

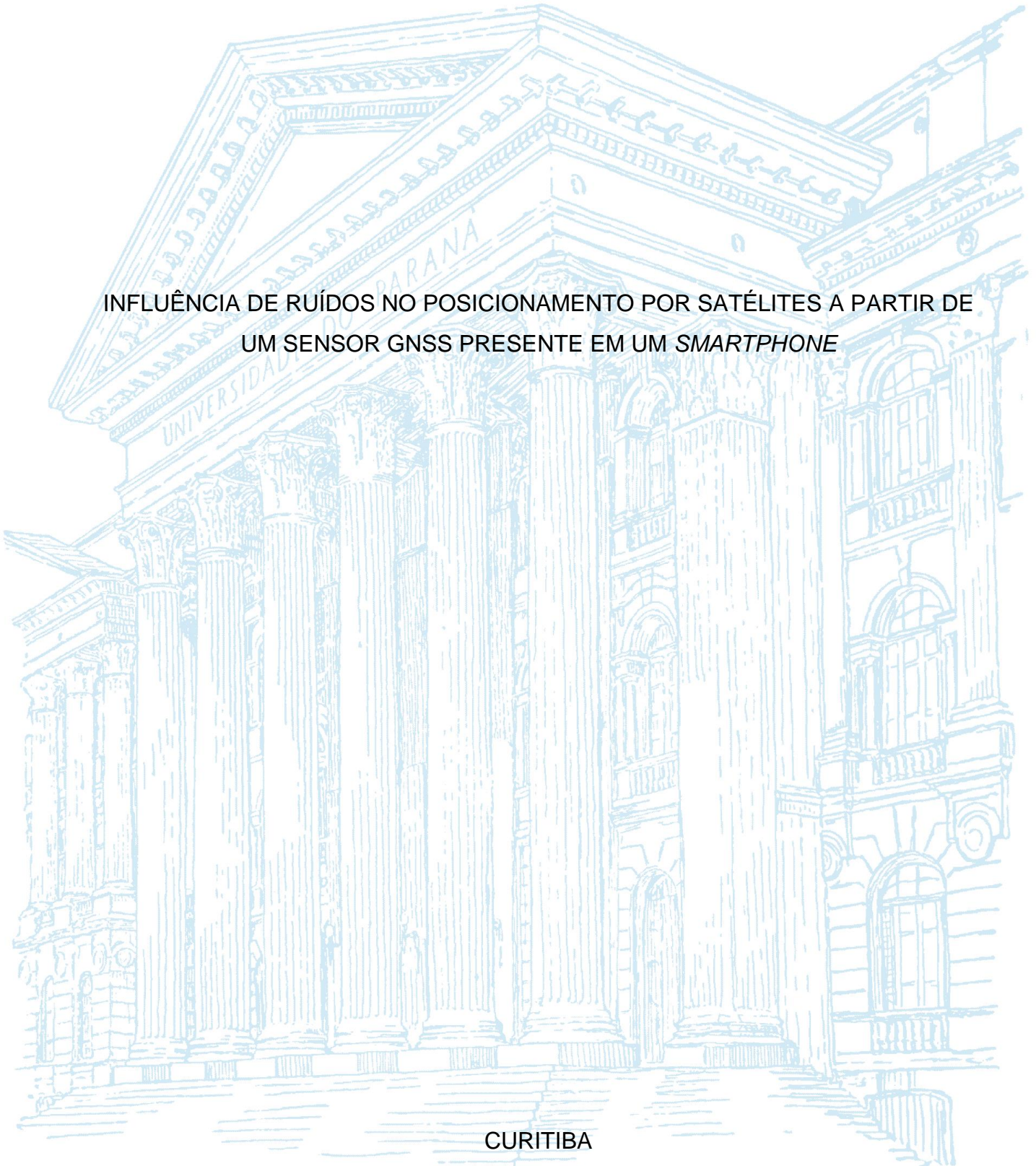
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LUCAS DOS SANTOS BEZERRA

INFLUÊNCIA DE RUÍDOS NO POSICIONAMENTO POR SATÉLITES A PARTIR DE
UM SENSOR GNSS PRESENTE EM UM *SMARTPHONE*

CURITIBA

2019



LUCAS DOS SANTOS BEZERRA

INFLUÊNCIA DE RUÍDOS NO POSICIONAMENTO POR SATÉLITES A PARTIR DE
UM SENSOR GNSS PRESENTE EM UM *SMARTPHONE*

Trabalho de Conclusão de Curso 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 Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Orientadora: Prof.^a Dra. Claudia Pereira Krueger

Coorientador: Msc. Allan Gomes

CURITIBA

2019

RESUMO

Durante a conferência I/O 2016 a empresa Google anunciou a disponibilidade de obtenção de dados GNSS brutos a partir de dispositivos *smart* com a 7ª versão (ou superior) do sistema operacional Android implementada. Esta iniciativa permitiu acesso às mensagens de navegação e informações que possibilitam o cálculo de pseudodistâncias, relógio e fase da onda portadora. A partir desta inovação, surgiram aplicativos capazes de processar e avaliar observações brutas a partir de um *smartphone*. Neste trabalho, empregou-se um *smartphone* modelo Mi 8 da fabricante Xiaomi, que foi o primeiro *smartphone* a integrar um sensor GNSS de dupla frequência capaz de adquirir informações oriundas de múltiplas constelações GNSS e suas determinadas frequências. Para a execução deste trabalho foram utilizados dois aplicativos compatíveis com esta recente ferramenta: o *GNSS Logger* da Google (armazena dados brutos em um formato específico) e o *rinex On* (emprega os dados brutos para gerar arquivos no formato universal RINEX). Desta forma, foram estabelecidos dois experimentos a fim de avaliar a influência de interferências na qualidade de um posicionamento GNSS. Os experimentos foram realizados no Pilar 2000 localizado no terraço do prédio anexo ao Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia (LAGEH), em que consistiu em acoplar o Mi 8 verticalmente ao dispositivo de centragem forçada do pilar com auxílio de um suporte. O Experimento 1 foi efetuado na forma estática em uma área livre de obstruções. Para cada aplicativo empregado no Experimento 1 foram conduzidas três coletas: uma em modo avião e duas aplicando interferências com a função vibração ativada e no modo toque. Já o Experimento 2 consistiu em posicionar uma obstrução a 70 cm do Pilar com o intuito de avaliar o efeito de multicaminho. Neste contexto, foi utilizado em algumas das campanhas do Experimento 2 o material Atenuador do Efeito de Multicaminho (AEM/LAGEH) a fim de analisar a eficiência deste material tendo em vista a minimização do multicaminho. Os resultados de posição obtidos em ambos os experimentos através do IBGE-PPP foram mais acurados planimetricamente do que aqueles registrados pelos outros *softwares* de processamento empregados neste trabalho. Quanto ao Experimento 2, que se utilizou a obstrução, houve ganho na qualidade posicional empregando o AEM-LAGEH, porém, as soluções de posição foram menos acuradas que aquelas obtidas sem obstrução. Além disso, foram verificados indícios das interferências efetuadas no Experimento 1 na frequência do relógio.

Palavras-chave: *Smartphone*. Dados GNSS brutos. Posicionamento.

ABSTRACT

During the I/O 2016 conference Google announced the availability of obtaining GNSS raw data from smart devices with the 7th version (or higher) of the Android operating system deployed. This initiative allowed access to the navigation messages and information that make it possible to calculate pseudoranges, clock and carrier phase. From this breakthrough, applications were issued capable to process and evaluate raw observations from a smartphone. In this work, a Mi 8 smartphone model from the manufacturer Xiaomi was employed, which was the first smartphone to combine a dual frequency GNSS sensor able to acquire information from multiple GNSS constellations and their determined frequencies. To carry out this work, two applications compatible with this recent tool were used: Google's *GNSS Logger* (stores raw data in a specific format) and *rinex On* (uses raw data to result files into the universal RINEX format). Thus, two tests were established in order to assess the influence of interferences on the quality of a GNSS positioning. The Tests were carried out on Pillar 2000 located on the rooftop of the building next to the Laboratory of Spatial Geodesy and Hydrography (LAGEH), which consisted of coupling the Mi 8 vertically to the Pillar's forced centering device with the aid of a support. Test 1 was performed in a static manner in a site devoid of obstructions. For each application used in Test 1, three data collections were performed: one in airplane mode and two applying interferences with the vibration function activated and in sound mode. Test 2 was made up of placing an obstruction 70 cm from the Pillar in order to assess the multipath effect. In this context, it was employed in some of the Test 2 campaigns the Multipath Effect Attenuator material (AEM-LAGEH) in order to analyse the efficiency of this material in view of the minimization of the multipath. The position results achieved in both tests through the IBGE-PPP were more accurate planimetrically than those recorded by the other processing software employed in this work. As for Test 2, which made use of the obstruction, there was a gain in positional quality employing the AEM-LAGEH, however, the position solutions were less accurate than those obtained without obstruction. In addition, there were signs of interferences made in Test 1 on the clock frequency.

Keywords: *Smartphone*. GNSS raw data. Positioning.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – SENSORES GNSS INSTALADOS POR TIPO DE DISPOSITIVO	11
FIGURA 2 – PRINCÍPIO DO POSICIONAMENTO POR SATÉLITES	18
FIGURA 3 – FASE DA ONDA PORTADORA.....	20
FIGURA 4 – OCORRÊNCIA DE MULTICAMINHO	21
FIGURA 5 – COMPARAÇÃO ENTRE AQUISIÇÃO DE LOCALIZAÇÃO NO ANDROID	27
FIGURA 6 – <i>DUTY CYCLE</i> VS. TEMPO.....	27
FIGURA 7 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	29
FIGURA 8 – PILAR 2000.....	30
FIGURA 9 – ATENUADOR DO EFEITO DE MULTICAMINHO.....	31
FIGURA 10 – TELA PRINCIPAL DO APLICATIVO <i>GNSS LOGGER</i>	33
FIGURA 11 – PAINEL DE CONTROLE DO <i>SOFTWARE GNSS ANALYSIS APP</i> ...34	
FIGURA 12 – TELA PRINCIPAL DO APLICATIVO <i>RINEX ON</i>	35
FIGURA 13 – VISÃO INTERNA DO XIAOMI MI 8	36
FIGURA 14 – COLETA DE DADOS DO EXPERIMENTO 1 (SEM OBSTRUÇÃO)...37	
FIGURA 15 – COLETA DE DADOS DO EXPERIMENTO 2 (COM OBSTRUÇÃO) ..38	
FIGURA 16 – DIAGRAMA DE OBSTRUÇÕES DO PILAR 2000 DURANTE EXPERIMENTO 2.....	39
FIGURA 17 – COLETA DE DADOS DO EXPERIMENTO 2 (COM OBSTRUÇÃO) EMPREGANDO O AEM-LAGEH	39
FIGURA 18 – QUALIDADE DO SINAL DOS SATÉLITES – CAMPANHA 4 (MODO AVIÃO/SEM OBSTRUÇÃO).....	56
FIGURA 19 – RESÍDUOS DA DUPLA DIFERENÇA DE FASE DO CÓDIGO PARA L1/E1/B1 – CAMPANHA 4 (MODO AVIÃO/SEM OBSTRUÇÃO)	57

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – ACURÁCIAS EM RELAÇÃO AOS <i>SOFTWARES</i> – EXPERIMENTO 1 (SEM OBSTRUÇÃO)	48
GRÁFICO 2 – ACURÁCIAS EM RELAÇÃO AOS MODOS – EXPERIMENTO 1 (SEM OBSTRUÇÃO)	49
GRÁFICO 3 – ACURÁCIAS EM RELAÇÃO AOS <i>SOFTWARES</i> – EXPERIMENTO 2 (SEM OBSTRUÇÃO)	52
GRÁFICO 4 – ACURÁCIAS EM RELAÇÃO AO AEM – EXPERIMENTO 2 (SEM OBSTRUÇÃO)	53
GRÁFICO 5 – FREQUÊNCIA DO RELÓGIO - MODO AVIÃO (CAMPANHA 1/SEM OBSTRUÇÃO)	54
GRÁFICO 6 – FREQUÊNCIA DO RELÓGIO - MODO VIBRAÇÃO (CAMPANHA 2/SEM OBSTRUÇÃO)	55
GRÁFICO 7 – FREQUÊNCIA DO RELÓGIO - MODO TOQUE (CAMPANHA 3/SEM OBSTRUÇÃO)	55

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – SISTEMAS DE NAVEGAÇÃO POR SATÉLITES E SEUS RESPECTIVOS SEGMENTOS ESPACIAIS	16
QUADRO 2 – EXPERIMENTOS	30
QUADRO 3 – ESPECIFICAÇÕES DO <i>SMARTPHONE</i> XIAOMI MI 8	31
QUADRO 4 – ESPECIFICAÇÕES DOS APLICATIVOS	32
QUADRO 5 – CAMPANHAS DO EXPERIMENTO 1 (SEM OBSTRUÇÃO).....	38
QUADRO 6 – CAMPANHAS DO EXPERIMENTO 2 (COM OBSTRUÇÃO)	40
QUADRO 7 – PROCESSAMENTOS ATRAVÉS DO <i>GNSS ANALYSIS APP</i>	41
QUADRO 8 – PROCESSAMENTOS ATRAVÉS DO <i>LEICA INFINITY</i>	41
QUADRO 9 – PROCESSAMENTOS ATRAVÉS DO IBGE-PPP.....	42
QUADRO 10 – COORDENADAS DE REFERÊNCIA DO PILAR 2000 (ÉPOCA 2000,4)	45
QUADRO 11 – NÚMERO DE SALTOS DE CICLO REGISTRADOS NO <i>LEICA INFINITY</i>	57

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – COORDENADAS DO PILAR 2000 – EXPERIMENTO 1 (SEM OBSTRUÇÃO)	46
TABELA 2 – DISCREPÂNCIAS DO PILAR 2000 – EXPERIMENTO 1 (SEM OBSTRUÇÃO)	46
TABELA 3 – ANÁLISES ESTATÍSTICAS EM RELAÇÃO AOS <i>SOFTWARES</i> – EXPERIMENTO 1 (SEM OBSTRUÇÃO)	47
TABELA 4 – ACURÁCIAS EM RELAÇÃO AOS <i>SOFTWARES</i> – EXPERIMENTO 1 (SEM OBSTRUÇÃO)	47
TABELA 5 – ANÁLISES ESTATÍSTICAS EM RELAÇÃO AOS MODOS – EXPERIMENTO 1 (SEM OBSTRUÇÃO)	49
TABELA 6 – ACURÁCIAS EM RELAÇÃO AOS MODOS – EXPERIMENTO 1 (SEM OBSTRUÇÃO)	49
TABELA 7 – COORDENADAS DO PILAR 2000 – EXPERIMENTO 2 (COM OBSTRUÇÃO)	50
TABELA 8 – DISCREPÂNCIAS DO PILAR 2000 – EXPERIMENTO 2 (COM OBSTRUÇÃO)	51
TABELA 9 – ANÁLISES ESTATÍSTICAS EM RELAÇÃO AOS <i>SOFTWARES</i> – EXPERIMENTO 2 (COM OBSTRUÇÃO)	51
TABELA 10 – ACURÁCIAS EM RELAÇÃO AOS <i>SOFTWARES</i> – EXPERIMENTO 2 (COM OBSTRUÇÃO)	52
TABELA 11 – ANÁLISES ESTATÍSTICAS EM RELAÇÃO AO AEM – EXPERIMENTO 2 (COM OBSTRUÇÃO)	53
TABELA 12 – ACURÁCIAS EM RELAÇÃO AO AEM – EXPERIMENTO 2 (COM OBSTRUÇÃO)	53

