/07/23)

RESUMO

Dentre as tecnologias disponíveis da IoT (Internet das Coisas), o sistema GPS (*Global Positioning System*) é amplamente aplicado em diversas áreas, como agrimensura, robótica e segurança, porém, está sujeito a diversas fontes de erro durante a medição. No entanto, existem poucos estudos disponíveis que visam avaliar o desempenho dos GPSs, os quais dependem de um firmware customizável. Propõe-se a avaliação do funcionamento dos GPSs NEO6M e SIM808 em relação a características como precisão, exatidão e robustez contra interferências intencionais. Os dados de latitude, longitude, VDoP (*Vertical Dilution of Precision*), HDoP (*Horizontal Dilution of Precision*) e PDoP (*Position Dilution of Precision*) serão extraídos utilizando a Raspberry Pi e uma estrutura IoT. Sobre os dados extraídos, serão aplicados conceitos como desvio padrão e incerteza padrão para avaliar a precisão. A exatidão e a robustez serão avaliadas de forma empírica. A metodologia adotada consiste em coletar dados de diferentes lugares usando os GPSs NEO6M e SIM808, calcular os parâmetros de precisão, exatidão e robustez e comparar os resultados obtidos. Serão realizadas medições em diferentes situações e distâncias, além de testes com a presença de jammers intencionais para avaliar a robustez dos dispositivos. Observa-se que na maioria das vezes o NEO6M apresenta maior precisão e exatidão, enquanto o SIM808 demonstra ser mais robusto contra interferências.

Palavras-chave: GPS; NEO6M; SIM808; *Jammer*.

¹ Pós-graduado em Sistemas Embarcados no SENAI Anchieta. E-mail: sergioquantica@hotmail.com.

² Professor Dr. na Faculdade de Tecnologia SENAI São Paulo – Campus “Anchieta”. E-mail: leandro.poloni@sp.senai.br.

³ Professor Me. na Faculdade de Tecnologia SENAI São Paulo – Campus “Anchieta”. E-mail: marcones.silva@sp.senai.br.

⁴ Professor Especialista na Faculdade de Tecnologia SENAI São Paulo – Campus “Anchieta”. E-mail: luis.canno@sp.senai.br.

⁵ Professor Me. na Faculdade de Tecnologia SENAI São Paulo – Campus “Anchieta”. E-mail: fernando.simplicio@sp.senai.br.

ABSTRACT

Among the available IoT (Internet of Things) technologies, the GPS (Global Positioning System) system is widely applied in several areas, such as surveying, robotics and security, however, it is subject to several sources of error during measurement. However, there are few studies available that aim to evaluate the performance of GPSs, which depend on a customizable firmware. It is proposed to evaluate the functioning of the NEO6M and SIM808 GPSs in relation to characteristics such as precision, accuracy and robustness against intentional interference. Latitude, longitude, VDoP (Vertical Dilution of Precision), HDoP (Horizontal Dilution of Precision) and PDoP (Position Dilution of Precision) data will be extracted using the Raspberry Pi and an IoT framework. On the extracted data, concepts such as standard deviation and standard uncertainty will be applied to assess precision. Accuracy and robustness will be evaluated empirically. The adopted methodology consists of collecting data from different places using the NEO6M and SIM808 GPSs, calculating the precision, accuracy and robustness parameters and comparing the obtained results. Measurements will be carried out in different situations and distances, in addition to tests with the presence of intentional jammers to assess the robustness of the devices. It is observed that in most cases the NEO6M presents greater precision and accuracy, while the SIM808 proves to be more robust against interference.

Keywords: GPS; NEO6M; SIM808; Jammer.

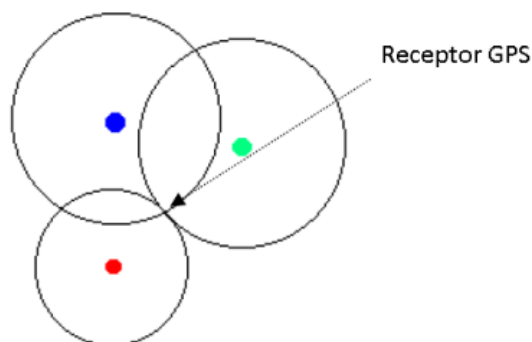
1 INTRODUÇÃO

O NAVSTAR-GPS (Navigation Satellite with Time and Ranging Global Positioning System), popularmente conhecido como GPS, é um sistema global de posicionamento via rádio desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos EUA (DoD). Ele utiliza a técnica de trilateração para determinar a localização de um receptor GPS de forma precisa. Para isso, apenas três satélites são necessários, mas, segundo Sousa (2005), um quarto satélite é utilizado para corrigir possíveis erros de sincronização entre os relógios do satélite e do receptor (Figura 1).

Os relógios dos satélites são atômicos, baseados principalmente no elemento Césio, o que proporciona alta precisão. Por outro lado, o relógio do receptor GPS utiliza um cristal de quartzo de baixo desempenho devido ao seu custo reduzido.

O receptor GPS desempenha um papel crucial ao permitir que os dados sejam acessados pelo usuário. Ele decodifica os sinais recebidos dos satélites e realiza os cálculos necessários para fornecer informações de geoposicionamento ao usuário, incluindo dados planimétricos e altimétricos.

Figura 1 – Trilateração de um receptor GPS.



Fonte: adaptado de Sousa (2005).

Um receptor GPS de navegação é composto por uma antena responsável por converter o sinal eletromagnético dos satélites em corrente elétrica. A maioria dos receptores utiliza antenas de microfita devido ao seu tamanho reduzido, com um ganho que possibilita a recepção de sinais dos satélites em várias posições de elevação e azimute. A antena está conectada a um estágio pré-amplificador, que filtra possíveis interferências não intencionais e amplifica o sinal para processamento. O microprocessador, responsável pelo controle do GPS, desempenha o papel de calcular a velocidade dos satélites, a distância e a geolocalização do receptor. Ele utiliza um oscilador de quartzo como base de tempo para os cálculos de distância e possui memória para armazenar os dados em processamento, como as médias de fase das portadoras e as efemérides dos satélites.

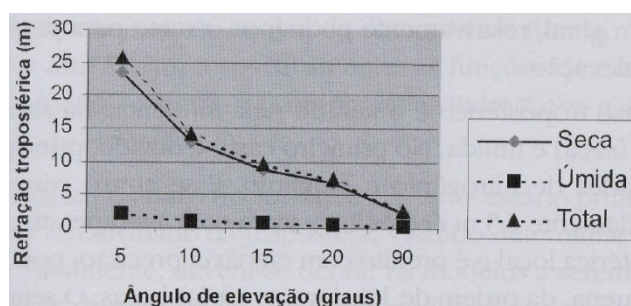
Além disso, os receptores GPS podem possuir uma interface de usuário, como um teclado e um display, para interação direta com o usuário. No entanto, no contexto deste trabalho, há uma porta UART que se comunica com a Raspberry Pi, permitindo a integração dos dados dos receptores GPS a um banco de dados.

A infraestrutura que viabiliza a tecnologia GPS é composta por três segmentos principais: o segmento espacial, que consiste na rede de satélites; o segmento de controle, composto pelas bases de monitoramento distribuídas ao redor do planeta; e o segmento de usuário, que se refere aos receptores que recebem o sinal dos satélites. No entanto, essa infraestrutura apresenta diversas fontes de erro na medição de geolocalização.

Uma das fontes de erro já mencionada é a falta de sincronismo entre os relógios atômicos dos satélites e os relógios dos aparelhos GPS. Por exemplo, uma discrepância de 80 ns pode resultar em um erro posicional de 24 m (SOUZA, 2005). Além disso, ocorrem erros de efemérides, que são discrepâncias entre as informações enviadas pelos satélites e suas posições reais. A geometria formada pela disposição dos satélites também afeta a precisão do geolocalizador. Quanto mais espaçados estiverem os satélites, melhor será a precisão da posição calculada pelo dispositivo. Satélites muito próximos, que podem ser alinhados em uma linha imaginária, resultam em maior imprecisão na medição do posicionamento.

As diferenças nas acelerações gravitacionais e nas velocidades relativas entre os satélites e os receptores causam variações na frequência das ondas portadoras, mas esse erro é compensado pelos relógios dos satélites. A troposfera e a ionosfera da Terra também influenciam na precisão da medição. A ionosfera contém regiões com elétrons que dispersam o sinal de GPS, resultando em distâncias maiores do que as distâncias geométricas. Já a troposfera causa refração do sinal, de modo que quanto menor for o ângulo de elevação do satélite, maior será o erro de posicionamento devido à refração, conforme ilustrado na Figura 2, podendo atingir um erro de até 28 m. Portanto, é recomendado não utilizar o GPS quando o ângulo de elevação estiver abaixo de 5°.