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 JUSTIFICATIVA	14
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Objetivo geral	15
1.2.2 Objetivos específicos.....	15
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 GENERALIDADES SOBRE O GNSS	16
2.2 PRINCÍPIO DO POSICIONAMENTO POR SATÉLITES.....	17
2.2.1 Observáveis	18
2.2.1.1 Pseudodistância	18
2.2.1.2 Diferença de fase da onda portadora	19
2.2.2 Erros sistemáticos que incidem nas observações GNSS.....	20
2.2.2.1 Multicaminho	21
2.2.2.2 Salto de ciclo	22
2.2.2.3 Considerações a respeito da SNR e da CNR.....	22
2.3 MÉTODOS DE POSICIONAMENTO POR SATÉLITES.....	23
2.3.1 Método de posicionamento por ponto (absoluto)	23
2.3.2 Método de posicionamento por ponto preciso (PPP)	24
2.3.2.1 IBGE-PPP.....	24
2.3.3 Método de posicionamento relativo	25
2.4 ACESSO A DADOS GNSS BRUTOS NA PLATAFORMA ANDROID.....	26
2.4.1 <i>Duty cycle</i>	27
3 ÁREA DE ESTUDO E MATERIAIS	29
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	29
3.2 EQUIPAMENTOS	30
3.2.1 <i>Smartphone</i>	30
3.2.2 Atenuador do Efeito de Multicaminho.....	31
3.3 APLICATIVOS E <i>SOFTWARES</i>	32
3.3.1 <i>GNSS Analysis Tools</i>	32
3.3.2 <i>rinex ON</i>	34
3.3.3 <i>Leica Infinity</i>	35
4 METODOLOGIA	36

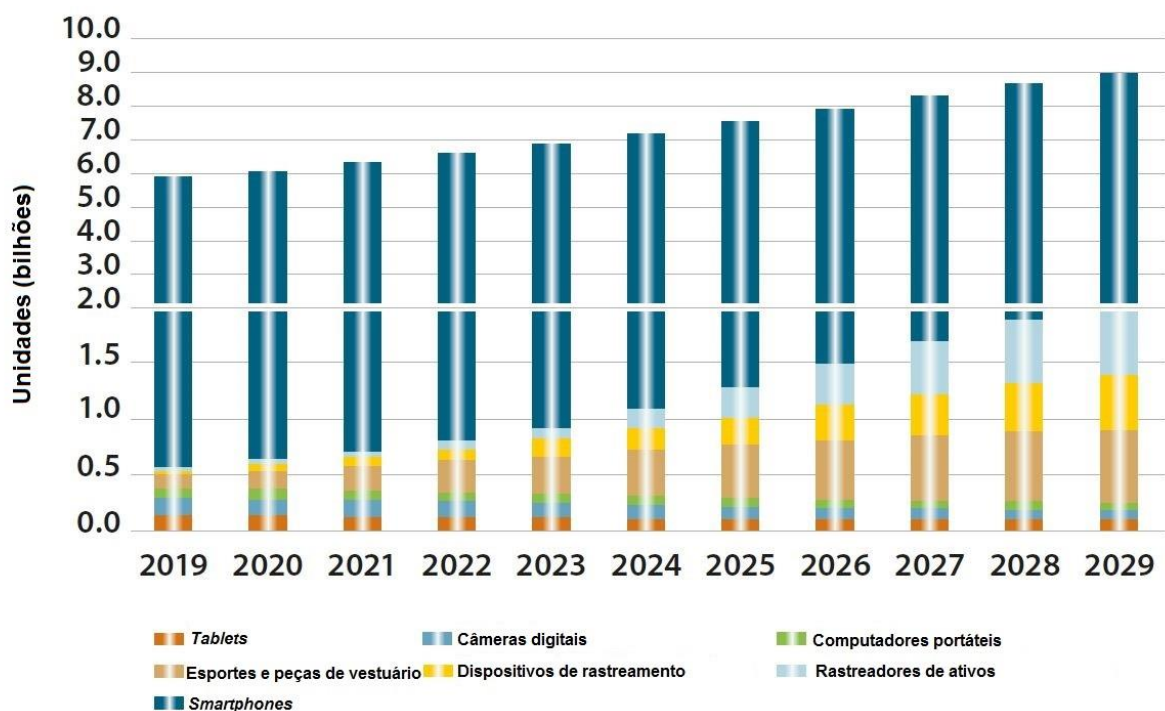
4.1 AQUISIÇÃO DE DADOS.....	36
4.1.1 Coleta de dados para o Experimento 1 (sem obstrução)	37
4.1.2 Coleta de dados para o Experimento 2 (com obstrução)	38
4.2 PROCESSAMENTO DE DADOS	40
4.2.1 Processamento de dados no <i>GNSS Analysis App</i>	40
4.2.2 Processamento de dados no <i>Leica Infinity</i>	41
4.2.3 Processamento de dados no IBGE-PPP	41
4.2.4 Análises estatísticas	42
5 RESULTADOS E ANÁLISES	45
5.1 RESULTADOS DO EXPERIMENTO 1 (SEM OBSTRUÇÃO)	45
5.1.1 Coordenadas e discrepâncias obtidas através do Experimento 1 (sem obstrução)	45
5.1.2 Análises estatísticas e acurácias em relação aos <i>softwares</i> – Experimento 1 (sem obstrução)	47
5.1.3 Análises estatísticas e acurácias em relação aos modos – Experimento 1 (sem obstrução)	48
5.2 RESULTADOS DO EXPERIMENTO 2 (COM OBSTRUÇÃO)	50
5.2.1 Coordenadas e discrepâncias obtidas através do Experimento 2 (sem obstrução)	50
5.2.2 Análises estatísticas e acurácias em relação ao AEM-LAGEH– Experimento 2 (com obstrução)	53
5.3 ANÁLISE DE INTERFERÊNCIAS E SALTOS DE CICLO	54
5.3.1 Interferências.....	54
5.3.2 Saltos de ciclo	56
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
6.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	58
REFERÊNCIAS.....	60

1 INTRODUÇÃO

O uso de antenas e receptores geodésicos empregados no posicionamento por satélites que integram o Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS – *Global Navigation Satellite System*) está consolidado em aplicações que requeiram os mais variados níveis de precisão.

A Agência Europeia de GNSS (GSA – *European GNSS Agency*) prevê que o número de usuários de *smartphones* em 2020 se aproxime de 3,5 bilhões, tornando, assim, o equipamento eletrônico mais utilizado no mundo (GSA, 2019b). Na FIGURA 1 são apresentados diversos tipos de dispositivos que empregam sensores GNSS, sendo que a maior parte destes estão presentes em *smartphones*, totalizando em torno de 5,5 bilhões em 2019. Além disso, percebe-se que, ao longo da década, está previsto um aumento na instalação de sensores GNSS em *smartphones*.

FIGURA 1 – SENSORES GNSS INSTALADOS POR TIPO DE DISPOSITIVO



FONTE: Adaptado de GSA (2019b).

Segundo Seyyedhasani et al. (2016) o sistema operacional Android, desenvolvido pela empresa Google, permite utilizar três serviços de localização para posicionar os dispositivos *smart*: serviços de rede, sensores GNSS e sistemas

combinados. Os serviços de rede se fundamentam nas redes de telecomunicação detectadas pelos aparelhos. Os sensores GNSS, por sua vez, recebem sinais oriundos de satélites para determinar a posição. De acordo com a Google Developers (2019a) para fornecer a localização através dos sistemas combinados (ou *Fused Location Provider* – Provedor de Localização Combinada), os aplicativos se baseiam na integração de sinais provenientes de múltiplas origens, como de redes de *internet* sem fio e dos sensores GNSS.

Quanto à qualidade posicional de sensores GNSS presentes em *smartphones* Pesyna Junior, Heath Junior e Humphreys (2014) afirmam que é possível atingir acurácia no nível de 2 a 3 metros em áreas pouco suscetíveis à influência do multicaminho. No entanto, em condições adversas a exatidão pode alcançar 10 metros ou mais. Neste âmbito, os autores mencionados ainda alegam que a principal limitação para a obtenção de precisão milimétrica com *smartphones* se concentra na dificuldade de a antena do aparelho suprimir o efeito de multicaminho.

Em monitoramentos para investigar deformações estruturais ou deslocamentos de massa espera-se atingir precisão milimétrica ou submilimétrica, uma vez que a variação de coordenadas nestas aplicações é significativa. Contudo, o custo elevado de antenas e receptores geodésicos exerce um fator limitante para o alcance de alta precisão. Entretanto, para certos casos, como levantamentos cadastrais, atualizações de cartas, posicionamento de embarcações para batimetria, orientação e correção geométrica de imagens de satélite de baixa/média resolução espacial; precisões na ordem do decímetro ou do metro são suficientes.

Neste contexto, a integração de sensores GNSS em dispositivos *smart*, como *smartphones*, *smartwatches* (relógios inteligentes) e *tablets*, surge como uma importante tecnologia que pode servir como alternativa para aplicações que não demandam alta precisão. Por outro lado, em estudos anteriores a maior restrição para o posicionamento através de *smartphones* era o fato de nenhum dado GNSS bruto ser disponibilizado como saída, uma vez que as soluções de posição eram calculadas internamente pelo módulo GNSS (REALINI et al., 2017).

Em maio de 2016, durante a conferência I/O 2016 a empresa Google anunciou a disponibilidade da obtenção de dados GNSS brutos para aparelhos com sistema operacional Android Nougat (N – 7ª versão) ou superior. Esta iniciativa permitiu, pela primeira vez, acesso às mensagens de navegação, observáveis Doppler, informações que possibilitam o cálculo de pseudodistância, de relógio e da diferença de fase da

onda portadora. A partir das observáveis e dados de navegação é possível expandir a aplicação de métodos de posicionamento aos dispositivos *smart* compatíveis com esta ferramenta, uma vez que antes eram restritas aos receptores geodésicos (CAMERON, 2016) (GSA, 2017).

Embora as conjunturas para a aquisição de posicionamento de alta precisão com *smartphones* eram limitadas a este anúncio, vários pesquisadores já haviam desenvolvido estratégias para contornar esta situação. Chen et al. (2014) propôs uma solução que dispensava o uso de dados brutos através do posicionamento pelo método de GNSS diferencial (DGNSS), na qual as correções às coordenadas eram fornecidas por uma estação de monitoramento contínuo. Seyyedhasani et al. (2016), por exemplo, desenvolveu um aplicativo na Interface de Programação de Aplicativos do Android (API – *Application Programming Interface*) para configurar o sistema de localização, já que não havia divulgação de como a estimativa de localização era gerada.

Contudo, em decorrência desta recente ferramenta, novas pesquisas começaram a fazer uso desta inovação anunciada pela Google. Como exemplos, pode-se mencionar Realini et al. (2017); Privat, Pascaud e Laurichesse (2018) e Gomes (2019). Neste sentido, os primeiros obtiveram precisão a nível decimétrico (sem resolução de ambiguidades) com um *tablet* através do método de posicionamento relativo estático-rápido. Já os segundos detalharam dois aplicativos para uso em Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) e realizaram experimentos em modo estático e cinemático, atingindo resultados inferiores ao metro no modo estático. Por fim, o último investigou a qualidade posicional de um *smartphone*, alcançando acurácia na ordem decimétrica nos modos relativo estático e PPP e, em caráter cinemático, a nível métrico.

Com base nesta ferramenta atual foram desenvolvidos aplicativos para processar e avaliar dados GNSS brutos a partir de um *smartphone*. A Google disponibilizou em 2016 o aplicativo *GNSS Logger* que grava dados brutos em um formato específico que, neste caso, podem ser processados e analisados através do *software GNSS Analysis App* (DIGGELEN; KHIDER, 2017) (GPS WORLD STAFF, 2017). Já a empresa Nottingham Scientific Ltda. (NSL) desenvolveu o aplicativo *rinex ON* que permite a geração de arquivos de observação e navegação no formato padrão RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*) (FLAMINGO, 2019).

Consequentemente, percebe-se uma demanda crescente no uso de dispositivos *smart* para posicionamento por satélites GNSS. Por este motivo, surge a intenção de se obter alta precisão, uma vez que estes dispositivos são vantajosos devido a sua praticidade e ao seu baixo custo.

Para este trabalho foi utilizado o *smartphone* modelo Mi 8 produzido pela fabricante Xiaomi. O Xiaomi Mi 8 é considerado o primeiro modelo de *smartphone* equipado com um sensor GNSS de dupla frequência (MI, 2019). O sensor GNSS presente no aparelho é o BCM47755, fabricado pela empresa Broadcom, que é capaz de coletar observações de várias constelações de satélites e suas determinadas frequências, sendo estes GPS (L1 e L5), GLONASS (L1), BeiDou (B1), Galileo (E1, E5a) e QZSS (L1 e L5) (BROADCOM, 2019) (FORTUNATO, 2018).

Em face do contexto exposto, a partir deste trabalho pretende-se investigar ruídos que podem ser capazes de influenciar a obtenção de uma solução acurada de um posicionamento GNSS utilizando *smartphones*. Foi considerado ruído o efeito de multicaminho, uma vez que depende da configuração da geometria do local de posicionamento. Levou-se em conta, também, que ruídos externos recebidos pelo aparelho possam ocorrer durante o rastreamento, como chamadas telefônicas no modo toque ou com a função vibração ativada. Para a realização deste trabalho foram comparados resultados provenientes de dois aplicativos na forma estática.

1.1 JUSTIFICATIVA

No contexto atual, os *smartphones* representam um dos dispositivos móveis mais utilizados no cotidiano mundial, como atesta a GSA (2019b). Este fato é constatado graças à disponibilidade de oferta de variados modelos e marcas, da praticidade em função do tamanho e do peso e das múltiplas funcionalidades fornecidas por esses equipamentos. Dentre muitas funções, a possibilidade de aquisição de dados brutos a partir de sensores GNSS destaca outro benefício dos *smartphones* compatíveis com esta ferramenta: o baixo custo perante os receptores geodésicos tradicionais, cujo grande potencial destes é a vantagem de se obter alta precisão de um ponto posicionado.

Gogoi et al. (2018) aponta que o multicaminho é uma das fontes de erro que mais contribui à degradação de um posicionamento GNSS empregando dispositivos

smart. Além do mais, Gomes (2019) considera que sinais externos, como chamadas telefônicas, possam afetar a obtenção de posição acurada a partir de um *smartphone*.

Com base nos estudos de Gogoi et al. (2018) e Gomes (2019) avaliar prováveis ruídos (multicaminho e chamadas telefônicas) que possam influenciar na qualidade de um posicionamento GNSS é fundamental diante da possibilidade de utilização de *smartphones* em aplicações na engenharia.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar ruídos que possam influenciar na qualidade do posicionamento a partir de um sensor GNSS presente em um *smartphone*.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Investigar a influência de ligações telefônicas em modo toque e com a função vibração ativada durante um posicionamento GNSS empregando um *smartphone*;
2. Analisar o efeito do multicaminho no rastreamento com o *smartphone* com a presença de obstruções;
3. Avaliar a eficiência do Atenuador do Efeito de Multicaminho (AEM-LAGEH) no levantamento com *smartphone*.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo será apresentada a fundamentação teórica baseada em literatura específica a respeito dos temas abordados para a realização deste trabalho.

2.1 GENERALIDADES SOBRE O GNSS

O GNSS (*Global Navigation Satellite System*) é um termo que denota a integração de vários sistemas de constelações de satélites que, por sua vez, fornecem informações de posicionamento, navegação e tempo. Os sinais de GNSS são disponibilizados por sistemas globais, regionais ou aumentados por satélites (SBAS – *Satellite-Based Augmented System*) (SEEBER, 2003, p. 211):

- Constelações globais: NAVSTAR-GPS (*Navigation Satellite with Time and Ranging* – EUA), GLONASS (*Global Navigation Satellite System* – Federação Russa), Galileo (União Europeia) e BeiDou (China);
- Constelação regional: QZSS (*Quasi-Zenith Satellite System* – Japão);
- Sistema aumentado: WAAS (*Wide Area Augmentation System* – EUA), EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay Service* – Europa), entre outros.

Os sistemas Galileo e BeiDou tem previsão de se tornarem completamente operacionais em 2020. O QUADRO 1 apresenta as características das constelações (GPS, 2019) (IAC, 2019) (GSA, 2019a) (BEIDOU, 2019) (EOPORTAL, 2019).

QUADRO 1 – SISTEMAS DE NAVEGAÇÃO POR SATÉLITES E SEUS RESPECTIVOS SEGMENTOS ESPACIAIS

(continua)

Sistemas	Satélites	Órbitas	Período orbital	Altura orbital	Frequências
NAVSTAR-GPS	31 (24 + 7 reservas)	6	11 h 58 min	20.200 km	L1: 1575 MHz L2: 1227 MHz L5: 1176 MHz
GLONASS	27 (24+ 2 reservas + 1 em testes)	3	11 h 15 min	19.100 km	L1: 1602 MHz L2: 1246 MHz
Galileo	30 (27 + 3 reservas)	3	14 h 05 min	23.222 km	E5a: 1176 MHz E5b: 1207 MHz E6: 1278 MHz E1: 1575 MHz
BeiDou	19 (em operação) 30 – Previsão 2020	3	12h 50 min	21.528 km	B1: 1575 MHz B2: 1207 MHz B3: 1268 MHz

QUADRO 1 – SISTEMAS DE NAVEGAÇÃO POR SATÉLITES E SEUS RESPECTIVOS SEGMENTOS ESPACIAIS

(conclusão)

Sistemas	Satélites	Órbitas	Período orbital	Altura orbital	Frequências
QZSS	4 (em operação) 7 – Previsão 2024	2	23 h 56 min	32.000 km	L1: 1575 MHz L2: 1227 MHz L5: 1176 MHz L6: 1278 MHz

FONTE: O autor (2019).

De forma geral, os sistemas de navegação por satélite são compostos por três segmentos principais: o segmento espacial, o segmento de controle e o segmento dos usuários (SUBIRANA; ZORNOZA; HERNÁNDEZ-PAJARES, 2013, p. 7).

O segmento espacial é formado pelas constelações de satélites GNSS, tendo por finalidade a geração e emissão dos sinais de código e de diferença de fase da onda portadora, bem como a transmissão das mensagens de navegação. O segmento de controle é responsável por operar e monitorar os satélites, assim como atualizar as mensagens de navegação transmitidas. Já o segmento dos usuários é composto pelos receptores GNSS que recebem os sinais oriundos dos satélites, com intuito de determinar coordenadas (LEICK, 1995) (SUBIRANA; ZORNOZA; HERNÁNDEZ-PAJARES, 2013, p. 7).

Detalhes específicos a respeito dos segmentos das constelações GNSS (NAVSTAR-GPS, GLONASS, Galileo e BeiDou) podem ser consultados em Leick (1995), Monico (2008) e Seeber (2003).

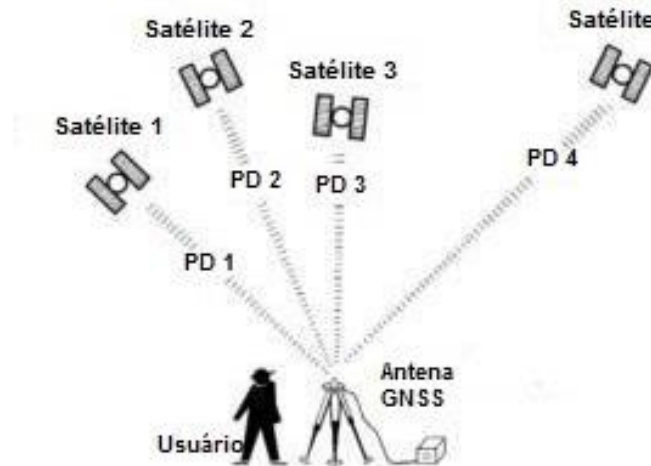
2.2 PRINCÍPIO DO POSICIONAMENTO POR SATÉLITES

O princípio fundamental de posicionamento por satélites consiste na medição das chamadas pseudodistâncias (PD) entre o usuário (antena GNSS), bem como na observação simultânea de, pelo menos, quatro satélites a partir de um receptor, conforme está ilustrado na FIGURA 2.

As coordenadas da antena/receptor GNSS do usuário podem ser determinadas a partir da medida de três pseudodistâncias, assim como do conhecimento da posição orbital do satélite. No entanto, uma quarta observação adicional é necessária, pois o relógio do satélite não está sincronizado com o relógio do receptor que, por sua vez, não está sincronizado com o sistema de tempo GNSS. Diversos erros inevitáveis, dentre eles a falta de sincronia entre os relógios, influências

causadas pela atmosfera e multicaminho, fazem com que a distância entre a antena e o satélite sejam diferentes da distância geométrica. Por isso, utiliza-se o termo *pseudodistância* (KRUEGER, 1994) (SEEBER, 2003, p. 211).

FIGURA 2 – PRINCÍPIO DO POSICIONAMENTO POR SATÉLITES



FONTE: Adaptado de Seeber (2003, p. 211).

2.2.1 Observáveis

A determinação das pseudodistâncias está baseada na utilização de duas observáveis fundamentais: a pseudodistância obtida a partir do código e a diferença de fase da onda portadora.

2.2.1.1 Pseudodistância

A pseudodistância obtida a partir do código é baseada em medições do tempo no instante da emissão do sinal pelo satélite (t^S) e da recepção deste pelo receptor (t_R) (LEICK, 1995):

$$PD(t) = c(t_R - t^S) \quad (2.1)$$

Onde:

- c : módulo da velocidade de propagação da luz no vácuo.

Caso a propagação do sinal emitido pelo satélite fosse realizada no vácuo e não sofresse interferências, o trajeto percorrido seria equivalente à distância geométrica entre o satélite e o receptor. Contudo, a pseudodistância está sujeita a erros ocasionados pela não-sincronia dos relógios, por atrasos causados pelas camadas da atmosfera (troposfera e ionosfera), por erros de órbita, pelo multicaminho e demais erros (ruídos, variações de centro de fase, etc.). Assim, a equação da pseudodistância a partir do código para um instante t pode ser escrita (SEEBER, 2003, p. 257):

$$PD(t) = c(t_R - t^S) = \rho_R^S + c(\delta t^S - \delta t_R) + c\delta_{TROP} (t) + c\delta_{IONO}(t) + c\delta_{ORB}(t) + m + \varepsilon \quad (2.2)$$

Onde:

- ρ_R^S : distância geométrica entre o satélite e o receptor;
- $(\delta t^S - \delta t_R)$: erro de sincronismo dos relógios do satélite e do receptor;
- δ_{TROP} : atraso na propagação do sinal devido à troposfera;
- δ_{IONO} : atraso na propagação do sinal devido à ionosfera;
- δ_{ORB} : erro de órbita;
- m : efeito de multicaminho;
- ε : demais erros (ruídos, centro de fase, entre outros).

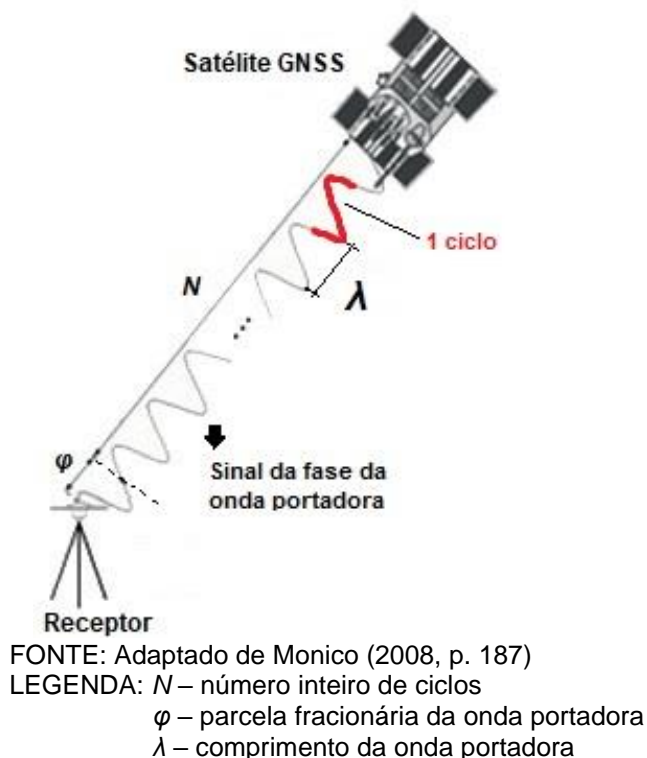
2.2.1.2 Diferença de fase da onda portadora

Uma observável mais precisa que o código é a fase da onda portadora. Enquanto o código apresenta um nível de ruído na ordem decimétrica a métrica, a diferença de fase da onda portadora varia entre 1 e 3 mm (MONICO, 2008, p. 186) (SEEBER, 2003, p. 256).

A fase da onda portadora é caracterizada pela diferença entre a fase do sinal emitida pelo satélite, recebida da antena do receptor, e a fase do sinal gerado pelo receptor, ambas no mesmo instante de recepção. Entretanto, este processo de determinação da pseudodistância a partir da diferença de fase não é capaz de quantificar o número inteiro N de ciclos (ondas) compreendido entre o receptor e o satélite (LEICK, 1995, p. 255).

Como o receptor mede a parcela fracionária da onda portadora (φ), que possui um comprimento de onda λ , é preciso estimar o número inteiro N de ciclos contados do instante da emissão do sinal pelo satélite até a primeira recepção pela antena do receptor. A este número inteiro N de ciclos dá-se o nome de *ambiguidades da fase*. O termo *fixar as ambiguidades* corresponde à contagem deste número inteiro de ciclos, a fim de determinar a pseudodistância compreendida entre o satélite e o receptor (FIGURA 3) (MONICO, 2008).

FIGURA 3 – FASE DA ONDA PORTADORA



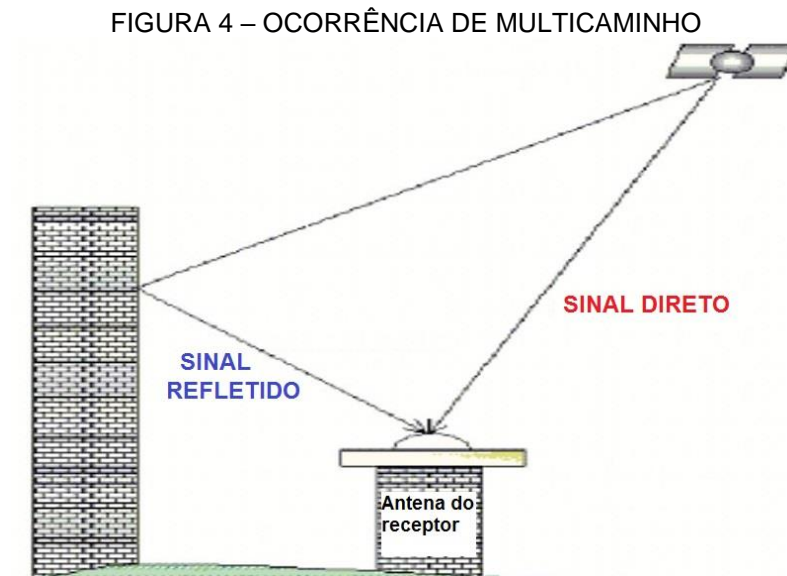
2.2.2 Erros sistemáticos que incidem nas observações GNSS

Deve-se reconhecer que observações provenientes de satélites estão sujeitas a erros grosseiros, aleatórios ou sistemáticos. As fontes de erros envolvidas são oriundas dos satélites (erros de órbita e relógio), da propagação do sinal (efeitos atmosféricos e multicaminho), do receptor/antena (variações de centro de fase e atrasos de *hardware*) e/ou da própria estação (multicaminho). Por isso, é necessário modelar, reduzir ou até eliminar tais erros, uma vez que estes degradam o posicionamento e a acurácia das coordenadas geodésicas de um ponto (SEEBER, 2003).

As fontes de erro que serão analisadas neste trabalho referem-se à influência do efeito de multicaminho e aos saltos de ciclo. Além disso, serão realizadas considerações a respeito da razão sinal-ruído (SNR) e da razão portadora-ruído (CNR), que possuem correlação com o multicaminho (BARBIERI, 2003). Detalhes acerca de demais erros podem ser consultados em Monico (2008) e Seeber (2003).

2.2.2.1 Multicaminho

Os sinais provenientes dos satélites podem ser recepcionados pela antena de forma direta e, em algumas situações, refletido em superfícies próximas (FIGURA 4). Estas superfícies atuam como *obstruções*, que podem ser edificações, veículos, massas d'água, muros, árvores, morros etc. Este fenômeno afeta as observáveis de código e de onda portadora, sendo considerado um dos fatores que mais ocasionam erros na qualidade do posicionamento (LEICK, 2004, p. 237).



FONTE: Adaptado de Polezel, Souza e Monico (2004).

Como o multicaminho depende das configurações geométricas do local em torno da antena, não é possível modelar matematicamente este efeito. Conforme afirma Seeber (2003, p. 318) uma das medidas para minimizar a influência do multicaminho seria empregar antenas do tipo *choke ring*. No entanto, as dimensões, o peso e o custo elevado dificultam a utilização deste tipo de antena. Além disso, um outro recurso seria a aplicação de materiais de alta absorção capazes de atenuar o multicaminho. Um exemplo de material é o AEM-LAGEH (Atenuador do Efeito de

Multicaminho), desenvolvido pelo Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia (LAGEH), que será descrito na Seção 3.2.2 (VISKI, 2012).

2.2.2.2 Salto de ciclo

A contagem do número inteiro de ciclos da diferença de fase da onda portadora permanece constante durante todo o processo do rastreamento caso não ocorra interrupção do sinal de um ou mais satélites. Esta descontinuidade pode ser ocasionada por obstruções, ruídos no sinal causado pelo multicaminho, bem como interferências no sinal. Esta interrupção do sinal não afeta a parcela fracionária da diferença de fase, no entanto acarreta uma perda na contagem do número inteiro de ciclos da onda portadora. Este fenômeno é denominado de *salto de ciclo* (*cycle slip*) (LEICK, 2004, p. 179-180).

A correção deste efeito pode ser realizada na etapa de pós-processamento dos dados. Para isso é necessário detectar o instante e a dimensão do local em que ocorreu o salto (SEEBER, 2003, p. 277).

2.2.2.3 Considerações a respeito da SNR e da CNR

Os sinais refletidos em obstruções sofrem atrasos na diferença de fase perante os sinais que são recebidos diretamente pela antena do receptor. Estes atrasos causados pelo multicaminho implicam mudanças na amplitude e na frequência do sinal direto de que, por sua vez, caracterizam o ruído do sinal. A potência do sinal ou a potência da fase em relação ao ruído denotam a razão sinal-ruído (SNR – *Signal-to-Noise Ratio*) e a razão portadora-ruído (CNR – *Carrier-to-Noise Ratio*), respectivamente.

Os receptores e antenas GNSS geram, a partir de um campo elétrico, uma informação denominada razão sinal-ruído (SNR), que é estimada a partir do quociente da potência do sinal significativo (P_S) pela potência do ruído indesejado (P_R), em watts (LAU; MOK, 1999, p. 187):

$$SNR = \frac{P_S}{P_R}$$

(2.3)

Já a razão portadora-ruído (CNR) ou C/N_0 é a potência real recebida na antena GNSS, sendo dada pela razão da potência efetiva da fase da onda portadora (C ou P_F) pela potência do ruído (N_0 ou P_R), em watts (LAU; MOK, 1999, p. 187):

$$CNR = \frac{C}{N_0} = \frac{P_F}{P_R} \quad (2.4)$$

Nota-se através das equações 2.3 e 2.4 que quanto maior a SNR ou CNR, mais potente será o sinal e, conseqüentemente, menor será o ruído (LAU; MOK, 1998, p. 186).

Barbieri et al. (2003) e Lau e Mok (1998) afirmam que a C/N_0 é um dos parâmetros principais para avaliar o desempenho de um receptor, uma vez que a potência efetiva na portadora sofre influência de fatores como o multicaminho, a atmosfera e de sinais provenientes de satélites em baixos ângulos de elevação. Pode-se dizer, então, que a correlação da SNR/CNR com estes fatores contribui diretamente para a obtenção de acurácia em um posicionamento GNSS.

2.3 MÉTODOS DE POSICIONAMENTO POR SATÉLITES

Para a execução deste trabalho foram empregados os seguintes métodos de posicionamento, que serão descritos a seguir: por ponto (ou absoluto), por ponto preciso (PPP) e relativo estático.

2.3.1 Método de posicionamento por ponto (absoluto)

O princípio básico da determinação tridimensional de coordenadas através do método de posicionamento absoluto se fundamenta nas medições simultâneas das pseudodistâncias compreendidas entre a antena do receptor e, pelo menos quatro, satélites. Na prática, é mais adequado que se observe não apenas quatro, mas o maior número de satélites visíveis provenientes de múltiplas constelações (KRUEGER, 1996, p. 11).

No método absoluto é possível obter coordenadas no instante do posicionamento empregando a pseudodistância a partir do código. Pode-se, também,

incluir, caso disponível, observações referentes a diferença de fase. Entretanto, várias fontes de erros sistemáticos que incidem nas observáveis dificultam a correção e o refinamento da solução em tempo real. Dentre os principais erros, pode-se mencionar o erro de órbita e de relógio, da influência dos efeitos atmosféricos, do multicaminho, entre outros (MONICO, 2008, p. 283-284).