Figura 2 – Erro, em metros, em função do ângulo de elevação do satélite.



Fonte: Adaptado de Sousa (2005).

O fenômeno do multipercurso é uma fonte de erro no sistema GPS, onde a onda eletromagnética proveniente dos satélites pode seguir caminhos diferentes ao ser refletida em prédios, árvores e outros objetos, resultando na soma do sinal direto com o sinal refletido. Isso gera um sinal mais ruidoso, levando a imprecisões no cálculo do posicionamento. Além disso, existem erros inerentes ao próprio receptor, como a imprecisão do relógio, atrasos entre canais de receptores de múltiplos canais e descalibração da antena, que resulta em falta de coincidência entre o centro geométrico da antena e o centro de fase onde os sinais são referenciados.

Outra fonte de interferência são os sinais de TV UHF, VHF, rádio FM e outros, que possuem frequências em suas bandas que coincidem com o sinal do GPS, causando interferências não intencionais. Existem dispositivos chamados "jammers" projetados especificamente para gerar um ruído intenso no receptor do GPS, tornando-o incapaz de demodular corretamente o sinal. Os receptores GPS correlacionam o sinal recebido com uma réplica interna gerada por eles. No entanto, os jammers produzem um sinal que se espalha pela banda do GPS, diminuindo a relação sinal-ruído a ponto de o sinal dos satélites não poder ser recuperado pelos receptores.

A robustez a interferências, precisão e exatidão são atributos essenciais dos dispositivos GPS que requerem estudos, pois podem ser críticos dependendo da aplicação. Alguns estudos avaliaram a exatidão dos receptores GPS em diferentes contextos, como levantamentos de agrimensura, rastreamento de pacientes médicos e localização de veículos. No entanto, nem todos os estudos abordaram a precisão ou a robustez dos dispositivos.

Alguns pesquisadores propuseram técnicas para melhorar a exatidão do GPS, como a seleção de satélites que minimizam os valores de HDoP e VDoP, resultando em uma melhor exatidão do receptor GPS. Além disso, um ângulo de elevação menor dos satélites está associado a valores menores de HDoP e VDoP, o que também melhora a exatidão do receptor. Porém, é importante considerar um ângulo azimutal de 120 graus entre os satélites para que essas técnicas sejam aplicáveis.

$$HDoP = \sqrt{\frac{4}{3}} \cdot \frac{1}{\cos(el)} \quad (1)$$

$$VDoP = \sqrt{\frac{4}{3}} \cdot \frac{1}{1 - \sin(el)} \quad (2)$$

O PDoP é outro parâmetro que representa a soma de HDoP e VDoP, conforme a Equação 3. Esse parâmetro pode ser avaliado predominantemente para avaliar o comportamento de exatidão de medição dos GPSs.

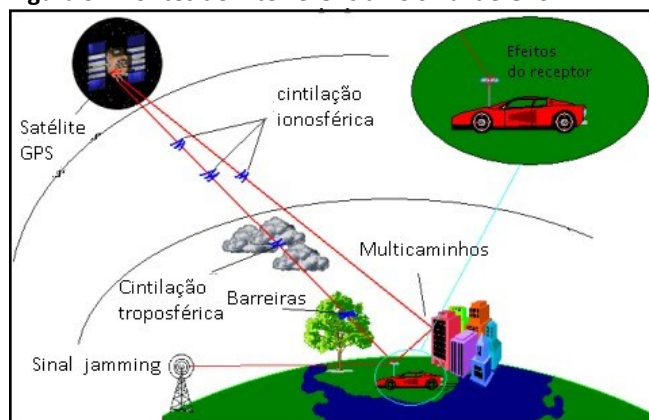
$$PDoP = \sqrt{HDoP^2 + VDoP^2} \quad (3)$$

O sinal do GPS pode sofrer degradação de diversas fontes não intencionais, conforme ilustra a Figura 3, contudo, o que mais introduz erro no sinal são as fontes eletromagnéticas cujas frequência se sobrepõe à banda do GPS: o sinal de *jamming*.

O *jammer* introduz ruído, cuja potência (N_{NOISE}) é proporcional à largura de faixa do demodulador de GPS (B_L) e proporcional à densidade de potência de ruído térmico (N_0) da antena.

$$N_{NOISE} = B_L \cdot N_0 \quad (4)$$

Figura 3 – Fontes de interferência no sinal de GPS.



Fonte: MA et al., (2001).

O ruído de potência (N_{NOISE}) é somado ao ruído térmico (N_0), diminuindo a Relação Sinal

Ruído (SNR) ruído, conforme a Equação 5. Embora SNR mínima não seja fornecida pelos modelos de GPS em estudo, a documentação do GYNEO6M informa uma sensibilidade de -161 dBm, enquanto a do SIM808 informa uma sensibilidade de -130 dBm. A antena do SIM808 é do tipo microfita e a do GYNEO6M não é especificada. Contudo, as antenas de GPS em aplicações geodésicas devem trabalhar com as portadoras L1 e L2. Tanto o SIM808 quanto o GYNEO6MV2 operam com apenas a portadora L1.

$$\frac{S}{N} = \frac{S}{N_0 + N_{\text{NOISE}}} \quad (5)$$

A proposta é avaliar os GPSs SIM808 e NEO6M em tempo real sem nenhuma técnica de pós-processamento, que aumenta a exatidão da medição significativamente, conforme feito em Monico (2000) e por Oliveira et al. (2019).

Este artigo avalia o funcionamento dos GPSs NEO6M e SIM808 em relação a características como precisão, exatidão e robustez contra interferências intencionais. Os dados de latitude, longitude, VDoP, HDoP e PDoP serão extraídos utilizando a Raspberry Pi e uma estrutura IoT. Sobre os dados extraídos, serão aplicados conceitos como desvio padrão e incerteza padrão para avaliar a precisão. A exatidão e a robustez serão avaliadas de forma empírica.

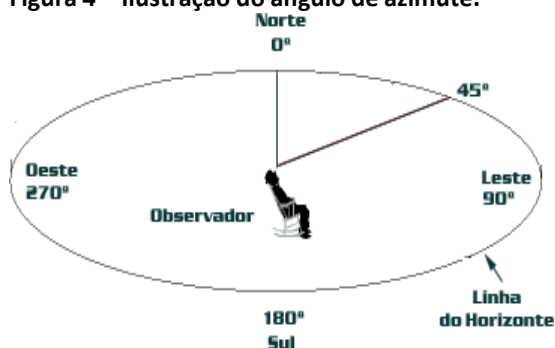
A metodologia adotada consiste em coletar dados de diferentes lugares usando os GPSs NEO6M e SIM808, calcular os parâmetros de precisão, exatidão e robustez e comparar os resultados obtidos. Serão realizadas medições em diferentes situações e distâncias, além de testes com a presença de jammers intencionais para avaliar a robustez dos dispositivos.

2 METODOLOGIA

A determinação da localização de qualquer objeto no espaço, incluindo os satélites, utiliza as coordenadas altas zimutais. As coordenadas altas zimutais consistem em dois componentes principais: o ângulo de elevação e o ângulo azimutal. O ângulo azimutal representa o deslocamento angular no sentido horário a partir do norte geográfico até um determinado ponto no horizonte.

Na Figura 4, é ilustrado um exemplo em que o satélite é representado por um ângulo de azimute de 45° em relação à linha do horizonte, quando observado de um determinado ponto de vista. O ângulo azimutal varia de 0° a 360°, abrangendo todo o círculo completo em torno do observador. Essas coordenadas altazimutais são utilizadas como referência para localizar e rastrear objetos no espaço, permitindo determinar sua posição relativa a um observador em termos de ângulo de elevação e ângulo azimutal.

Figura 4 – Ilustração do ângulo de azimute.



Fonte: https://www.apolo11.com/az_el.php (2023).

O ângulo de elevação compreende a altura do objeto em relação à linha do horizonte do observador. Varia de 0° a 90°, onde é chamado de ângulo de zênite, conforme ilustra a Figura 5.

Figura 5 – Ilustração do ângulo de elevação.



Fonte: https://www.apolo11.com/az_el.php (2023).