Este método pode ser executado de forma estática ou cinemática empregando apenas um receptor. A precisão esperada, conforme Seeber (2003, p. 298), para o método absoluto é de 13 m para componente horizontal e de 22 m para vertical (ambas em 95% de probabilidade) e, por isso, pode ser aplicado em navegação que não requeira alta precisão.

2.3.2 Método de posicionamento por ponto preciso (PPP)

As observações coletadas através do método absoluto em tempo real podem ser pós-processadas a fim de se obter melhor precisão. Por isso é necessário aplicar órbitas precisas dos satélites ao invés das efemérides transmitidas, bem como incluir correções dos relógios dos satélites e modelos para minimizar os efeitos atmosféricos.

Para empregar o PPP é necessário coletar dados por receptores de uma ou de duas frequências e utilizar efemérides precisas e correções para os relógios dos satélites para cada instante de observação. A posição dos satélites calculada a partir das órbitas precisas é fornecida por institutos independentes, tal como o IGS (*International GNSS Service* – Serviço Internacional de GNSS). A precisão esperada para o PPP em modo estático é de poucos centímetros e subdecimétrica em caráter cinemático (LEICK, 2004, p. 254).

A vantagem do PPP é que não depende de uma linha de base formada entre duas ou mais estações, muito menos do uso de mais de um receptor/antena GNSS. Outro benefício do método é a possibilidade de realizar o pós-processamento através de serviços *on-line* disponibilizados gratuitamente por agências, como o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) ou o NRCan (*Natural Resources Canada*).

2.3.2.1 IBGE-PPP

O IBGE-PPP é um serviço *on-line* e gratuito destinado para o pós-processamento de dados GNSS coletados através do método absoluto em modo

estático ou cinemático. Este serviço faz uso do programa CSRS-PPP desenvolvido pela agência canadense NRCan (IBGE, 2009a).

Através do IBGE-PPP é possível obter coordenadas referenciadas ao sistema SIRGAS2000 ao processar dados GNSS em formato RINEX coletados por receptores de uma ou duas frequências.

De acordo com IBGE (2009a) para obter solução precisa pelo PPP é necessário empregar órbitas precisas e correções dos relógios; correções de centro de fase das antenas do satélite e do receptor; modelo de carga oceânica, de velocidade e de ondulação geoidal; e funções para correção dos efeitos de troposfera e ionosfera.

2.3.3 Método de posicionamento relativo

No método de posicionamento relativo a posição é determinada a partir da observação simultânea de dois ou mais satélites em, pelo menos, duas estações distintas. Por isso, o usuário deve dispor de dois ou mais receptores, sendo, no mínimo, um para ocupar uma estação fixa de coordenadas conhecidas, denominada de *estação base*. Este método é efetuado mediante aplicação das observáveis de código, da diferença de fase ou do código suavizado pela onda portadora (KRUEGER, 1996).

A principal contribuição deste método está na redução de erros através do processo conhecido como diferenciação entre as observações simultâneas de satélites em comum. A partir deste método é possível minimizar o erro do relógio do satélite, de órbita e da propagação o sinal na atmosfera (MONICO, 2008).

Um fator que influencia a precisão do posicionamento relativo é o tempo de ocupação da estação e o comprimento da distância entre os receptores (linha de base), pois quanto menor for a linha de base, mais similares serão os erros a serem reduzidos (IBGE, 2017).

Este método permite realizar posicionamento em forma estática ou cinemática. No modo relativo estático, tanto o receptor da estação base quanto o da estação com coordenadas a determinar devem permanecer estacionários durante todo o rastreamento. A duração do levantamento varia de 20 minutos até várias horas, pois depende do comprimento da linha de base, da presença de obstruções no local das

estações e das condições ionosféricas da região. A precisão atingida com este método varia de 0,1 a 1 ppm (MONICO, 2008).

2.4 ACESSO A DADOS GNSS BRUTOS NA PLATAFORMA ANDROID

O acesso a dados brutos em *smartphones* com sistema operacional Android pode ser dividido entre antes do Android 7 (7ª versão, também chamado de Android Nougat) e após do Android 7.

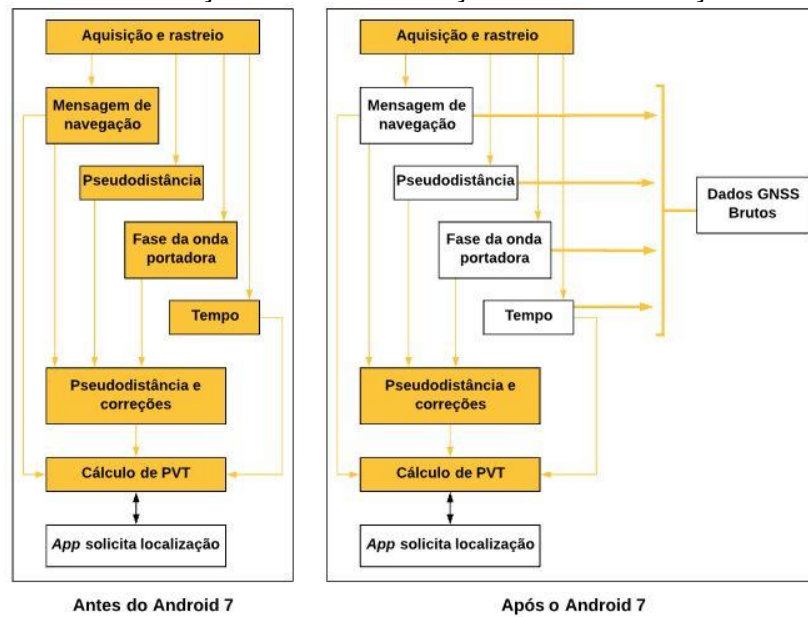
Antes do Android 7 o método mais tradicional de aquisição de posição era através de uma combinação entre sistemas, como sensor GNSS, pelas redes de *internet* sem fio e de telefonia móvel. Através deste recurso a obtenção de dados brutos era realizada internamente pelo módulo GNSS que, por sua vez, não oferecia acesso ao usuário. O cálculo das pseudodistâncias, de fase e tempo era computado pelo módulo e a solução de posição, velocidade e tempo era informada diretamente como saída (GSA, 2017).

A partir do lançamento do Android 7 em 22 de agosto de 2016 os usuários de dispositivos *smart* compatíveis com esta ferramenta passaram a ter acesso direto tanto à solução de posição quanto às informações brutas fornecidas pelo sensor GNSS, tais como (GSA, 2017):

- Relógio GNSS: tempo do receptor (permite calcular as pseudodistâncias);
- Mensagens de navegação de constelações de satélite, como GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou e QZSS;
- Observações GNSS: tempo recebido do satélite (permite calcular as pseudodistâncias), código e fase da onda portadora.

Na FIGURA 5 é apresentada uma comparação entre os dois métodos de aquisição de localização antes e depois do lançamento do sistema operacional Android 7, no qual dados acessíveis ao usuário são indicados pelas caixas brancas. A GSA (2017) ressalta que não são fornecidas diretamente as medidas de pseudodistância, mas parâmetros necessários que viabilizam calculá-las.

FIGURA 5 – COMPARAÇÃO ENTRE AQUISIÇÃO DE LOCALIZAÇÃO NO ANDROID



FONTE: Adaptado GSA (2017).

LEGENDA: PVT – Posição, Velocidade e Tempo.

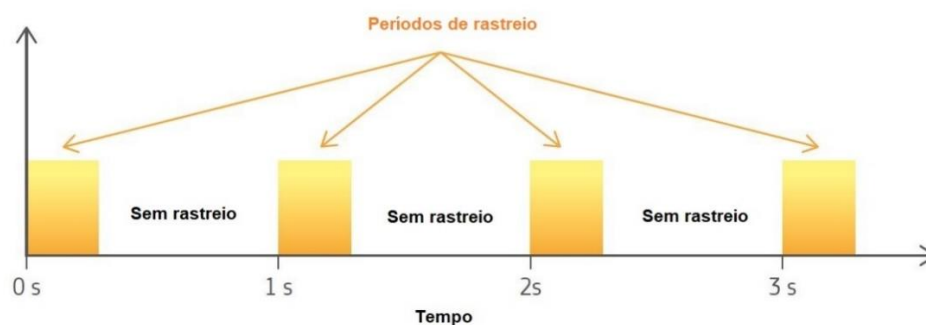
App – Aplicativo.

2.4.1 Duty cycle

O uso contínuo de sensores GNSS consome excessivamente a bateria do *smartphone*. Por este motivo, os fabricantes, para priorizar o consumo de energia do aparelho, implementaram uma técnica que faz com que o sensor GNSS permaneça ativo apenas por uma fração de cada segundo. Esta técnica é conhecida como *duty cycle*, ou ciclo de trabalho (FIGURA 6) (BANVILLE; DIGGELEN, 2016).

De acordo com uma relação de várias marcas e modelos de *smartphones* presente em Android Developers (2019a) nota-se que nem todos os aparelhos permitem desativar o *duty cycle*. Um exemplo destes é o modelo Mi 8 da fabricante Xiaomi, utilizado nesta pesquisa, que não permite desabilitar esta função.

FIGURA 6 – DUTY CYCLE VS. TEMPO



FONTE: Adaptado GSA (2017b).

A presença do *duty cycle* acarreta a ocorrência de saltos de ciclo durante o posicionamento. Este fato afeta diretamente a continuidade da observação da fase da onda portadora, que necessita da resolução das ambiguidades para se obter acurácia posicional. (GOGOI et al., 2018).

Neste sentido, uma solução mencionada por Gogoi et al (2018), para contornar a dificuldade de fixação das ambiguidades, consiste em combinar o código e fase através de um procedimento, que se fundamenta na equação de Lachapelle, a fim de suavizar a onda portadora através do código, atingindo acurácia na ordem do decímetro. Como o código é menos preciso que a fase, esta solução oferece um ganho ao resultar uma precisão intermediária.

3 ÁREA DE ESTUDO E MATERIAIS

Neste capítulo serão apresentados a área de estudo, os materiais, os *softwares* e os aplicativos utilizados.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo deste trabalho foi estabelecida dentro do Campus do Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná (UFPR), situado na Avenida Coronel Francisco Heráclito dos Santos, nº 100, bairro Jardim das Américas, Curitiba-PR.

Os Experimentos 1 e 2 deste trabalho foram efetuados no terraço do prédio anexo ao Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia (LAGEH), onde outrora funcionara um laboratório de observações astronômicas (FIGURA 7).

FIGURA 7 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO



FONTE: O autor (2019).

O terraço é composto por três pilares de concreto pertencentes à Base de Calibrações de Antenas GNSS da UFPR (BCAL/UFPR), denominados Pilar 1000 (Oeste), Pilar 2000 (Norte) e Pilar 3000 (Sul). Cada pilar é composto por um dispositivo de centragem forçada fixado em sua base superior.

A localização dos pilares no terraço do prédio é estratégica para evitar a influência do efeito de multicaminho. Segundo investigação conduzida por Huinca (2009), foi constatado que o pilar mais afetado pelo multicaminho é o Pilar 3000, seguido do Pilar 1000 e do Pilar 2000.

Para a realização dos experimentos utilizou-se o Pilar 2000 (FIGURA 8) em duas situações: uma livre de obstruções (Experimento 1) e outra com a presença de

uma obstrução localizada ao lado do pilar (Experimento 2), conforme está descrito no QUADRO 2.

FIGURA 8 – PILAR 2000



FONTE: O autor (2019).

QUADRO 2 – EXPERIMENTOS

Experimento	Condição	Forma de posicionamento	Local
1	Livre de obstruções	Estático	Pilar 2000
2	Presença de obstrução	Estático	Pilar 2000

FONTE: O autor (2019).

3.2 EQUIPAMENTOS

3.2.1 *Smartphone*

Para este trabalho foi empregado o *smartphone* Xiaomi Mi 8, uma vez que é compatível com a ferramenta que permite a gravação e obtenção de dados GNSS brutos através de seu sistema operacional atual (Android Pie – 9ª versão). As especificações do Xiaomi Mi 8 estão detalhadas no QUADRO 3.

QUADRO 3 – ESPECIFICAÇÕES DO SMARTPHONE XIAOMI MI 8

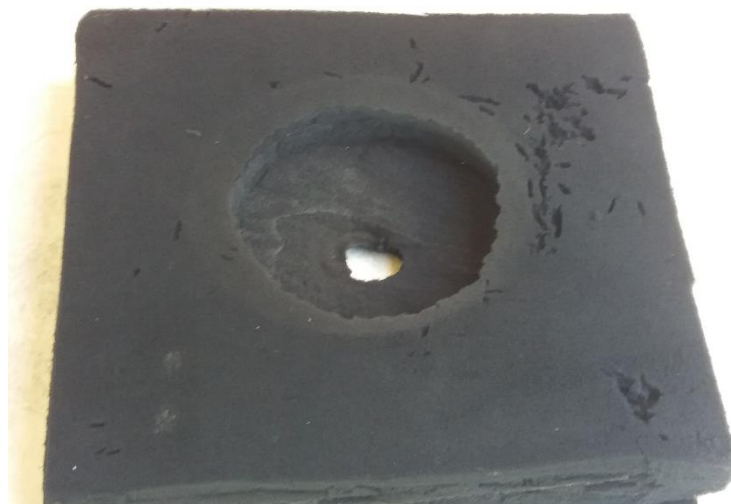
Características	Especificações
Fabricante	Xiaomi
Modelo	Mi 8
Lançamento	Maio de 2018
Dimensões	154,9 mm (altura) x 74,8 (largura) x 7,6 mm (espessura)
Peso	175 g
Armazenamento	64 GB
Memória RAM	6 GB
Sistema operacional	Android
Versão do sistema operacional atual	Pie (9ª versão)
Sensor de navegação e posição	GPS (L1 e L5), Galileo (E1 e E5a), QZSS (L1 e L5), GLONASS (L1) e Beidou (B1)
Sensores	
Acelerômetro	Sim
Giroscópio	Sim
Magnetômetro	Sim
Motor de vibração	Sim
Barômetro	Sim

FONTE: MI (2019).

3.2.2 Atenuador do Efeito de Multicaminho

O Atenuador do Efeito de Multicaminho (AEM-LAGEH), elaborado pelo Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia, é um material capaz de minimizar o efeito proveniente do multicaminho em posicionamentos de alta precisão. O AEM-LAGEH (FIGURA 9) foi desenvolvido empregando a tecnologia capaz de refletir ou absorver ondas eletromagnéticas, transformando-as em calor. (VISKI, 2012).

FIGURA 9 – ATENUADOR DO EFEITO DE MULTICAMINHO



FONTE: O autor (2019).

3.3 APLICATIVOS E SOFTWARES

Utilizou-se neste trabalho que os *aplicativos* foram empregados no *smartphone* a fim de coletar dados. Já os *softwares* (programas computacionais) foram instalados e utilizados em computadores com o intuito de processar os dados.

A escolha dos aplicativos empregados seguiu o critério de compatibilidade com a versão atual do sistema operacional Android presente no Xiaomi Mi 8.

Foram empregados dois aplicativos capazes de registrar dados provenientes de múltiplas constelações de satélites GNSS e suas respectivas frequências: o *GNSS Logger* e o *rinex ON*. No QUADRO 4 são descritas as especificações de cada aplicativo utilizado.

QUADRO 4 – ESPECIFICAÇÕES DOS APLICATIVOS

Aplicativos	Lançamento	Versão atual	Desenvolvedor
<i>GNSS Logger</i>	26 de agosto de 2017	2.0.0.1	Google
<i>rinex ON</i>	30 de maio de 2018	3.03	Nottingham Scientific Ltd. (NSL)

FONTE: O autor (2019).

Já os *softwares* foram utilizados para o processamento e análise dos dados obtidos através dos aplicativos. Os arquivos procedentes do *GNSS Logger* foram processados e analisados no *software GNSS Analysis App* que, em combinação com o *GNSS Logger*, integram um conjunto de ferramentas desenvolvido pela Google denominado de *GNSS Analysis Tools*. Já os dados coletados em formato RINEX foram tratados no programa comercial *Leica Infinity* e no serviço IBGE-PPP. Além disso, foram realizadas conversões e transformações de coordenadas através de dois *softwares*: o *AstGeoTop* e o *ProGrid*.

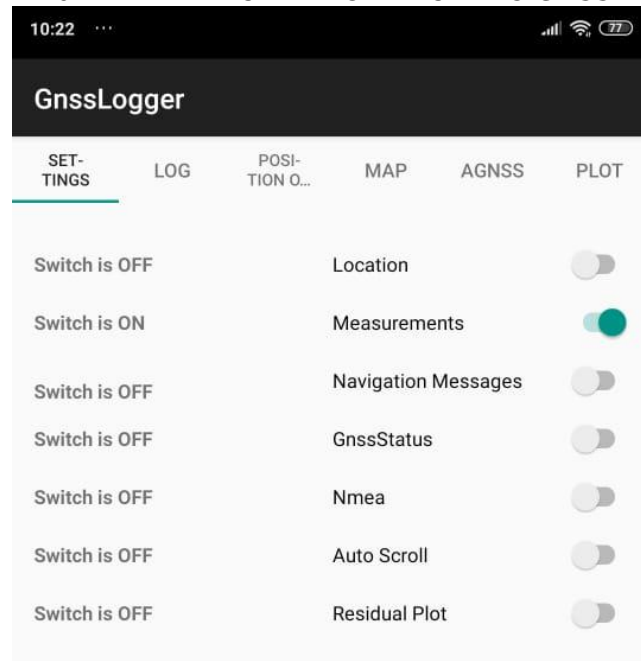
3.3.1 *GNSS Analysis Tools*

O *GNSS Analysis Tools* é um conjunto de ferramentas publicado pela empresa Google e que tem o propósito de gravar, processar e analisar dados GNSS brutos oriundos de um *smartphone* (DIGGELEN; KHIDER, 2018).

A aquisição de dados GNSS brutos em um formato específico é efetuada através do aplicativo *GNSS Logger*, fornecido gratuitamente pela Google através do site GitHub (<https://github.com/google/gps-measurement-tools/releases/tag/2.0.0.1>).

A FIGURA 10 ilustra a tela principal do aplicativo *GNSS Logger* capturada diretamente do Mi 8.

FIGURA 10 – TELA PRINCIPAL DO APLICATIVO *GNSS LOGGER*

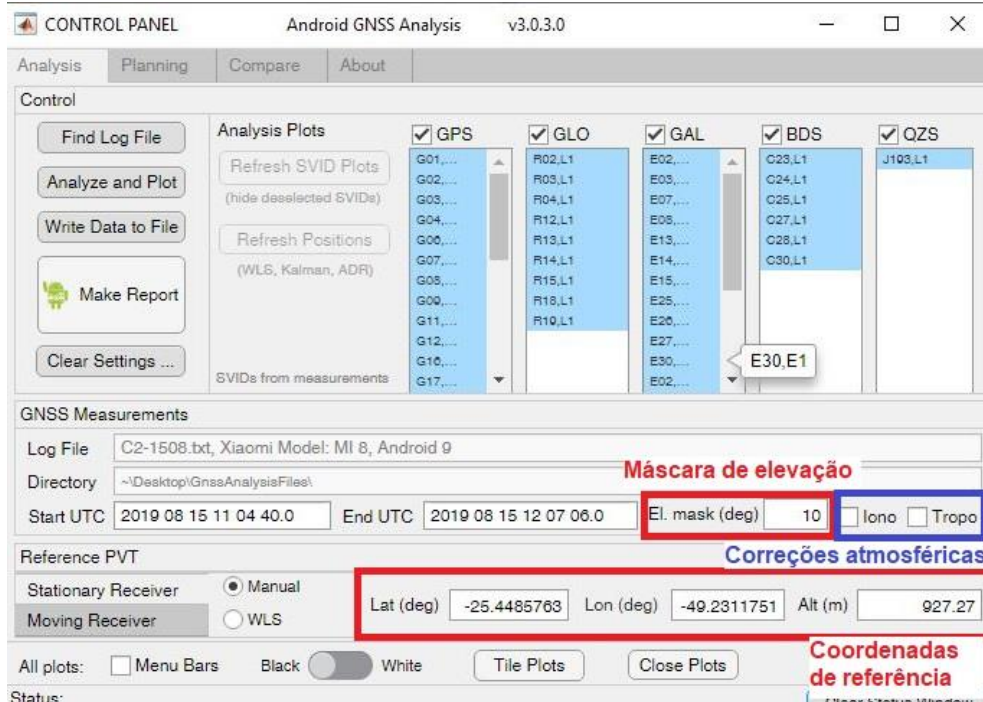


FONTE: O autor (2019).

As observações brutas registradas pelo *GNSS Logger* em seu formato específico são compatíveis com o *software* de processamento e análises *GNSS Analysis App*, desenvolvido também pela Google. Atualmente o *GNSS Analysis App* está em sua versão 3.0.3.0.

Como resultados do processamento o *GNSS Analysis App* (FIGURA 11) possibilita para análise dados de C/N_0 , de trajetória percorrida pelos satélites das diferentes constelações, de informações do relógio, erros cometidos nas observáveis e acurácia do posicionamento. O método de processamento realizado pelo *software* se assemelha a um Posicionamento por Ponto Preciso (PPP), uma vez que faz uso de efemérides precisas e correções de relógio fornecidas pelo IGS e aplica, opcionalmente, modelos de troposfera e ionosfera.

FIGURA 11 – PAINEL DE CONTROLE DO SOFTWARE GNSS ANALYSIS APP



FONTE: O autor (2019).

No que diz respeito ao posicionamento, o *GNSS Analysis App* versão 3.0.3.0 gera três soluções para a determinação das posições (GOOGLE DEVELOPERS, 2019b):

- *A partir da pseudodistância bruta*: solução ponderada por mínimos quadrados usando as pseudodistâncias brutas, com pesos equivalentes às incertezas destas. Dentre todas as soluções, a pseudodistância é a que apresenta mais ruído;
- *Filtro de Kalman*: usa a solução ponderada de posição e resultados de velocidade como parâmetros de entrada. A solução de posição gerada é mais suavizada que a pseudodistância bruta;
- *A partir da fase da onda portadora*: se disponível, a posição relativa é calculada inteiramente com valores de fase e, por este motivo, resulta em uma solução de posicionamento mais precisa do que por Filtro de Kalman ou pela pseudodistância bruta.

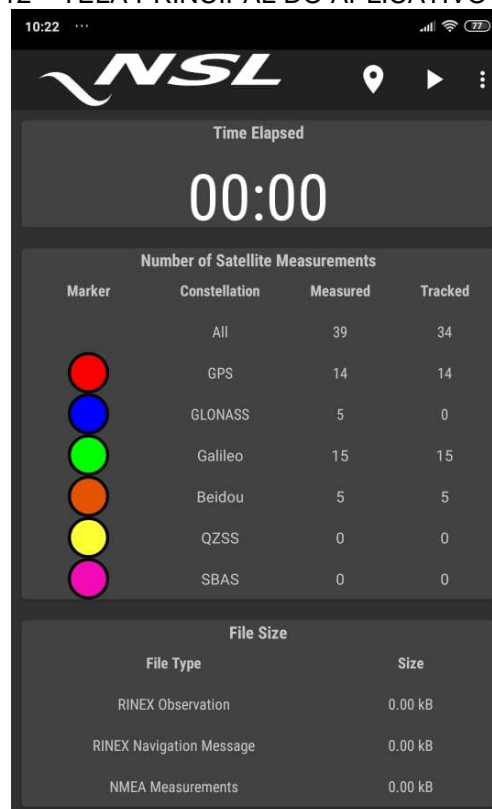
3.3.2 rinex ON

Lançado em 30 de maio de 2018 pela empresa Nottingham Scientific Ltd. (FLAMINGO, 2019), o *rinex ON* é um aplicativo para dispositivos *smart* que utiliza

observações GNSS brutas para gerar arquivos RINEX versão 3.03 de observação e navegação (FIGURA 12).

A versão atual do aplicativo permite produzir arquivos de observação para várias constelações (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS e sistemas aumentados) e mensagens de navegação apenas para os sistemas GPS e GLONASS. Além do mais, o *rinex ON* permite gravar arquivos no formato NMEA (*National Maritime Electronic Association*) (FLAMINGO, 2019).

FIGURA 12 – TELA PRINCIPAL DO APLICATIVO *RINEX ON*



FONTE: O autor (2019).

3.3.3 Leica Infinity

O *Leica Infinity* é um *software* desenvolvido pela empresa Leica Geosystems, projetado para gerenciar, processar, analisar e avaliar a qualidade de dados medidos em um levantamento de campo. Este programa processa observações provenientes de estações totais, níveis digitais e de receptores GNSS (LEICA GEOSYSTEMS, 2019). A versão do *Leica Infinity* empregada neste trabalho permite apenas processar dados referentes aos sistemas GPS, GLONASS e Galileo.

4 METODOLOGIA

4.1 AQUISIÇÃO DE DADOS

Em todas as campanhas de coleta de dados foram utilizados os aplicativos *GNSS Logger* e o *rinex ON* instalados no *smartphone* Xiaomi Mi 8. Foram realizados dois experimentos, que serão descritos nas seções 4.1.1 e 4.1.2.

Vale destacar que durante os experimentos não foi possível determinar com exatidão a origem do ponto de referência da antena do *smartphone*, ou seja, a localização do sensor GNSS onde se estima a posição do aparelho através de observações provenientes dos satélites. Gomes (2019), no entanto, afirma que é provável que o sensor GNSS esteja situado na região superior do aparelho, indicada na FIGURA 13.

FIGURA 13 – VISÃO INTERNA DO XIAOMI MI 8



FONTE: Gomes (2019, p. 54).

Para afixar o Mi 8 sobre o dispositivo de centragem forçada do Pilar 2000 foi necessário adaptar um suporte capaz de manter o *smartphone* na posição vertical, conforme ilustra a FIGURA 14. Este suporte foi produzido utilizando um cano de PVC (policloreto de vinila) com, aproximadamente, 12,5 cm de altura.

Considerando que o sensor GNSS do Xiaomi Mi 8 esteja localizado na região superior do *smartphone*, têm-se uma imprecisão de aproximadamente 18 cm correspondente à distância entre a base do Pilar 2000 até a parte superior do Mi 8, conforme está indicado na FIGURA 14.

O procedimento de coleta de dados tanto no Experimento 1 quanto Experimento 2 consistiu em acoplar o Xiaomi Mi 8 verticalmente (com exceção da

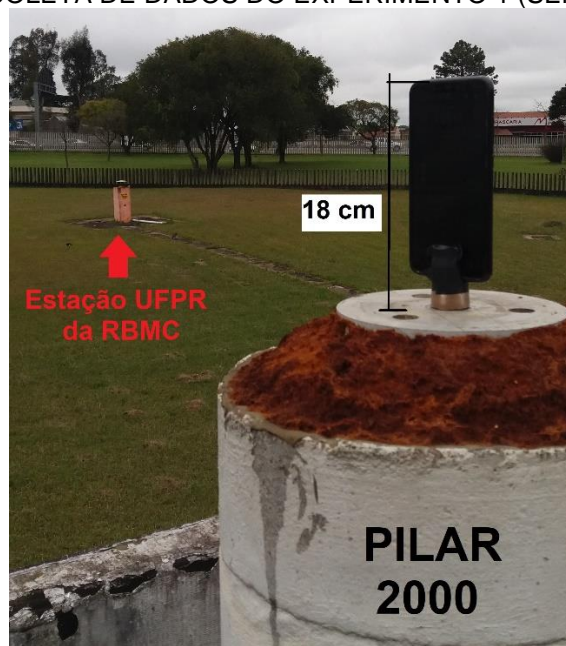
campanha 12) ao dispositivo de centragem forçada do Pilar 2000 com o auxílio do suporte. Nos experimentos de coleta de dados não foi considerado o *duty cycle*, uma vez que o *smartphone* Xiaomi Mi 8 não permite desabilitar tal função.

Em alguns dos experimentos conduzidos por Gomes (2019) ocorreu superaquecimento do Xiaomi Mi 8 que, por sua vez, inviabiliza a coleta de dados devido à restrição de uso de determinados sensores quando a temperatura do aparelho estiver muito elevada. Por este motivo, as campanhas do Experimento 1 e 2 foram efetuadas no período da manhã entre 08h00 e 09h25, com duração mínima de uma hora.

4.1.1 Coleta de dados para o Experimento 1 (sem obstrução)

As campanhas foram realizadas na forma estática em uma área livre de obstruções, com o *smartphone* posicionado verticalmente (FIGURA 14), empregando três modos configurados no Mi 8: modo avião, modo vibração e modo toque. Durante o período da aquisição de dados foram efetuados ao Mi 8 duas interferências caracterizadas por ligações telefônicas, tanto com a função vibração ativada quanto no modo toque sonoro. Os detalhes a respeito das campanhas do Experimento 1 estão especificados no QUADRO 5.

FIGURA 14 – COLETA DE DADOS DO EXPERIMENTO 1 (SEM OBSTRUÇÃO)



FONTE: O autor (2019).

QUADRO 5 – CAMPANHAS DO EXPERIMENTO 1 (SEM OBSTRUÇÃO)

Campanha	Data	Modo	Duração	Aplicativo	Interferências
1	14/08/2019	Avião	65min57s	<i>GNSS Logger</i>	Nenhuma
2	15/08/2019	Vibração	62min26s	<i>GNSS Logger</i>	08h27 e 08h50
3	16/08/2019	Toque	63min15s	<i>GNSS Logger</i>	08h24 e 08h40
4	20/11/2019	Avião	63min14s	<i>rinex On</i>	Nenhuma
5	21/11/2019	Vibração	65min18s	<i>rinex On</i>	08h25, 08h40 e 09h00
6	22/11/2019	Toque	85min45s	<i>rinex On</i>	08h29 e 08h50

FONTE: O autor (2019).

A uma distância aproximada de 30 metros do Pilar 2000 está localizada a estação UFPR pertencente à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), conforme indicada na FIGURA 14. A estação UFPR foi utilizada como estação de referência quando foram realizados processamentos de dados através do método de posicionamento relativo estático.

Posteriormente, os dados obtidos através do *GNSS Logger* foram processados e analisados pelo *software GNSS Analysis App*. Já as observações coletadas e transformadas em arquivos RINEX pelo aplicativo *rinex ON* foram processadas no *Leica Infinity* e, também, enviadas para o serviço do IBGE-PPP.

4.1.2 Coleta de dados para o Experimento 2 (com obstrução)

No Experimento 2, para analisar o efeito de multicaminho durante o posicionamento, foi posicionada uma obstrução a uma distância de aproximadamente 70 cm do pilar composta por uma placa rígida de plástico amparada por tábuas de madeira (FIGURA 15).

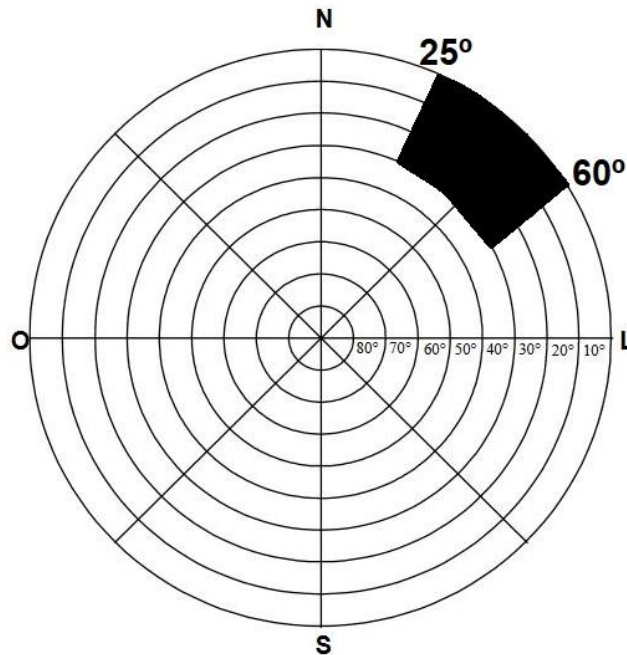
FIGURA 15 – COLETA DE DADOS DO EXPERIMENTO 2 (COM OBSTRUÇÃO)



FONTE: O autor (2019).

Através do diagrama de obstruções ilustrado pela FIGURA 16 percebe-se que a placa se localiza entre os azimutes 25° e 60° , contado a partir do norte magnético, e a uma elevação de 30° acima da linha do horizonte.

FIGURA 16 – DIAGRAMA DE OBSTRUÇÕES DO PILAR 2000 DURANTE EXPERIMENTO 2



FONTE: O autor (2019).