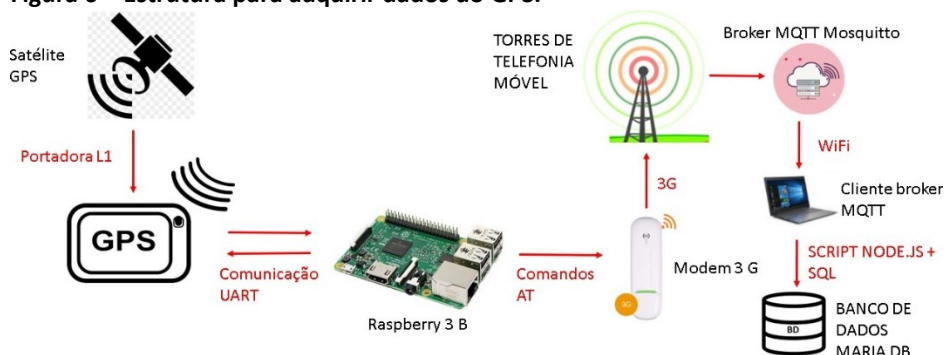
Foi configurado um sistema utilizando uma Raspberry Pi, versão 3, com o objetivo de avaliar o desempenho dos módulos GPS SIM808 e GYNEO6MV2 em um ambiente urbano na cidade de São José dos Campos, em São Paulo, Brasil. O *firmware* utilizado no sistema foi desenvolvido em Python e pode ser selecionado por meio de uma chave seletora, permitindo a alternância entre os dois módulos em momentos distintos.

A Raspberry Pi utiliza a tecnologia GSM para transmitir os dados dos módulos GPS para um broker MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*). Esses dados são então recebidos por um cliente MQTT, executado por um script dedicado, que tem a função de armazenar os dados em um banco de dados MariaDB.

O sistema completo é ilustrado na Figura 6, apresentando a interação entre a Raspberry Pi, os módulos GPS, o broker MQTT e o banco de dados MariaDB. Essa arquitetura permite a coleta e o armazenamento dos dados dos GPS de forma eficiente e organizada para posterior análise e avaliação do seu desempenho.

Os módulos GSM e os módulos GPSs são alimentados por uma bateria Lipo de 1100 mAh e 7,4 V, enquanto a Raspberry Pi é alimentada por uma fonte reguladora de tensão de 5 V e 3 A. Essa configuração de alimentação permite que a Raspberry Pi seja inicializada com os GPSs conectados e ainda possibilita a conexão da Raspberry Pi com a rede GSM por aproximadamente 2 horas.

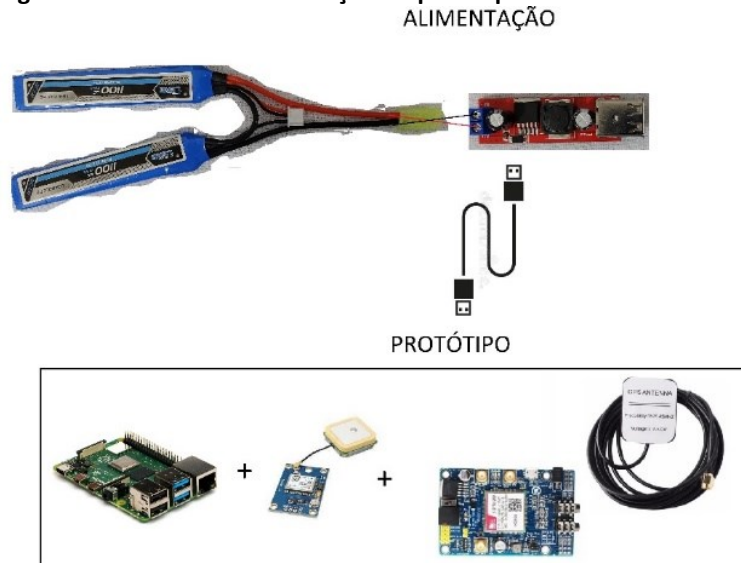
Figura 6 – Estrutura para adquirir dados do GPS.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O sistema de alimentação é ilustrado na Figura 7. O módulo NEO6M é alimentado diretamente pelo pino de 5 V da Raspberry Pi, enquanto o módulo SIM808 requer um regulador LM7805 para fornecer uma tensão de 5 V compatível com a Raspberry Pi, permitindo seu funcionamento adequado. Essa configuração de alimentação com a bateria e o regulador adequados garante energia suficiente para o funcionamento estável dos módulos GSM e GPS, juntamente com a Raspberry Pi, proporcionando uma operação contínua por um período de aproximadamente 2 horas.

Figura 7 – Sistema de alimentação do protótipo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O *firmware* embarcado na Raspberry Pi permite selecionar qual tipo de GPS a Raspberry Pi deve se comunicar, seja o SIM808 ou o NEO6M. A comunicação é estabelecida por meio da porta UART (*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*), utilizando a biblioteca 'serial' da linguagem Python. Essa biblioteca oferece recursos para ler os dados seriais dos dois módulos GPS, bem como enviar comandos. É possível ajustar o baud rate da comunicação, definir um timeout caso haja atraso excessivo na resposta do dispositivo GPS e especificar o caminho absoluto do arquivo utilizado para a troca de dados com o sensor no sistema Linux.

Além disso, a biblioteca 'paho.mqtt.client' é utilizada para permitir que a Raspberry Pi envie os dados lidos e processados para o broker MQTT. Essa biblioteca possibilita a definição da porta, o tempo de keepalive, o broker a ser utilizado e o tópico para publicar e assinar esses dados. A biblioteca 'RPi.GPIO' também é empregada para manipular as entradas e saídas digitais da Raspberry Pi, o que será útil para automatizar tarefas no sistema.

No caso do GPS NEO6M, o *script* lê os dados que são escritos pelo sensor no arquivo indicado. Utiliza-se a biblioteca 'pynmea2', que permite organizar os dados lidos em uma classe por meio de um parse, permitindo acessar apenas os valores de interesse por meio dos campos da classe. Já para o SIM808, é necessário enviar comandos AT e ler as respostas do módulo GSM. A Tabela 1 contém os comandos AT utilizados no código fonte para interagir com o SIM808.

Tabela 1 – Comandos usados do SIM808.

COMANDO AT	FUNÇÃO
AT	Configura o <i>baudrate</i> do SIM808
AT+CGNSPWR	Liga o módulo GPS do SIM808
AT+CGNSINF	Solicita dados de geolocalização do SIM808

Fonte: Elaborado pelo autor.

O *script* que é executado como serviço via `systemctl` interrompe a comunicação com o GPS não selecionado, com base no nível lógico do pino da Raspberry Pi. Isso torna os testes mais práticos em campo. Quando os GPSs recebem os sinais dos satélites e fornecem os dados para a Raspberry Pi, um LED é aceso brevemente para indicar o envio de um conjunto de dados ao broker MQTT. Essa sinalização permite que o operador conte o número de pacotes de dados enviados. O diagrama em bloco do *script* é ilustrado no fluxograma apresentado na Figura 8.

Os dados de precisão, exatidão e desempenho que serão extraídos de cada um dos GPSs estão listados na Tabela 2. Esses dados serão coletados e armazenados em um banco de dados para análise posterior.

Tabela 2 – Dados de GPS armazenados em banco de dados.

Nome do GPS
Latitude
Longitude
HDoP
VDoP
PDOP

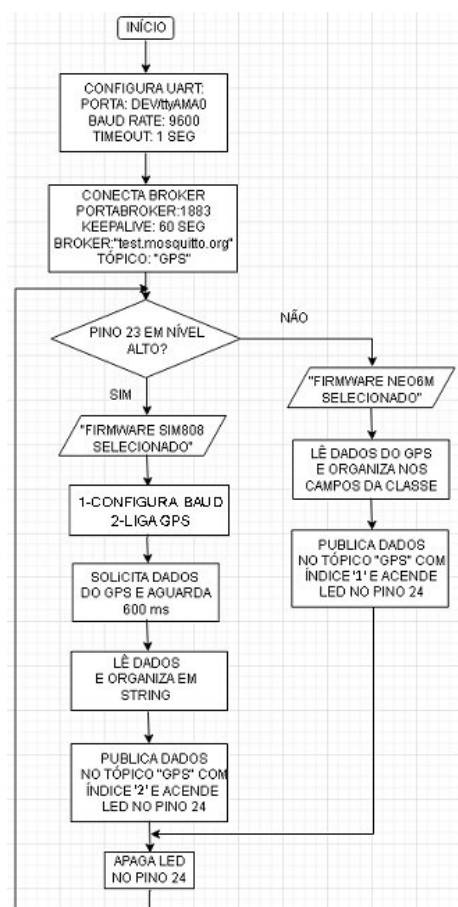
Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados coletados foram organizados com as seguintes informações: latitude, que representa a distância em graus de um ponto na superfície terrestre em relação à linha do equador; longitude, que indica a distância de um ponto em relação ao meridiano de Greenwich; HDoP, que indica a perda de exatidão na localização horizontal fornecida pelo GPS; VDoP que indica a perda de exatidão na localização vertical fornecida pelo GPS; e PDOP, que indica a perda total de exatidão na posição fornecida pelo GPS. As informações de geoposicionamento são baseadas no sistema de referência WGS84, conforme especificações da UBLOX (2013) para o NEO6M e da SIMCOM (2014) para o SIM808. O sistema de referência WGS84 é amplamente utilizado e estabelece um padrão consistente para representar coordenadas geográficas em todo o mundo.