Além disso, em algumas campanhas empregou-se o material Atenuador do Efeito de Multicaminho (AEM-LAGEH) a fim de avaliar sua eficiência. Foram realizadas coleta de dados posicionando o *smartphone* tanto verticalmente quanto horizontalmente (FIGURA 17).

FIGURA 17 – COLETA DE DADOS DO EXPERIMENTO 2 (COM OBSTRUÇÃO) EMPREGANDO O AEM-LAGEH





FONTE: O autor (2019).

LEGENDA: a) *smartphone* posicionado verticalmente

b) *smartphone* posicionado horizontalmente

As campanhas foram realizadas de forma estática empregando apenas o modo avião, visto que somente será analisado o efeito de multicaminho neste Experimento. No entanto, no final da aquisição de dados da campanha 8 houve superaquecimento do *smartphone* e na campanha 7 ocorreu o disparo do despertador (alarme) com modo vibração ativado. No QUADRO 6 constam os detalhes de cada uma das campanhas do Experimento 2.

QUADRO 6 – CAMPANHAS DO EXPERIMENTO 2 (COM OBSTRUÇÃO)

Campanha	Data	Modo	Duração	Aplicativo	AEM	Interferências
7	08/10/2019	Avião	63min34s	GNSS Logger	Sim	Alarme (vibração) de 08h55 às 09h10
8	09/10/2019	Avião	56min17s	GNSS Logger	Sim	Superaquecimento
9	15/10/2019	Avião	62min43s	GNSS Logger	Não	Não houve
10	16/10/2019	Avião	67min16s	rinex On	Não	Não houve
11	22/10/2019	Avião	64min04s	rinex On	Sim	Não houve
12	23/10/2019	Avião	66min17s	GNSS Logger	Sim	Mi 8 horizontalmente no AEM

FONTE: O autor (2019).

4.2 PROCESSAMENTO DE DADOS

4.2.1 Processamento de dados no *GNSS Analysis App*

Os processamentos dos dados do Experimento 1 e 2 adquiridos no formato específico do aplicativo *GNSS Logger* foram efetuados no *software GNSS Analysis App*. Em ambos experimentos foi aplicada uma máscara de elevação de 10° , bem como a adoção de modelos de troposfera e ionosfera presentes no *software* a fim de minimizar o efeito causado pelas camadas da atmosfera.

As características referentes aos processamentos no *GNSS Analysis App* constam no QUADRO 7:

QUADRO 7 – PROCESSAMENTOS ATRAVÉS DO GNSS ANALYSIS APP

Experimento	Campanha	Máscara de elevação	Efeméride	Solução	Constelações	Característica
1 (sem obstrução)	1	10°	Rápida	Código	GPS / GLONASS / Galileo / BeiDou	Avião
	2					Vibração
	3					Toque
2 (com obstrução)	7	10°	Rápida	Código	GPS / GLONASS / Galileo / BeiDou	AEM
	8					AEM
	9					Sem AEM
	12					AEM (horiz)

FONTE: O autor (2019).

NOTA: Efemérides rápidas fornecidas pelo IGS através do site <ftp://igs.bkg.bund.de/IGS/BRDC/2019/228/>

4.2.2 Processamento de dados no *Leica Infinity*

O processamento dos dados adquiridos em formato RINEX versão 3.03 através do aplicativo *rinex ON* no Experimento 1 e 2 foi realizado no programa *Leica Infinity*.

O método selecionado para o processamento foi o posicionamento relativo estático. Como referência foram adotadas as estações UFPR em Curitiba-PR (linha de base curta: 30 m) e SCAQ em Araquari-SC (linha de base longa: 115 km), pertencentes à RBMC.

Em todos os processamentos através do *Leica Infinity* foram utilizadas as constelações GPS (L1 e L5) e GLONASS (L1), bem como intervalo de dados a cada 15 segundos, uma vez que este é adotado pelas estações da RBMC.

Os detalhes dos processamentos a partir do *Leica Infinity* são apresentados no QUADRO 8 a seguir:

QUADRO 8 – PROCESSAMENTOS ATRAVÉS DO *LEICA INFINITY*

Experimento	Campanha	Máscara de elevação	Efeméride	Solução	Constelações	Característica
1 (sem obstrução)	4	10°	Final	Código	GPS / GLONASS	Avião
	5					Vibração
	6					Toque
2 (com obstrução)	10	10°	Final	Código	GPS / GLONASS	Sem AEM
	11					AEM

FONTE: O autor (2019).

4.2.3 Processamento de dados no IBGE-PPP

No serviço IBGE-PPP foi possível processar os arquivos em formato RINEX coletados pelo aplicativo *rinex ON* tanto do Experimento 1 quanto do Experimento 2. Os arquivos RINEX foram coletados na versão 3.03 e, por este motivo, foram

convertidos através do *Leica Infinity* para a versão 2.11, para atender a compatibilidade com o IBGE-PPP.

As constelações empregadas pelo IBGE-PPP foram GPS e GLONASS e apenas na frequência L1, visto que este serviço permite apenas processamento em L1 e L2.

No QUADRO 9 são apresentadas as características dos processamentos efetuados no serviço IBGE-PPP:

QUADRO 9 – PROCESSAMENTOS ATRAVÉS DO IBGE-PPP

Experimento	Campanha	Máscara de elevação	Efeméride	Solução	Constelações	Características
1 (sem obstrução)	4	10°	Final	Código e fase	GPS / GLONASS	Avião
	5					Vibração
	6					Toque
2 (com obstrução)	10	10°	Final	Código e fase	GPS / GLONASS	Sem AEM
	11					AEM

FONTE: O autor (2019).

4.2.4 Análises estatísticas

Em cada campanha foram estimadas coordenadas do Pilar 2000 com suas respectivas precisões mediante processamento nos diferentes *softwares* empregados neste trabalho. A diferença entre a coordenada calculada e a coordenada conhecida (referência) é denominada de *discrepância* e obtida por:

$$Discrepância = Coordenada calculada - Coordenada conhecida \quad (4.1)$$

Quando se obtém uma amostra com várias observações o ideal é que a média amostral (\bar{x}) seja igual ao valor conhecido adotado como referência. Quando esta igualdade não ocorre, é dito ocorreu *tendência* (ou vício) na amostra de observações (ESTATÍSTICA II: Notas de Aula, 2009, p. 51). De acordo com Monico et al. (2009, p. 481) a tendência pode ser denotada pela média das discrepâncias de uma amostra de tamanho n , ou seja:

$$Tendência = \frac{\sum Discrepâncias}{n} \quad (4.2)$$

Quando ocorre tendência é preciso avaliar se esta é significativa ou não. Por este motivo, é necessário criar um intervalo de confiança, em que deve conter o valor conhecido μ (referência) com uma probabilidade pré-determinada por um nível de significância α (ESTATÍSTICA II: Notas de Aula, 2009) (MONICO et al., 2009):

$$P\left(\bar{x} - z \frac{\sigma}{n} \leq \mu \leq \bar{x} + z \frac{\sigma}{n}\right) = 1 - \alpha \quad (4.3)$$

Se μ estiver contido neste intervalo, pode-se dizer que não há tendência, isto é, esta não é significativa. Esta análise de tendência é verificada se a média das discrepâncias dada por 4.2 pode ser considerada como igual a zero. Por este motivo, são estabelecidas as seguintes hipóteses (GOMES, 2019):

H₀: Tendência = 0 (Hipótese nula)

H₁: Tendência ≠ 0 (Hipótese alternativa)

Caso o desvio-padrão nominal do equipamento de medição for desconhecido, é possível adotar uma distribuição amostral para a média da amostra \bar{x} empregando a distribuição de *t de Student*. Por isso, foi adotado o desvio-padrão da amostra σ dado por:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (4.4)$$

A distribuição *t de Student* tem como parâmetros os *graus de liberdade*, dados pelo tamanho da amostra n subtraído de uma unidade, bem como o nível de significância da probabilidade α . A partir destes valores, é possível determinar z , que é uma quantidade tabelada em função dos graus de liberdade e do α (ESTATÍSTICA II: Notas de Aula, 2009).

Por fim, o cálculo da acurácia proposto por Monico et al. (2009, p. 472) é denominada de Raiz do Erro Médio Quadrático (REMQ) dada por:

$$Acurácia = REMQ = \sqrt{(\sigma_{\bar{x}})^2 + (Tendência)^2} \quad (4.5)$$

Onde $\sigma_{\bar{x}}$ corresponde ao desvio-padrão da média das observações:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (4.6)$$

Neste trabalho foram determinadas acurácias para cada uma das componentes de coordenadas Este, Norte e Altitude (elipsoidal). Por isso, também, foram calculadas acurácias planimétricas (2D) e planialtimétricas (3D) (GOMES, 2019):

$$Acurácia_{2D} = \sqrt{(Acurácia_{Este})^2 + (Acurácia_{Norte})^2}$$

$$Acurácia_{3D} = \sqrt{(Acurácia_{Este})^2 + (Acurácia_{Norte})^2 + (Acurácia_{Altitude})^2} \quad (4.7)$$

5 RESULTADOS E ANÁLISES

Nesta seção serão apresentados os resultados dos dois experimentos através dos diversos *softwares* e soluções empregadas, bem como as análises estatísticas de tendência e acurácia.

Para realizar as análises de acurácia posicional das coordenadas obtidas nas campanhas, foi necessário considerar um valor conhecido como coordenadas de referência para o Pilar 2000. Para a determinação desta coordenada foi realizado um posicionamento estático empregando um receptor da fabricante Leica modelo AX1202GG, ocupando o Pilar 2000 por 22 horas. As coordenadas e respectivos desvios-padrão foram estimadas através do serviço IBGE-PPP e estão presentes no QUADRO 10 no sistema SIRGAS2000 (época 2000,4):

QUADRO 10 – COORDENADAS DE REFERÊNCIA DO PILAR 2000 (ÉPOCA 2000,4)

Coordenadas geodésicas			UTM		
Latitude	Longitude	Altitude	Este (m)	Norte (m)	MC
25° 26' 54,8821" S ± 0,001 m	49° 13' 52,2292" W ± 0,002 m	927,27 m ± 0,004 m	677.856,081	7.184.200,367	-51

FONTE: O autor (2019).

A discrepância foi calculada através da fórmula 4.1 como a diferença entre as coordenadas de referência do Pilar 2000 e coordenadas geradas pelos diferentes *softwares* convertidas para época 2000,4. Para converter as coordenadas para a época 2000,4 foi utilizado o programa AstGeoTop, desenvolvido por Garnés (2019). Já a transformação de coordenadas geodésicas para UTM foi efetuada através do *software* ProGrid (IBGE, 2009b).

Todas as análises estatísticas de tendência e acurácia foram avaliadas dentro de um nível de significância α de 95%.

5.1 RESULTADOS DO EXPERIMENTO 1 (SEM OBSTRUÇÃO)

5.1.1 Coordenadas e discrepâncias obtidas através do Experimento 1 (sem obstrução)

Nesta seção serão divulgadas as coordenadas estimadas e seus respectivos desvios-padrão do Pilar 2000 calculadas através dos *softwares* *GNSS Analysis App*, *Leica Infinity* e IBGE-PPP referentes ao Experimento 1 (sem obstrução).

Na TABELA 1 são apresentadas as coordenadas e desvios-padrão calculadas através dos softwares *GNSS Analysis App*, *Leica Infinity* e do IBGE-PPP referentes ao Experimento 1 (sem obstrução). As coordenadas determinadas através do software *GNSS Analysis App* foram obtidas através da média e desvio-padrão de todas as coordenadas geradas a cada segundo pelo software.

Na TABELA 2 constam as discrepâncias das coordenadas do Pilar 2000 obtidas no Experimento 1 (sem obstrução) através dos softwares *GNSS Analysis App*, *Leica Infinity* e do IBGE-PPP.

TABELA 1 – COORDENADAS DO PILAR 2000 – EXPERIMENTO 1 (SEM OBSTRUÇÃO)

Campanha	Software	Solução	Coordenadas (ÉPOCA 2000,4)					
			Este (m)	σE (m)	Norte (m)	σN (m)	Altitude	σAlt (m)
1 (Avião)	<i>GNSS Analysis App</i>	Código	677.855,59	1,16	7.184.198,83	1,59	922,26	2,76
2 (Vibração)			677.855,86	1,47	7.184.200,34	1,64	920,48	3,92
3 (Toque)			677.855,02	1,77	7.184.199,50	1,64	921,32	3,92
4 (Avião)	<i>Leica Infinity (base curta)</i>	Código	677.855,30	0,23	7.184.198,96	0,20	921,20	0,72
5 (Vibração)			677.854,15	0,41	7.184.199,98	0,51	910,06	1,15
6 (Toque)			677.854,24	0,17	7.184.199,30	0,18	921,65	0,56
4 (Avião)	<i>Leica Infinity (base longa)</i>	Código	677.855,60	0,23	7.184.198,94	0,18	920,46	0,70
5 (Vibração)			677.854,36	0,06	7.184.199,61	0,10	910,06	0,24
6 (Toque)			677.854,01	0,02	7.184.199,33	0,03	922,63	0,09
4 (Avião)	IBGE-PPP	Código e fase	677.856,02	0,29	7.184.200,05	0,32	929,86	0,87
5 (Vibração)			677.855,88	0,28	7.184.199,86	0,33	929,19	0,83
6 (Toque)			677.856,00	0,24	7.184.199,58	0,29	930,18	0,70

FONTE: O autor (2019).

TABELA 2 – DISCREPÂNCIAS DO PILAR 2000 – EXPERIMENTO 1 (SEM OBSTRUÇÃO)

Campanha	Característica	Software	Solução	Discrepâncias		
				ΔE (m)	ΔN (m)	ΔAlt (m)
1	Avião	<i>GNSS Analysis App</i>	Código	0,49	1,54	5,01
2	Vibração			0,22	0,03	6,79
3	Toque			1,06	0,87	5,95
4	Avião	<i>Leica Infinity (base curta)</i>	Código	0,78	1,41	6,07
5	Vibração			1,93	0,39	17,21
6	Toque			1,84	1,07	5,62
4	Avião	<i>Leica Infinity (base longa)</i>	Código	0,48	1,52	6,81
5	Vibração			1,72	0,75	17,21
6	Toque			2,07	1,04	4,64
4	Avião	IBGE-PPP	Código e fase	0,06	0,32	-2,59
5	Vibração			0,20	0,51	-1,92
6	Toque			0,08	0,79	-2,91

FONTE: O autor (2019).

Observa-se pela TABELA 2 que a componente planimétrica registrou discrepâncias na ordem de centímetros a metros e a componente altimétrica em torno de metros a dezenas de metros. Nota-se que o serviço do IBGE-PPP registrou as menores discrepâncias altimétricas, bem como discrepâncias planimétricas menores que 1 metro.

5.1.2 Análises estatísticas e acurácias em relação aos *softwares* – Experimento 1 (sem obstrução)

Na TABELA 3 e 4 são apresentadas as análises estatísticas e as acurácias referentes ao Experimento 1 (sem obstrução) em relação aos *softwares*.

TABELA 3 – ANÁLISES ESTATÍSTICAS EM RELAÇÃO AOS *SOFTWARES* – EXPERIMENTO 1 (SEM OBSTRUÇÃO)

Campanhas	Software	Solução	Equação	Este (m)	Norte (m)	Altitude (m)
1 (Avião) 2 (Vibração) 3 (Toque)	GNSS <i>Analysis App</i>	Código	Tendência	0,59	0,81	5,92
			Nº de observações (n)	3	3	3
			Desvio-padrão	0,25	0,44	0,51
			Amostragem	0,43	0,76	0,89
			Média ($\sigma\bar{x}$)	Sim	Sim	Não
			Hipótese aceita?	0,64	0,92	5,94
4 (Avião) 5 (Vibração) 6 (Toque)	<i>Leica Infinity (base curta)</i>	Código	Tendência	1,52	0,95	9,63
			Nº de observações (n)	3	3	3
			Desvio-padrão	0,37	0,30	3,79
			Amostragem	0,64	0,52	6,56
			Média ($\sigma\bar{x}$)	Sim	Sim	Sim
			Hipótese aceita?	1,56	1,00	10,35
4 (Avião) 5 (Vibração) 6 (Toque)	<i>Leica Infinity (base longa)</i>	Código	Tendência	1,42	1,10	9,55
			Nº de observações (n)	3	3	3
			Desvio-padrão	0,48	0,23	3,88
			Amostragem	0,84	0,39	6,72
			Média ($\sigma\bar{x}$)	Sim	Não	Sim
			Hipótese aceita?	1,50	1,13	10,31
4 (Avião) 5 (Vibração) 6 (Toque)	IBGE-PPP	Código e fase	Tendência	0,12	0,54	-2,47
			Nº de observações (n)	3	3	3
			Desvio-padrão	0,04	0,14	0,29
			Amostragem	0,08	0,24	0,51
			Média ($\sigma\bar{x}$)	Sim	Sim	Sim
			Hipótese aceita?	0,12	0,55	2,49

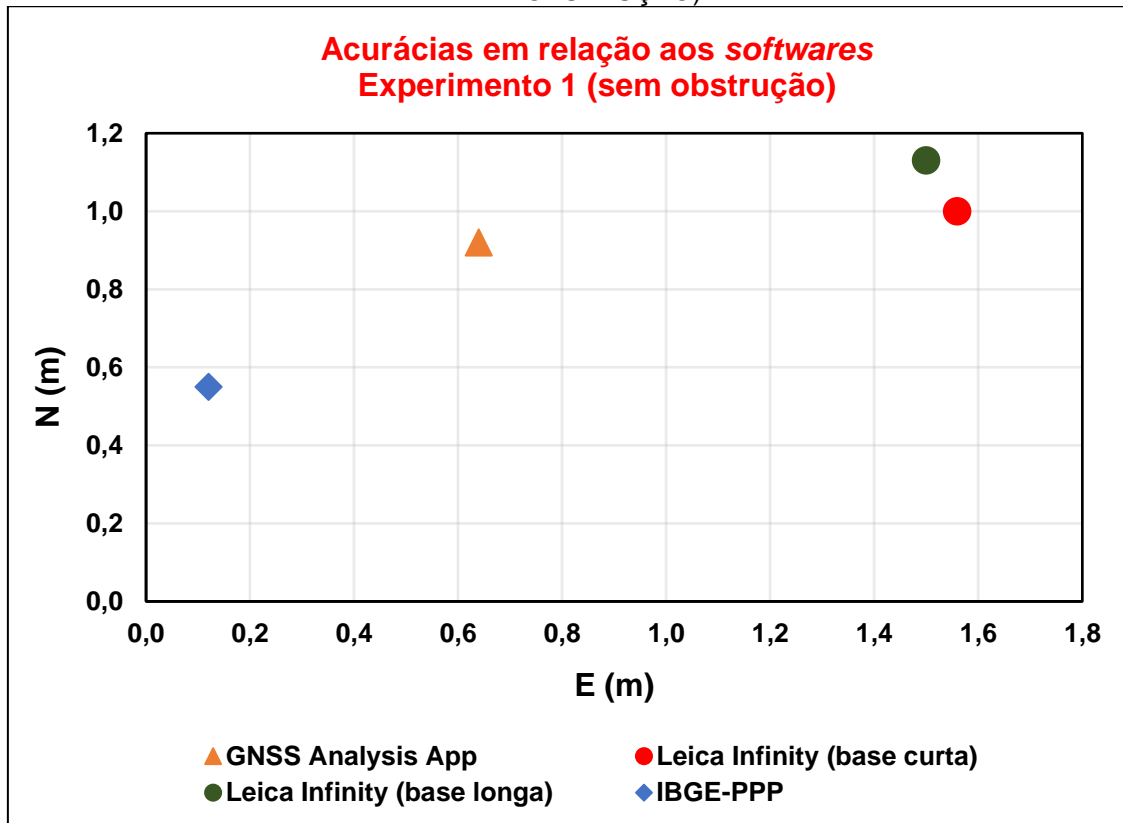
FONTE: O autor (2019).

TABELA 4 – ACURÁCIAS EM RELAÇÃO AOS *SOFTWARES* – EXPERIMENTO 1 (SEM OBSTRUÇÃO)

Software	Acurácia planimétrica	Acurácia altimétrica	Acurácia planialtimétrica
<i>GNSS Analysis App</i>	1,12 m	5,94 m	6,04 m
<i>Leica Infinity (base curta)</i>	1,85 m	10,35 m	10,51 m
<i>Leica Infinity (base longa)</i>	1,88 m	10,31 m	10,48 m
IBGE-PPP	0,57 m	2,49 m	2,55 m

FONTE: O autor (2019).

GRÁFICO 1 – ACURÁCIAS EM RELAÇÃO AOS SOFTWARES – EXPERIMENTO 1 (SEM OBSTRUÇÃO)



As soluções de posição mais acuradas em ambas componentes (planimétrica e altimétrica), segundo TABELA 4 e GRÁFICO 1, foram obtidas através do serviço do IBGE-PPP. Isto deve-se ao fato de a solução calculada pelo IBGE-PPP ter combinado código e fase, bem como a utilização das efemérides finais e funções para minimizar o efeito causado pela atmosfera. Além do mais, nota-se que a utilização de linha de base, tanto curta quanto longa, no processamento realizado através do *Leica Infinity* não implicou diferenças significativas nem nas discrepâncias nem nas acurácias.

5.1.3 Análises estatísticas e acurácias em relação aos modos – Experimento 1 (sem obstrução)

Nesta seção são apresentados os resultados referentes às análises estatísticas (TABELA 5) e acurácias (TABELA 6) referentes aos três modos de coleta de dados pelo *smartphone*: avião, vibração e toque.

TABELA 5 – ANÁLISES ESTATÍSTICAS EM RELAÇÃO AOS MODOS – EXPERIMENTO 1 (SEM OBSTRUÇÃO)

Campanhas	Modo	Equação	Este (m)	Norte (m)	Altitude (m)	
1 (Avião) 4 (Avião)	Avião	Tendência	0,45	1,20	3,82	
		Nº de observações (n)	4	4	4	
		Desvio- padrão	Amostral (σ)	0,15	0,29	2,17
			Média ($\sigma\bar{x}$)	0,29	0,59	4,34
		Hipótese aceita?	Sim	Não	Sim	
		Acurácia	0,47	1,23	4,40	
2 (Vibração) 5 (Vibração)	Vibração	Tendência	1,02	0,36	9,82	
		Nº de observações (n)	4	4	4	
		Desvio- padrão	Amostral (σ)	0,47	0,12	4,62
			Média ($\sigma\bar{x}$)	0,94	0,23	9,24
		Hipótese aceita?	Sim	Sim	Sim	
		Acurácia	1,12	0,38	10,85	
3 (Toque) 6 (Toque)	Toque	Tendência	1,26	0,94	3,32	
		Nº de observações (n)	4	4	4	
		Desvio- padrão	Amostral (σ)	0,45	0,07	2,10
			Média ($\sigma\bar{x}$)	0,90	0,14	4,19
		Hipótese aceita?	Sim	Não	Sim	
		Acurácia	1,34	0,94	3,93	

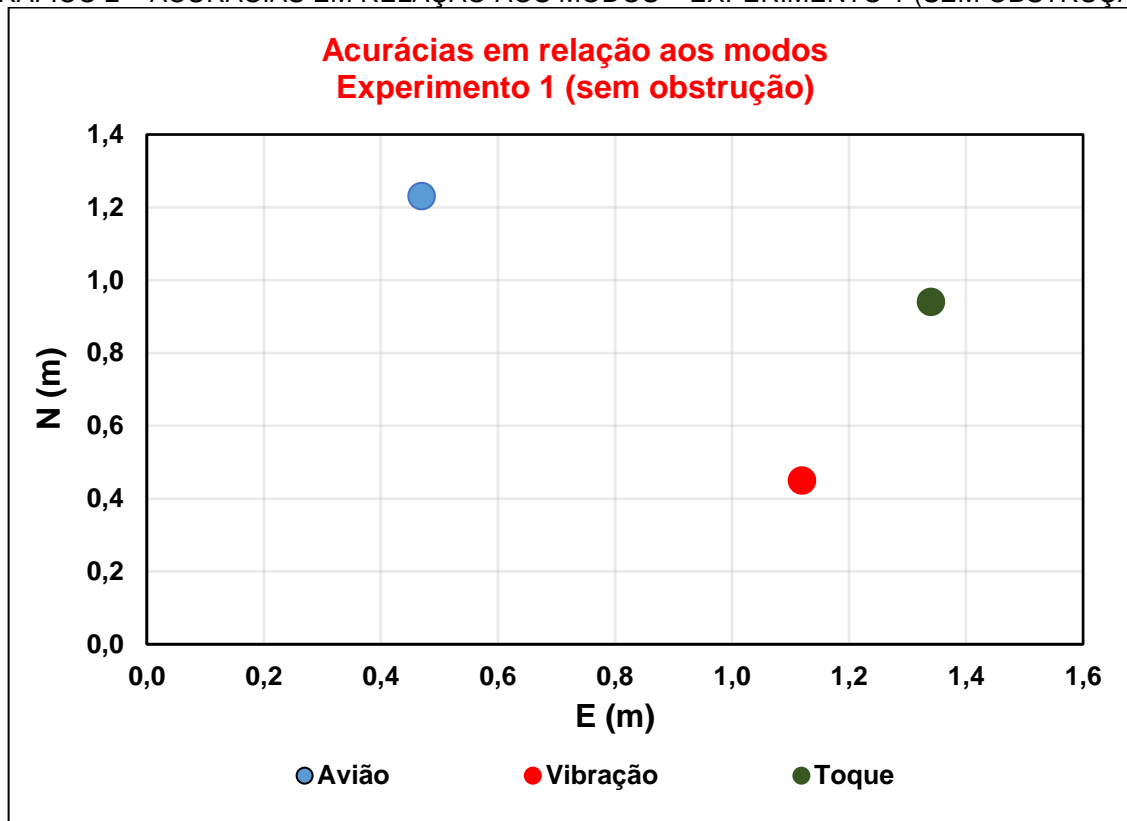
FONTE: O autor (2019).

TABELA 6 – ACURÁCIAS EM RELAÇÃO AOS MODOS – EXPERIMENTO 1 (SEM OBSTRUÇÃO)

Modo	Acurácia planimétrica	Acurácia altimétrica	Acurácia planialtimétrica
Avião	1,32 m	4,40 m	4,59 m
Vibração	1,18 m	10,85 m	10,92 m
Toque	1,64 m	3,93 m	4,26 m

FONTE: O autor (2019).

GRÁFICO 2 – ACURÁCIAS EM RELAÇÃO AOS MODOS – EXPERIMENTO 1 (SEM OBSTRUÇÃO)



FONTE: O autor (2019).

Pelo TABELA 6 e GRÁFICO 2 nota-se que o modo vibração foi o modo mais acurado em relação à acurácia planimétrica. No entanto, os modos avião e toque foram mais acurados na componente altimétrica. Por esse, motivo recomenda-se a utilização do *smartphone* em modo avião ou toque durante o rastreamento, visto que as acurácias tanto altimétricas quanto planimétricas não registram diferença significativa.

5.2 RESULTADOS DO EXPERIMENTO 2 (COM OBSTRUÇÃO)

5.2.1 Coordenadas e discrepâncias obtidas através do Experimento 2 (com obstrução)

Serão apresentadas nesta seção as coordenadas estimadas e seus respectivos desvios-padrão do Pilar 2000 calculadas através dos *softwares GNSS Analysis App, Leica Infinity e IBGE-PPP*, bem como as análises estatísticas referentes ao Experimento 2 (com obstrução).

As coordenadas e desvios-padrão do Pilar, calculados através dos *softwares GNSS Analysis App, Leica Infinity e IBGE-PPP* referentes ao Experimento 2 (com obstrução), são apresentadas na TABELA 7. As coordenadas estimadas através do *GNSS Analysis App* foram obtidas através da média e desvio-padrão de todas as coordenadas geradas a cada segundo pelo *software*.

Na TABELA 8 constam as discrepâncias das coordenadas do Pilar 2000 obtidas no Experimento 2 (com obstrução) através do *GNSS Analysis App*, do *Leica Infinity* e *IBGE-PPP*.

As análises estatísticas e as acurácias referentes ao Experimento 2 (com obstrução) em relação aos *softwares* constam nas TABELAS 9 e 10.

TABELA 7 – COORDENADAS DO PILAR 2000 – EXPERIMENTO 2 (COM OBSTRUÇÃO)

Campanha	Software	Solução	Coordenadas (ÉPOCA 2000,4)					
			Este (m)	σ_E (m)	Norte (m)	σ_N (m)	Altitude	σ_{Alt} (m)
7 (AEM)	GNSS Analysis App	Código	677.855,77	1,43	7.184.198,55	1,64	925,49	3,30
8 (AEM)			677.855,71	1,31	7.184.198,76	1,59	922,53	3,73
9 (Sem AEM)			677.855,27	1,70	7.184.198,15	2,34	927,95	4,12
12 (AEM Hor)			677.856,06	1,90	7.184.199,69	2,17	924,42	4,95
10 (Sem AEM)	Leica Infinity (base curta)	Código	677.859,07	0,20	7.184.198,54	0,18	932,79	0,65
11 (AEM)			677.855,63	0,07	7.184.200,79	0,03	929,82	0,09
10 (Sem AEM)	Leica Infinity (base longa)	Código	677.858,85	0,03	7.184.198,66	0,03	933,75	0,15
11 (AEM)			677.853,84	0,02	7.184.201,41	0,02	926,84	0,13
10 (Sem AEM)	IBGE-PPP	Código e fase	677.855,22	0,31	7.184.199,46	0,30	929,28	0,85
11 (AEM)			677.855,78	0,32	7.184.200,65	0,30	926,48	0,75

FONTE: O autor (2019).

TABELA 8 – DISCREPÂNCIAS DO PILAR 2000 – EXPERIMENTO 2 (COM OBSTRUÇÃO)

Campanha	Característica	Software	Solução	Discrepâncias		
				ΔE (m)	ΔN (m)	ΔAlt (m)
7	AEM (alarme)	GNSS <i>Analysis App</i>	Código	0,31	1,82	1,78
8	AEM (superaquecimento)			0,37	1,61	4,74
9	Sem AEM			0,81	2,22	-0,68
12	AEM (horizontal)			0,02	0,68	2,85
10	Sem AEM	<i>Leica Infinity</i> (base curta)	Código	-2,99	1,83	-5,52
11	AEM			0,45	-0,43	-2,55
10	Sem AEM	<i>Leica Infinity</i> (base longa)	Código	-2,77	1,71	-6,48
11	AEM			2,24	-1,04	0,43
10	Sem AEM	IBGE-PPP	Código e fase	0,86	0,90	-2,01
11	AEM			0,30	-0,29	0,79

FONTE: O autor (2019).

Observa-se pela TABELA 8 que, em todos os *softwares*, as campanhas realizadas com o AEM tiveram, em sua maioria, discrepâncias, tanto planimétricas quanto altimétricas, menores em relação às campanhas em que não se fez uso do AEM. No entanto, as campanhas 7, 8 e 12 (com o uso do AEM) apresentaram discrepâncias planimétrica e altimétrica superior às da campanha 9 (sem o AEM). É provável que o alarme (vibração) da campanha 7, o superaquecimento registrado na campanha 8 e o fato de o *smartphone* estar posicionado horizontalmente no interior do AEM na campanha 12 possam ter influenciado tal resultado.