Para calcular a média dos valores de latitude ou longitude de um espaço amostral de N amostras, aplica-se a Equação 6.

$$u = \frac{1}{N} \cdot \sum_{n=1}^N x_n \quad (6)$$

Figura 8 – Fluxograma do código fonte.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em seguida, pode-se calcular o desvio padrão dos valores de latitude ou longitude (Equação 7), considerando um espaço amostral de N amostras.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_{n=1}^N (x_n - u)^2} \quad (7)$$

A incerteza do tipo A, estatística, que influencia na precisão, depende do número de amostras do sistema e é calculada pela Equação 8.

$$\sigma_A = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad (8)$$

A incerteza sistemática do tipo B é estimada a partir do limite do erro (L) e é calculada pela Equação 9. A Equação 10 calcula a incerteza padrão. A incerteza padrão será usada como parâmetro para se conhecer a precisão dos GPSs em cada conjunto de medições, uma vez que contém o desvio padrão, calculado com a Equação 7 e seu valor será inserido em curvas de distribuição Gaussiana.

$$\sigma_B = \frac{L}{2} \quad (9)$$

$$\sigma_P = \sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_B^2} \quad (10)$$

Os valores de incerteza padrão para latitude e longitude de cada GPS serão considerados como erros aplicados às médias de latitude e longitude de cada local, tanto para cima quanto para baixo. Para converter esses erros de latitude e longitude em imprecisões em centímetros, será utilizado o recurso "geodetic2ned" do MATLAB. Essa função leva em consideração também a altitude, que foi obtida do Google Earth, para cada local de teste.

Ao modelar o globo terrestre como uma esferoide, a função "geodetic2ned" retorna o erro máximo da medição em centímetros.

O limite de erro (L) varia para cada GPS, conforme indicado na Tabela 4. É importante ressaltar que um limite de erro maior para o SIM808 implica em menor exatidão na medição da geolocalização obtida por esse sensor.

Tabela 4 – Limites de erro por variáveis dos GPSs.

Limite de erro	SIM808	NEO6M
L de Latitude	0,000001	0,000000001
L de Longitude	0,000001	0,000000001

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os melhores resultados em termos de exatidão na medição da geolocalização são alcançados por meio do pós-processamento dos dados. Embora exista um serviço gratuito de pós-processamento chamado IBGE-PPP (IBGE-Posicionamento por Ponto Preciso), utilizado por

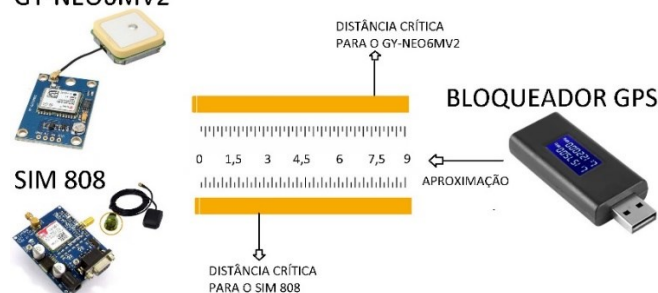
Oliveira et al. (2019), esse serviço requer arquivos de observação no formato RINEX ou HATANAKA, bem como informações sobre órbitas e correções dos relógios dos satélites, desvios e variações dos centros de fases das antenas dos satélites e receptores, entre outras informações que não estão disponíveis nos GPSs em estudo. Portanto, não foi possível utilizar um sistema de geolocalização de alta precisão como referência. Em vez disso, será utilizada a localização aproximada obtida via Google Earth para estimar a distância entre os locais exatos e os indicados pelos GPSs. No entanto, essa estimativa só é possível em locais abertos, onde é possível destacar a localização aproximada da medição.

A última metodologia do estudo consiste em verificar a qualidade do sinal dos GPSs à medida que um bloqueador intencional é aproximado, determinando a distância crítica abaixo da qual o sinal recebido pelo GPS é totalmente perdido (conforme ilustrado na Figura 9). Para esse propósito, é utilizada uma fita métrica de 9 metros, e o bloqueador é aproximado em incrementos de 1,5 m, até que seja determinada a distância crítica na qual o sinal do GPS é completamente corrompido.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 10, é apresentada a distribuição Gaussiana da latitude e longitude para o local 1, com base em dez amostras. A média da latitude para o NEO6M é de $-23,2223070995^\circ$, enquanto para o SIM808 é de $-23,2223519^\circ$. Observa-se que a diferença entre os dois valores médios de latitude calculados está na quinta casa decimal.

Figura 9 – Teste dos GPS sob sinal jammer intencional.
GY-NEO6MV2

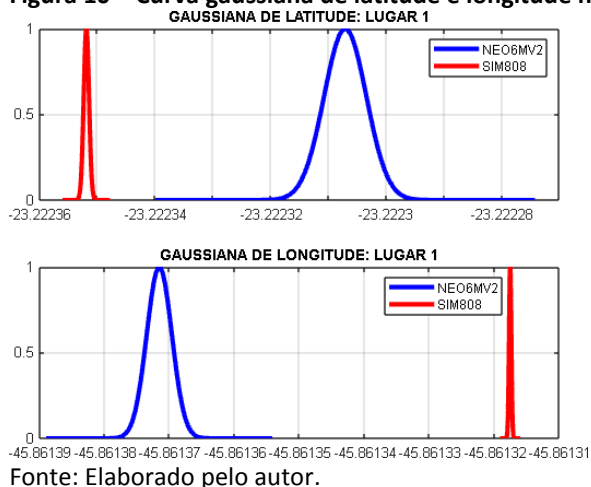


Fonte: Elaborado pelo autor.

Os desvios padrão calculados para a latitude são de $0,0000036521^\circ$ para o NEO6M e de $0,0000004568^\circ$ para o SIM808. Nota-se que o desvio padrão calculado para a latitude do NEO6M é aproximadamente uma casa decimal maior do que o do SIM808.

Em relação à longitude, a média para o NEO6M é de $-45,8613715833^\circ$, enquanto para o SIM808 é de $-45,8613176^\circ$. Mais uma vez, a diferença entre os dois valores médios de longitude calculados está na quinta casa decimal. Os desvios padrão calculados para a longitude são de $0,0000019324^\circ$ para o NEO6M e de $0,0000001721^\circ$ para o SIM808. Similarmente à latitude, o desvio padrão calculado para a longitude do NEO6M é aproximadamente uma casa decimal maior em relação ao SIM808.

Figura 10 – Curva gaussiana de latitude e longitude no lugar 1.



A Tabela 5 apresenta a incerteza padrão em centímetros dos GPSs NEO6M e SIM808 para o local 1 em diferentes situações. Cada situação exibe a incerteza de medição dos GPSs em relação ao valor médio, levando em consideração a incerteza padrão para latitude e longitude, tanto para valores superiores quanto inferiores.

Observa-se que, para o local 1, a imprecisão do NEO6M é aproximadamente 14 cm, enquanto a do SIM808 é de aproximadamente 7 cm, ou seja, o dobro do valor. As amostras do sensor NEO6M apresentam um PDOP menor em comparação com o SIM808, mas o desvio padrão dos valores medidos é maior. Isso indica que, embora o NEO6M possa ter uma precisão relativa menor, sua variabilidade de medição é maior em comparação com o SIM808.

Tabela 5 – Erro de precisão dos GPSs, em cm, no lugar 1.

Erro de posição	NEO6MV2(cm)	SIM808(cm)
Latitude+erro, Longitude+erro	14,2375	7,728
Latitude-erro, Longitude-erro	14,2375	7,728
Latitude+erro, Longitude-erro	14,2375	7,728
Latitude+erro, Longitude+erro	14,2375	7,728

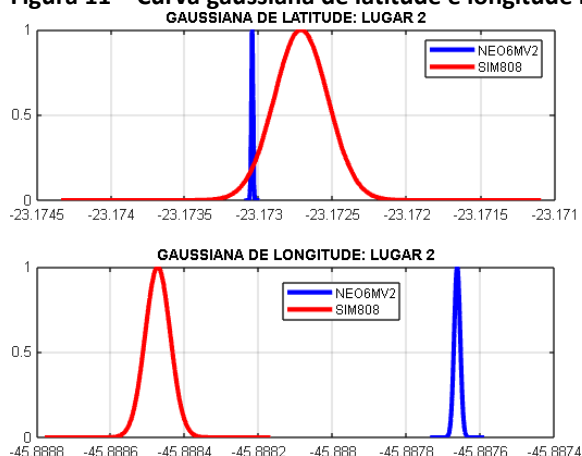
Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 11, é apresentada a distribuição gaussiana da latitude e longitude para o local 2, com base em dez amostras. A média da latitude para o NEO6M é de $-23,1730461328^\circ$, enquanto para o SIM808 é de $-23,1727159^\circ$. Observa-se que a diferença entre os dois valores médios de latitude calculados está na terceira casa decimal. Os desvios padrão calculados para a latitude são de $0,0000058386^\circ$ para o NEO6M e de $0,0001804131^\circ$ para o SIM808. Nota-se que o desvio padrão calculado para a latitude do SIM808 é aproximadamente trinta vezes maior em relação ao NEO6M.

Em relação à longitude, a média para o NEO6M é de $-45,8876642167^\circ$, enquanto para o

SIM808 é de $-45,888474^\circ$. Mais uma vez, a diferença entre os dois valores médios de longitude calculados está na terceira casa decimal. Os desvios padrão calculados para a longitude são de $0,0000081223^\circ$ para o NEO6M e de $0,0000338996^\circ$ para o SIM808. Similarmente à latitude, o desvio padrão calculado para a longitude do SIM808 é aproximadamente quatro vezes maior em relação ao NEO6M.

Figura 11 – Curva gaussiana de latitude e longitude no lugar 2.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 6 apresenta a incerteza padrão em centímetros dos GPSs NEO6M e SIM808 para o local 2 em diferentes situações. Cada situação exibe a imprecisão de medição dos GPSs em relação ao valor médio, considerando a incerteza padrão para latitude e longitude, tanto para valores superiores quanto inferiores.

Observa-se que, para o local 2, a imprecisão do NEO6M é aproximadamente 33 cm, enquanto a do SIM808 é de aproximadamente 640 cm, indicando que a imprecisão do SIM808 é significativamente maior no local 2. As amostras do sensor NEO6M possuem um PDOP de 4,15, enquanto as do SIM808 possuem um PDOP de 1,4. No entanto, o desvio padrão do NEO6M é menor em comparação com o SIM808.

Na Figura 12, é apresentada a distribuição Gaussiana da latitude e longitude para o local 3, com base em dez amostras. A média da latitude para o NEO6M é de $-23,2004430828^\circ$, enquanto para o SIM808 é de $-23,2004571^\circ$. Observa-se que a diferença entre os dois valores médios de latitude calculados está na quinta casa decimal. Os desvios padrão calculados para a latitude são de $0,0000146541^\circ$ para o NEO6M e de $0,0000961835^\circ$ para o SIM808. Nota-se que o desvio padrão calculado para a latitude do SIM808 é aproximadamente seis vezes maior em relação ao NEO6M.

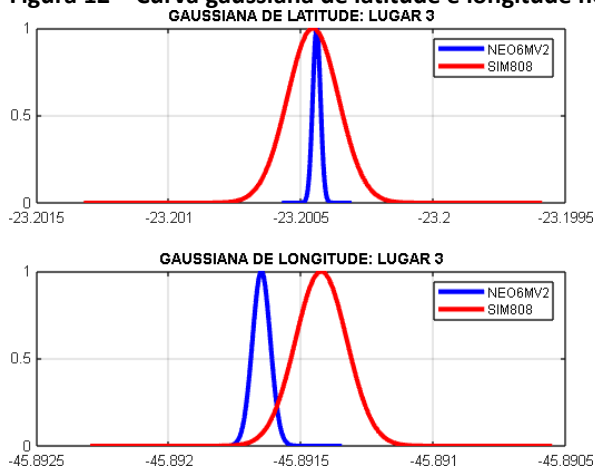
Tabela 6 – Erro de precisão dos GPSs, em cm, no lugar 2.

Erro de posição	NEO6MV2 (cm)	SIM808 (cm)
Latitude+erro, Longitude+erro	33,313	641,3348
Latitude-erro, Longitude-erro	33,313	641,3348
Latitude+erro, Longitude-erro	33,313	641,3348
Latitude+erro, Longitude-erro	33,313	641,3348

Fonte: Elaborado pelo autor.

A gaussiana da longitude para o NEO6M possui média igual a $-45,8916516167^\circ$, enquanto para o SIM808 a média é de $-45,8914259^\circ$. Observa-se que a diferença entre os dois valores médios de longitude calculados está na quarta casa decimal. Os desvios padrão calculados para a longitude são de $0,000033764^\circ$ para o NEO6M e de $0,0000968832^\circ$ para o SIM808. O desvio padrão calculado para a longitude do SIM808 é aproximadamente três vezes maior em relação ao NEO6M.

Figura 12 – Curva gaussiana de latitude e longitude no lugar 3.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 7 são apresentadas as incertezas padrão em centímetros dos GPSs NEO6M e SIM808 para o local 3 em diferentes situações. Cada situação exibe a imprecisão de medição dos GPSs em relação ao valor médio, considerando a incerteza padrão para latitude e longitude, tanto para valores superiores quanto inferiores.

Observa-se que, para o local 3, a imprecisão do NEO6M é aproximadamente 120 cm, enquanto a do SIM808 é de aproximadamente 460 cm. Isso indica que a imprecisão do SIM808 é significativamente maior no local 3. As amostras do sensor NEO6M possuem um PDOP de 3,41, enquanto as do SIM808 possuem um PDOP de 1,8. No entanto, o desvio padrão do NEO6M é menor em comparação com o SIM808.

Tabela 7 – Erro de precisão dos GPSs, em cm, no lugar 3.

Erro de posição	NEO6MV2 (cm)	SIM808 (cm)
Latitude+erro, Longitude+erro	120,751	460,3143
Latitude-erro, Longitude-erro	120,751	460,3142
Latitude+erro, Longitude-erro	120,751	460,3143
Latitude+erro, Longitude-erro	120,751	460,3142

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 13 apresenta a distribuição Gaussiana da latitude e longitude para o local 4, com base em sete amostras. A média da latitude para o NEO6M é de $-23,198672071^\circ$, enquanto para o SIM808 é de $-23,1985298571^\circ$. A diferença entre os dois valores médios de latitude calculados está na quarta casa decimal. O desvio padrão da latitude é de $0,0000221591^\circ$ para o NEO6M e de $0,0000160683^\circ$ para o SIM808. O desvio padrão em latitude do NEO6M é ligeiramente maior.

Em relação à longitude, a média do NEO6M é de $-45,8966340952^\circ$, enquanto a do SIM808 é de $-45,8966961429^\circ$. A diferença entre os dois valores médios de longitude está na quinta casa decimal. O desvio padrão da longitude é de $0,0000062861^\circ$ para o NEO6M e de $0,0000125796^\circ$ para o SIM808. O desvio padrão em longitude do SIM808 é aproximadamente o dobro. Observa-se que no local 4 ocorre um caso atípico, onde o desvio padrão em latitude do NEO6M é maior, porém o desvio padrão em longitude é menor em relação ao SIM808.

Na Tabela 8, são apresentadas as incertezas padrão em centímetros dos GPSs NEO6M e SIM808 para o local 4 em diferentes situações. Cada situação exibe a imprecisão de medição dos GPSs em relação ao valor médio, considerando a incerteza padrão para latitude e longitude, tanto para valores superiores quanto inferiores.

Tabela 8 – Erro de precisão dos GPSs, em cm, no lugar 4.

Erro de posição	NEO6MV2 (cm)	SIM808 (cm)
Latitude+erro, Longitude+erro	95,8907	83,3658
Latitude-erro, Longitude-erro	95,8907	83,3658
Latitude+erro, Longitude-erro	95,8907	83,3658
Latitude+erro, Longitude-erro	95,8907	83,3658

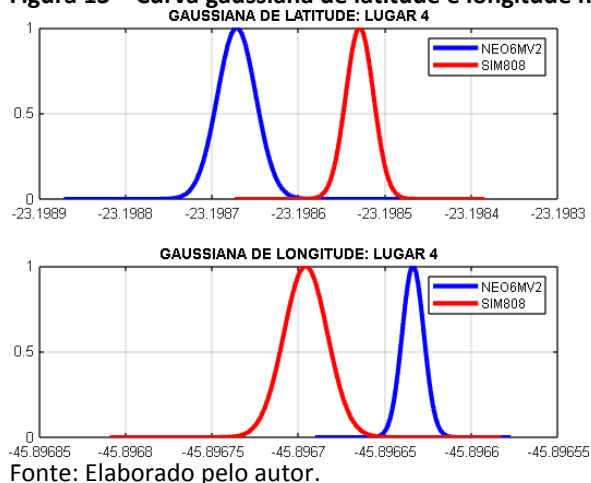
Fonte: Elaborado pelo autor.

No local 4, a imprecisão do NEO6M é de aproximadamente 95 cm, enquanto a do SIM808 é de aproximadamente 83 cm, indicando que a imprecisão do NEO6M é ligeiramente maior. As amostras do sensor NEO6M possuem um PDoP de 3,9, enquanto as do SIM808 possuem um PDoP de 1,8. A incerteza padrão do NEO6M é maior devido ao maior desvio padrão em latitude do sensor.

A Figura 14 apresenta a distribuição gaussiana da latitude e longitude para o local 5, baseada em sete amostras. A média da latitude para o NEO6M é de $-23,2284007495^\circ$, enquanto para o SIM808 é de $-23,22892229^\circ$. A diferença entre os dois valores médios de latitude calculados está na quarta casa decimal. O desvio padrão da latitude é de $0,0000455821^\circ$ para o NEO6M e de $0,0001104554^\circ$ para o SIM808. O desvio padrão em latitude do SIM808 é ligeiramente maior.

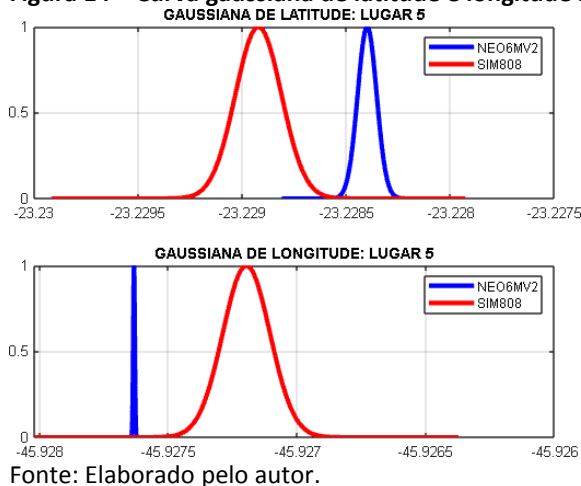
Em relação à longitude, a média do NEO6M é de $-45,92763435^\circ$, enquanto a do SIM808 é de $-45,9271978^\circ$. A diferença entre os dois valores médios de longitude calculados está na quarta casa decimal também.

Figura 13 – Curva gaussiana de latitude e longitude no lugar 4.



O desvio padrão da longitude é de $0,0000031364^\circ$ para o NEO6M e de $0,0000916039^\circ$ para o SIM808. O desvio em longitude do SIM808 é aproximadamente vinte e nove vezes maior.

Figura 14 – Curva gaussiana de latitude e longitude no lugar 5.



Na Tabela 9, são apresentadas as incertezas padrão em centímetros dos GPSs NEO6M e SIM808 para o local 5 em diferentes situações. Cada situação exibe a imprecisão de medição dos GPSs em relação ao valor médio, considerando a incerteza padrão para latitude e longitude, tanto para valores superiores quanto inferiores. No local 5, a imprecisão do NEO6M é de aproximadamente 160 cm, enquanto a do SIM808 é de aproximadamente 487 cm, indicando que a imprecisão do SIM808 é maior no local 5. As amostras do sensor NEO6M possuem uma PDOP de 4,7 e as do SIM808 possui uma PDOP igual a 1,5, entretanto o desvio do SIM808 é maior.

A Figura 15 apresenta a distribuição Gaussiana da latitude e longitude para o local 6, baseada em cinco amostras. A média da latitude para o NEO6M é de $-23,1962052332^\circ$, enquanto para o SIM808 é de $-23,196174^\circ$. A diferença entre os dois valores médios de latitude calculados está na quarta casa decimal. O desvio padrão da latitude é de $0,0000004107^\circ$ para o NEO6M e de $0,000001118^\circ$ para o SIM808. O desvio padrão em latitude do SIM808 é aproximadamente duas vezes e meia maior.

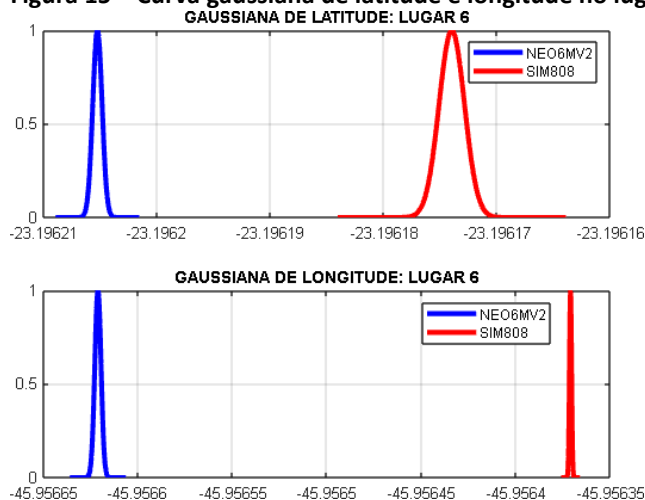
Tabela 9 – Erro de precisão dos GPSs, em cm, no lugar 5.

Erro de posição	NEO6MV2 (cm)	SIM808 (cm)
Latitude+erro, Longitude+erro	159,9573	487,4379
Latitude-erro, Longitude-erro	159,9573	487,4378
Latitude+erro, Longitude-erro	159,9573	487,4379
Latitude+erro, Longitude-erro	159,9573	487,4378

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação à longitude, a média do NEO6M é de $-45,9566211333^\circ$, enquanto a do SIM808 é de $-45,9563712^\circ$. A diferença entre os dois valores médios de longitude calculados está na quarta casa decimal também. O desvio padrão da longitude é de $0,0000016451^\circ$ para o NEO6M e de $0,0000005477^\circ$ para o SIM808. O desvio em longitude do NEO6M é aproximadamente três vezes maior. No local 6, observa-se outro caso atípico em que o NEO6M possui um maior desvio padrão em longitude, mas não em latitude.

Figura 15 – Curva gaussiana de latitude e longitude no lugar 6.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 10 apresenta o erro em centímetros dos GPSs para o local 6 em diferentes situações. Cada situação mostra a imprecisão de medição dos GPSs NEO6M e SIM808 em relação ao seu valor médio, considerando a incerteza padrão para longitude e latitude, tanto para mais quanto para menos. No local 6, a imprecisão do NEO6M é de aproximadamente 8 cm, enquanto a do SIM808 é de aproximadamente 9,5 cm, indicando que a imprecisão do NEO6M é menor

nesse local. As amostras do sensor NEO6M possuem uma PDoP de 8,35, enquanto as do SIM808 possuem uma PDoP de 1,7. Observa-se que a incerteza padrão do NEO6M é menor, embora seu desvio padrão em longitude seja maior.

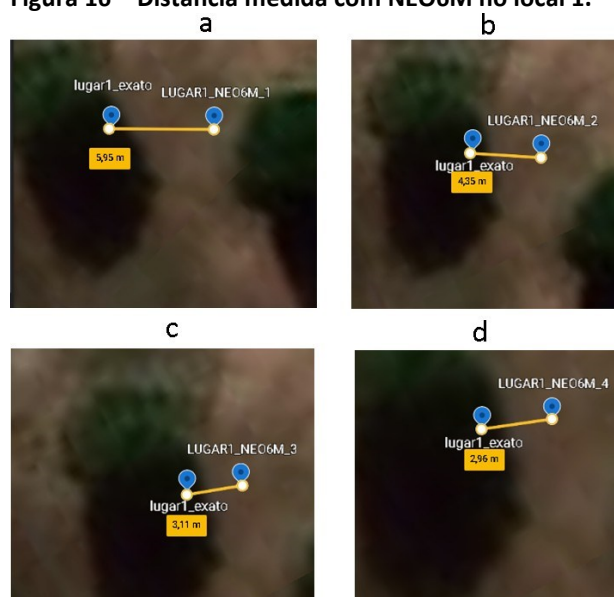
Tabela 10 – Erro de precisão dos GPSs, em cm, no lugar 6.

Erro de posição	NEO6MV2 (cm)	SIM808 (cm)
Latitude+erro, Longitude+erro	7,8015	9,6857
Latitude-erro, Longitude-erro	7,8015	9,6857
Latitude+erro, Longitude-erro	7,8015	9,6857
Latitude+erro, Longitude-erro	7,8015	9,6857

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 16 e a Tabela 11 mostram as distâncias entre o local exato e o local estimado para o lugar 1, de acordo com as medições do NEO6M. Cada situação possui seu próprio valor de PDoP, conforme indicado na Tabela 11. Observa-se que, à medida que o PDoP é reduzido de 2,11 para 1,66, a precisão das medições aumenta, resultando em uma menor distância entre o local medido e o local exato.

Figura 16 – Distância medida com NEO6M no local 1.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 11 – Valores de HDoP, VDoP e PDoP e distância do NEO6M no lugar 1.

Medição	HDoP	VDoP	PDoP	Dist. do lugar exato (m)
a	1,02	1,85	2,11	5,95
b	1,02	1,85	2,11	4,35
c	0,8	1,45	1,66	3,11
d	0,8	1,45	1,66	2,96

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 17 e a Tabela 12 mostram as distâncias entre o local exato e o local estimado para o lugar 1, de acordo com as medições do SIM808. Cada situação possui seu próprio valor de PDoP, conforme indicado na Tabela 12. Observa-se que, mesmo com a redução do PDoP de 2,7 para 1,4, a precisão das medições se manteve praticamente a mesma, resultando em uma aproximação de 10,93 cm entre o local medido e o local exato. É importante destacar que a redução do valor do PDoP foi principalmente devido à diminuição do VDoP, enquanto o HDoP permaneceu praticamente o mesmo. Além disso, observa-se que o NEO6M indicou um ponto mais próximo do local exato em comparação com o SIM808.

A Figura 18 e a Tabela 13 apresentam as distâncias entre o local exato e o local estimado para o lugar 5, de acordo com as medições do NEO6M. Cada situação possui seu próprio valor de PDoP, conforme indicado na Tabela 13. Observa-se que, à medida que o PDoP é reduzido de 18,9 para 4,7, a distância entre o local medido e o local exato diminui de 32,2 m para 19,81 m.

Figura 17 – Distância medida com SIM808 no local 1.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 12 – Valores de HDoP, VDoP e PDoP e distância do SIM808 no lugar 1.

Medição	HDoP	VDoP	PDoP	Dist. do lugar exato (m)
a	1,1	2,5	2,7	10,96
b	1,1	2,5	2,7	10,93
c	1,1	2,5	2,7	10,93
d	1,0	0,9	1,4	10,92

Fonte: Elaborado pelo autor.

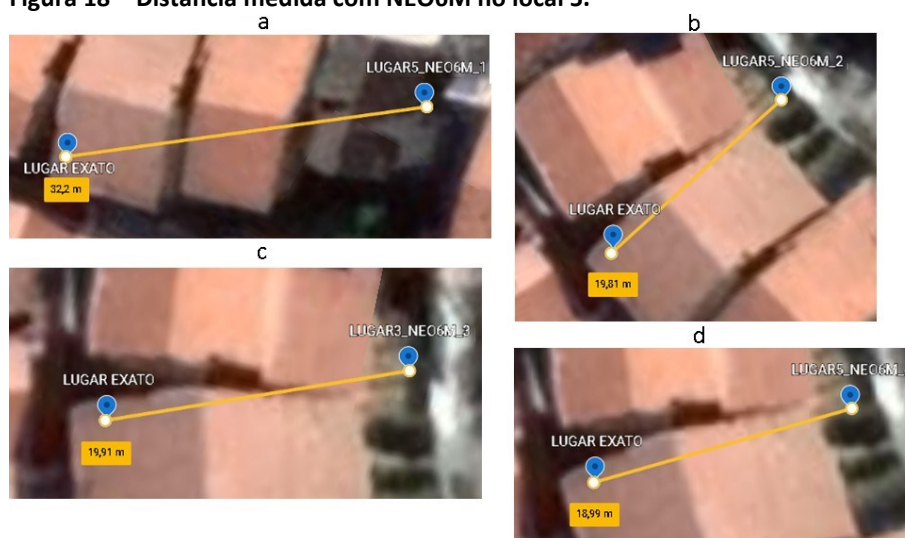
No caso do lugar 5, a diminuição do PDoP é principalmente atribuída à redução do VDoP, que diminuiu de 18,7 para 3,03. Isso indica que uma diminuição no valor do PDoP está associada a uma melhora na precisão da estimativa de localização.

Tabela 13 – Valores de HDOP, VDoP e PDoP do NEO6M no lugar 5.

Medição	HDOP	VDoP	PDoP	Dist. do lugar exato (m)
a	2,72	18,7	18,9	32,2
b	3,59	3,03	4,7	19,81
c	3,59	3,02	4,7	19,91
d	3,59	3,03	4,7	18,99

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 19 e a Tabela 14 apresentam as distâncias entre o local exato e o local estimado para o lugar 5, com base nas medições realizadas pelo SIM808. Cada situação possui seu próprio valor de PDoP, conforme indicado na Tabela 14. Observa-se que, inicialmente, conforme o PDoP aumenta de 1,5 para 3,3, a distância entre o local exato e o local medido aumenta de 104,09 m para 152,51 m. Em seguida, à medida que o PDoP diminui de 3,3 para 1,3, a distância entre o local exato e o local medido diminui de 152,51 m para 24,87 m.

Figura 18 – Distância medida com NEO6M no local 5.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Portanto, a exatidão das medições do SIM808 aumenta com a diminuição do PDoP, no entanto, observa-se que o NEO6M apresentou maior precisão no lugar 5.

Figura 19 – Distância medida com SIM808 no local 5.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 20 apresenta as distâncias entre o local exato e o local estimado para o lugar 6, com base nas medições realizadas pelo NEO6M. Cada situação possui seu próprio valor de PDoP, conforme indicado na Tabela 15. Observa-se que tanto o PDoP quanto a distância em relação ao local exato permanecem praticamente inalterados.

Tabela 14 – Valores de HDOP, VDoP e PDoP do SIM808 no lugar 5.

Medição	HDOP	VDoP	PDoP	Dist. do lugar exato (m)
a	1,1	0,9	1,5	110,74
b	1,1	0,9	1,5	104,09
c	3,2	1	3,3	152,51
d	1	0,9	1,3	24,87

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 16 – Valores de HDOP, VDoP e PDoP do NEO6M no lugar 6.

Medição	HDOP	VDoP	PDoP	Dist. do lugar exato (m)
a	2,98	7,81	8,36	17,23
b	2,98	7,8	8,35	17,93

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 20 – Distância medida com NEO6M no local 6.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 21 apresenta as distâncias entre o local exato e o local estimado para o lugar 6, com base nas medições realizadas pelo SIM808. Cada situação possui seu próprio valor de PDoP, conforme indicado na Tabela 16. Observa-se que tanto o PDoP quanto a distância em relação ao local exato permanecem inalterados.

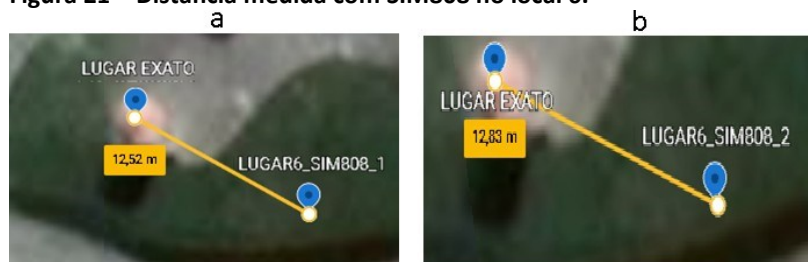
No entanto, é importante destacar que, neste caso, a medição realizada pelo SIM808 é mais precisa em comparação ao NEO6M, mesmo com um valor de PDoP menor para o SIM808 (1,7) em comparação ao NEO6M (8,35). Essa maior exatidão do NEO6M pode ser atribuída à sua maior sensibilidade, o que permite captar sinais de satélites com ângulos de elevação menores, conforme afirmado por Sousa (2005).

Tabela 16 – Valores de HDoP, VDoP e PDoP do SIM808 no lugar 6.

Medição	HDoP	VDoP	PDoP	Dist. do lugar exato (m)
a	0,9	1,4	1,7	12,52
b	0,9	1,5	1,7	12,83

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 21 – Distância medida com SIM808 no local 6.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Embora a Equação 1 estabeleça que o menor valor teórico possível para o HDoP seja 1,15, é interessante observar nas Tabelas 14 e 16 que valores menores foram registrados. Isso pode estar relacionado ao fato de que as Equações 1 e 2 consideram o ângulo azimutal entre três satélites igual a 120°, de acordo com Ma et al. (2012). No entanto, é possível que uma configuração diferente entre os satélites resulte em valores menores de DoP. Isso indica a importância de considerar outras variáveis e configurações para obter uma estimativa mais

precisa do DoP.

Foram realizadas avaliações do desempenho do GPS NEO6M na presença de um jammer. Inicialmente, foram realizadas medições sem o jammer e, em seguida, com o jammer a uma distância específica. Os dados relevantes a esse experimento são apresentados na Tabela 17.

Observa-se que quando o jammer é ligado a uma distância de 9 metros da antena do NEO6M, o sinal é totalmente bloqueado e os valores de DoP atingem o máximo possível. Em outras palavras, o sinal do NEO6M é completamente corrompido, o que impede qualquer processamento adicional. No entanto, quando o jammer é desligado, o GPS volta a receber o sinal normalmente. Esse experimento evidencia a interferência causada pelo jammer no desempenho do GPS NEO6M.

Tabela 17 – Valores de DoP sem e com jammer para o NEO6M.

Medição	HDoP	VDoP	PDoP	Dist. do <i>jammer</i> até antena (m)
sem <i>jammer</i>	2,5	3,34	4,17	-
com <i>jammer</i>	99,99	99,99	99,99	9

Fonte: Elaborado pelo autor.

Foram realizadas avaliações do comportamento do GPS SIM808 na presença de um jammer. Inicialmente, foram feitas medições sem o jammer e, em seguida, com o jammer em diferentes distâncias. Os dados relevantes a esse experimento são apresentados na Tabela 18. A uma distância de 7,5 metros, o SIM808 continua funcionando normalmente, sem apresentar alterações significativas nos valores de HDoP e VDoP. A 6 metros, observa-se um aumento nos valores desses parâmetros, porém eles diminuem novamente a 4,5 metros e diminuem ainda mais a 3 metros. A uma distância de 1,5 metro, o sinal do GPS é bloqueado pelo jammer. Quando o jammer é afastado para uma distância de três metros, o GPS SIM808 volta a receber o sinal normalmente.

Observa-se que ambos os GPSs são suscetíveis a interferências causadas por jammers intencionais. No entanto, não foi observada uma degradação progressiva do sinal à medida que o bloqueador se aproximava. Em vez disso, foram observados apenas dois estados: sinal normal ou sinal bloqueado. A maior sensibilidade do GPS NEO6M pode torná-lo mais suscetível ao ruído causado pelo jammer.

Tabela 18 – Valores de DoP sem e com jammer para o SIM808.

Medição	HDoP	VDoP	PDoP	Dist. do <i>jammer</i> até antena (m)
sem <i>jammer</i>	2,7	1,9	3,3	-
com <i>jammer</i>	2,3	0,9	2,5	7,5
com <i>jammer</i>	3,3	1,0	3,42	6
com <i>jammer</i>	2,4	1,0	2,5	4,5
com <i>jammer</i>	1,1	0,8	1,4	3
com <i>jammer</i>	99,99	99,99	99,99	1,5

Fonte: Elaborado pelo autor.

4 CONCLUSÃO

Este trabalho conseguiu extrair os parâmetros de latitude, longitude e DoP diretamente dos GPSs, sem a necessidade de processamento posterior. Programas foram utilizados para realizar cálculos estatísticos, como desvio padrão, incertezas e médias, e cálculos geodésicos. A API do Google Earth foi utilizada para estimar a precisão em cada caso específico de medição dos sensores. O parâmetro de precisão foi avaliado com base nos desvios padrão e incertezas padrão.

Concluiu-se que, embora o NEO6M apresente, na maioria das vezes, uma menor incerteza padrão devido a um menor desvio padrão e um limite de erro menor, nos lugares 1 e 4 ele apresentou menor precisão devido a um maior desvio padrão. Portanto, apenas a situação específica poderá determinar com certeza qual sensor é mais preciso, uma vez que isso depende das posições dos satélites, que estão em constante movimento. Observou-se que apenas no lugar 1 os parâmetros de DoP do NEO6M são menores, embora sua incerteza padrão seja maior em comparação com o SIM808.

Embora o limite de erro do SIM808 seja maior, o que implica em menor exatidão, caso o parâmetro de DoP do NEO6M aumente, como observado na Tabela 15, a exatidão do SIM808 pode se tornar maior. Portanto, conclui-se que apenas a situação específica poderá determinar com certeza qual sensor é mais exato, uma vez que isso depende das posições dos satélites, que estão em constante mudança. No entanto, com parâmetros de DoP próximos, o NEO6M é mais exato. Observou-se que a redução dos valores dos parâmetros de DoP aumenta a exatidão para ambos os sensores, como esperado.

Quanto à robustez, concluiu-se que, embora o NEO6M tenha vantagem em termos de precisão e exatidão na maioria dos casos, ele é menos robusto em relação a interferências intencionais. Portanto, na escolha do GPS mais adequado para uma aplicação, é necessário considerar qual critério é mais relevante. Se a exatidão for o critério principal, o NEO6M seria a escolha preferida. No entanto, se a robustez for crucial em situações em que a segurança diante de tentativas de interferir no correto funcionamento do dispositivo seja crítica, o SIM808 seria a escolha mais adequada.

REFERÊNCIAS

APOLO11. **Azimute e elevação**. 2023. Disponível em: <https://www.apolo11.com.br/el.php> . Acesso em: 17 jul. 2023.

MA, C. et al. Gps signal degradation modeling. *In*: INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING OF THE SATELLITE DIVISION OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION (ION GPS 2001), 14., **Proceedings** [...] Salt Lake City, UT. September 2001. pp. 882–893. Disponível em: <https://www.ion.org/publications/abstract.cfm?articleID=1765> . Acesso em: 17jul. 2023.

MONICO, J. F. G. Posicionamento por ponto de alta precisão utilizando o GPS: uma solução para a geodinâmica. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 18, n. 1, março, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-261X2000000100004>. Acesso em: 20 mai. 2023.

OLIVEIRA, G. D. de; POZ, W. R. D.; ALMEIDA, M. S. Implementação de um sistema on-line para processamento de dados gnss. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 71, n. 2, p. 501–512, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/rbcv71n2-48184> . Acesso em: 17 jul. 2023.

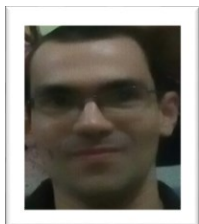
SIMCOM. SIM808 GPS Application Note V1.00. 2014. Disponível em: https://docplayer.net/30419231-Sim808_gps_application_note_v1-00.html . Acesso em: 20 mai. 2023.

SOUSA, C. R. M. D. **Interferidores de GPS**: análise do sistema e de potenciais fontes de interferência. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro – RJ. 2005. Disponível em: https://pgee.ime.eb.br/pdf/carlos_sousa.pdf . Acesso em: 17 julho 2023.

U-BLOX 6 RECEIVER DESCRIPTION: including protocol specification. 2013. Disponível em: https://content.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/u-blox6_ReceiverDescrProtSpec_%28GPS.G6-SW-10018%29_Public.pdf . Acesso em: 20 mai. 2023.

SOBRE O(S) AUTOR(ES)

ⁱ Fransérgio Martins Carvalho



Graduado em Engenharia Elétrica pela UFPA (2013). Mestrado em Sistemas Elétricos com foco em controle de inversor fotovoltaico pela mesma universidade em 2016. Desde o início da carreira trabalhou com qualidade de energia elétrica, IHM em LabVIEW e programação de microcontroladores PIC. Atualmente desenvolve sensores de corrente com e sem núcleo de ferro.

ⁱⁱ Leandro Poloni Dantas



Engenheiro (2004) e Doutor (2018) em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário FEI. Atuou por 15 anos na indústria eletrônica no desenvolvimento de novos produtos. Desde 2009, vem lecionando em cursos de pós-graduação, graduação e de nível técnico em diferentes instituições paulistas. Atualmente é professor na Faculdade de Tecnologia SENAI e no Insper. <https://orcid.org/0000-0003-3674-336X>.

iii Marcones Cleber Brito da Silva

Tecnólogo em Mecatrônica Industrial (2011), Engenheiro Mecatrônico (2013) e Especialista em Engenharia de Manutenção Industrial pela Centro universitário Eniac (2013). Mestre em Tecnologia Nuclear (2020) pela Universidade de São Paulo. Professor da Faculdade de Tecnologia SENAI e na FESA. <https://orcid.org/0000-0002-3690-1682>.

iv Luiz Carlos Canno

Graduado em Tecnologia de Automação Industrial (2009) com Especialização em Gestão Empresarial pela Universidade Nove de Julho (2012), e Especialização em Docência na Educação Profissional e Tecnológica pelo SENAI CETIQT (2015). Professor na Faculdade de Tecnologia SENAI. <https://orcid.org/0000-0001-9331-9309>.

v Fernando Simplicio de Sousa (Orientador)

Professor da Faculdade SENAI no curso de Pós-Graduação em Sistemas Embarcados. Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do ABC (UFABC) e Pós-Graduado pelo Mackenzie. Graduado em Gestão de Pequenas e Médias Empresas pela UNIP e em Projetos Mecânicos pela FATEC-SP. <http://lattes.cnpq.br/457938298798406>. <https://orcid.org/0009-0009-5760-4845>