TABELA 9 – ANÁLISES ESTATÍSTICAS EM RELAÇÃO AOS SOFTWARES – EXPERIMENTO 2 (COM OBSTRUÇÃO)

Campanhas	Software	Solução	Equação	Este (m)	Norte (m)	Altitude (m)
7 (AEM) 8 (AEM) 9 (Sem AEM) 12 (AEM Hor)	GNSS <i>Analysis App</i>	Código	Tendência	0,38	1,58	2,17
Nº de observações (n)			4	4	4	
Desvio-amostral (σ)			0,16	0,33	1,13	
padrão Média(σ \bar{x})			0,33	0,65	2,26	
Hipótese aceita?	Sim	Não	Sim			
Acurácia	0,41	1,62	2,45			
10 (Sem AEM) 11 (AEM)	<i>Leica Infinity</i> (base curta)	Código	Tendência	-1,27	0,70	-4,04
Nº de observações (n)			2	2	2	
Desvio-amostral (σ)			1,72	1,13	1,48	
padrão Média(σ \bar{x})			2,43	1,59	2,10	
Hipótese aceita?	Sim	Sim	Sim			
Acurácia	2,13	1,33	4,30			
10 (Sem AEM) 11 (AEM)	<i>Leica Infinity</i> (base longa)	Código	Tendência	-0,26	0,33	-3,16
Nº de observações (n)			2	2	2	
Desvio-amostral (σ)			2,50	1,38	3,45	
padrão Média(σ \bar{x})			3,54	1,95	4,89	
Hipótese aceita?	Sim	Sim	Sim			
Acurácia	2,52	1,42	4,59			
10 (Sem AEM) 11 (AEM)	IBGE-PPP	Código e fase	Tendência	0,58	0,31	-0,61
Nº de observações (n)			2	2	2	
Desvio-amostral (σ)			0,28	0,60	1,40	
padrão Média(σ \bar{x})			0,39	0,84	1,98	
Hipótese aceita?	Sim	Sim	Sim			
Acurácia	0,65	0,67	1,53			

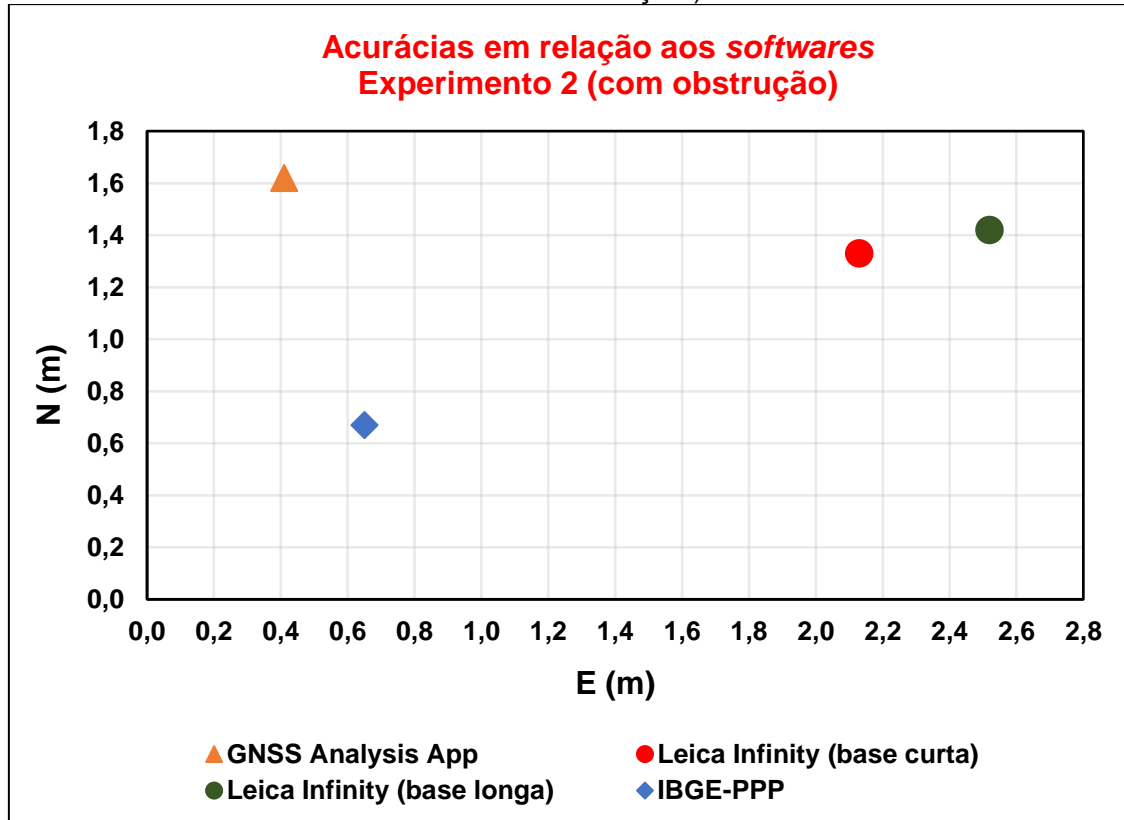
FONTE: O autor (2019).

TABELA 10 – ACURÁCIAS EM RELAÇÃO AOS SOFTWARES – EXPERIMENTO 2 (COM OBSTRUÇÃO)

Software	Acurácia planimétrica	Acurácia altimétrica	Acurácia planialtimétrica
GNSS Analysis App	1,67 m	2,45 m	2,96 m
Leica Infinity (base curta)	2,51 m	4,30 m	4,98 m
Leica Infinity (base longa)	2,89 m	4,59 m	5,43 m
IBGE-PPP	0,93 m	1,53 m	1,79 m

FONTE: O autor (2019).

GRÁFICO 3 – ACURÁCIAS EM RELAÇÃO AOS SOFTWARES – EXPERIMENTO 2 (SEM OBSTRUÇÃO)



Igualmente ao Experimento 1, de acordo com a TABELA 10 e o GRÁFICO 3, o IBGE-PPP demonstrou ser o *software* mais acurado, tendo registrado novamente discrepâncias planimétricas menores que 1 metro. Além disso, a utilização de linha de base tanto curta quanto longa nos processamentos referentes ao *Leica Infinity* não acarretou diferenças significativas nas acurácias, conforme também foi apontado no Experimento 1.

5.2.2 Análises estatísticas e acurácias em relação ao AEM-LAGEH– Experimento 2 (com obstrução)

Nesta seção são apresentados os resultados referentes às análises estatísticas (TABELA 11) e acurácias (TABELA 12) em relação à coleta de dados realizadas com e sem a presença do AEM-LAGEH.

TABELA 11 – ANÁLISES ESTATÍSTICAS EM RELAÇÃO AO AEM – EXPERIMENTO 2 (COM OBSTRUÇÃO)

Campanhas	Modo	Equação	Este (m)	Norte (m)	Altitude (m)	
7 (AEM) 8 (AEM) 11 (AEM) 12 (AEM)	Com AEM	Tendência	0,61	0,39	1,34	
		Nº de observações (n)	6	6	6	
		Desvio- padrão	Amostral (σ)	0,33	0,48	1,01
			Média ($\sigma\bar{x}$)	0,81	1,17	2,46
		Hipótese aceita?	Sim	Sim	Sim	
		Acurácia	0,70	0,62	1,67	
9 (Sem AEM) 10 (Sem AEM)	Sem AEM	Tendência	-1,02	1,67	-3,67	
		Nº de observações (n)	4	4	4	
		Desvio- padrão	Amostral (σ)	1,07	0,28	1,38
			Média ($\sigma\bar{x}$)	2,14	0,55	2,77
		Hipótese aceita?	Sim	Não	Sim	
		Acurácia	1,48	1,69	3,93	

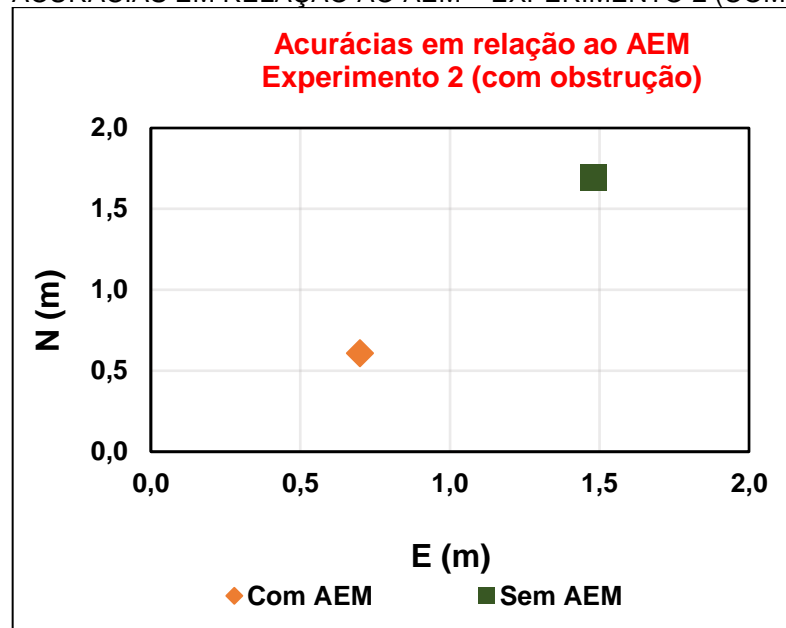
FONTE: O autor (2019).

TABELA 12 – ACURÁCIAS EM RELAÇÃO AO AEM – EXPERIMENTO 2 (COM OBSTRUÇÃO)

Modo	Acurácia planimétrica	Acurácia altimétrica	Acurácia planialtimétrica
Com o AEM	0,93 m	1,67 m	1,92 m
Sem o AEM	2,25 m	3,93 m	4,52 m

FONTE: O autor (2019).

GRÁFICO 4 – ACURÁCIAS EM RELAÇÃO AO AEM – EXPERIMENTO 2 (COM OBSTRUÇÃO)



FONTE: O autor (2019).

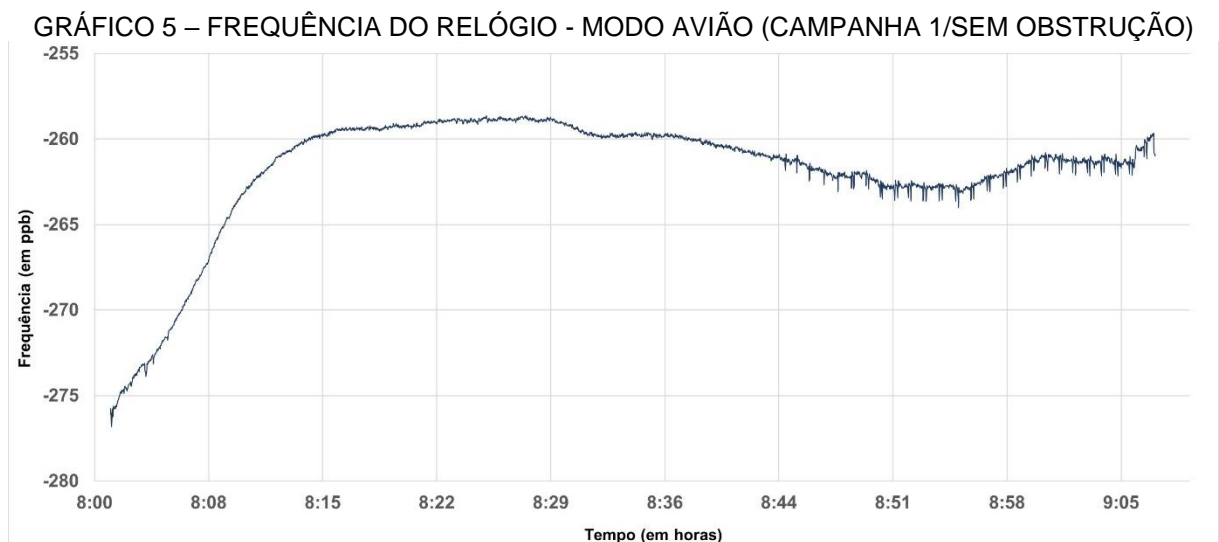
Pela TABELA 12 e pelo GRÁFICO 3 percebe-se que as campanhas em que se utilizou o AEM foram mais acuradas do que as campanhas em que não se fez uso do AEM. Este fato corrobora a eficiência do AEM no que diz respeito à minimização do efeito do multicaminho com a finalidade de se obter uma solução posicional mais acurada.

5.3 ANÁLISE DE INTERFERÊNCIAS E SALTOS DE CICLO

5.3.1 Interferências

As interferências (ligações telefônicas) recebidas durante os rastreios no Experimento 1 no modo toque e com a função vibração ativada acarretaram indícios de alterações nos gráficos de frequência do relógio gerados pelo *software GNSS Analysis App*.

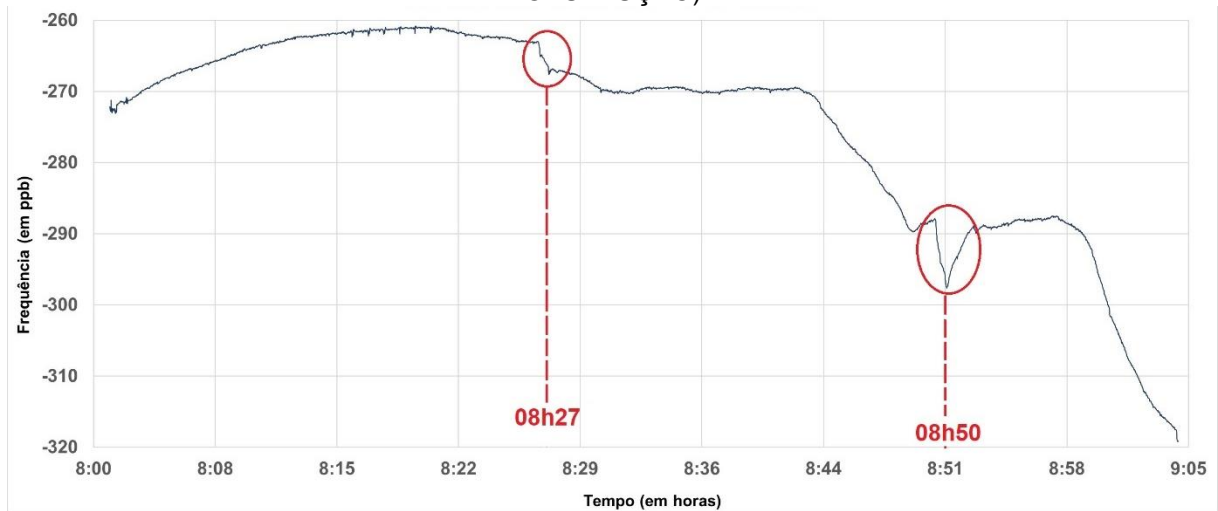
A frequência do relógio referente à campanha 1 (GRÁFICO 5) realizada no modo avião foi utilizada como referência a fim de realizar comparações com os modos vibração da campanha 2 (GRÁFICO 6) e toque da campanha 3 (GRÁFICO 7).



FONTE: O autor (2019).

No GRÁFICO 6, com a função vibração ativada na campanha 2, constatou-se que no instante que foram realizadas interferências (08h24 e 08h40) houve um registro de variação na frequência do relógio.

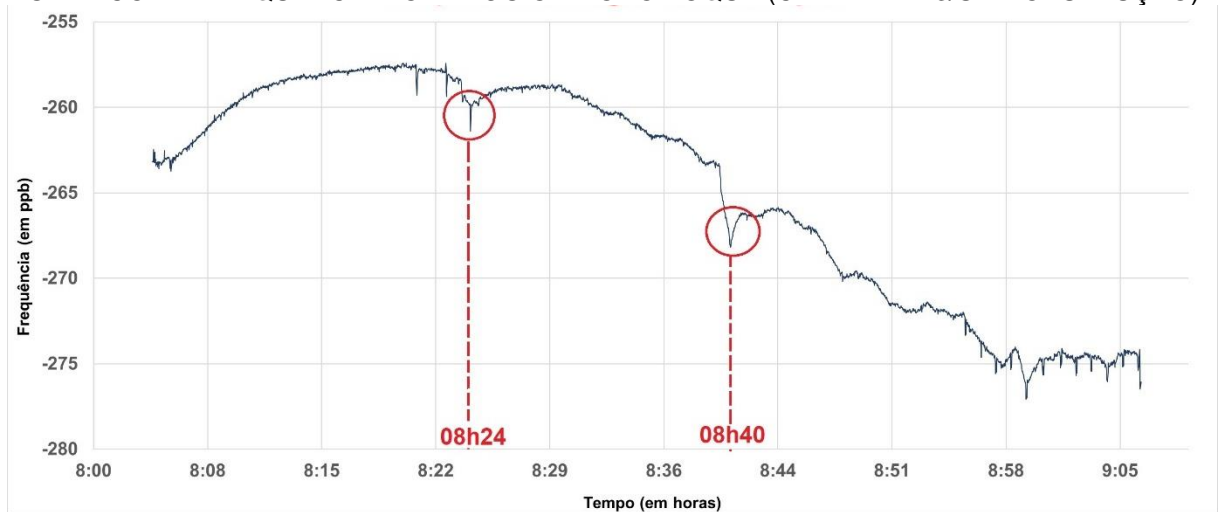
GRÁFICO 6 – FREQUÊNCIA DO RELÓGIO - MODO VIBRAÇÃO (CAMPANHA 2/SEM OBSTRUÇÃO)



FONTE: O autor (2019).

As mesmas alterações foram detectadas no modo toque da campanha 3 (GRÁFICO 7) nos períodos que foram efetuadas as ligações telefônicas às 08h27 e 08h50.

GRÁFICO 7 – FREQUÊNCIA DO RELÓGIO - MODO TOQUE (CAMPANHA 3/SEM OBSTRUÇÃO)



FONTE: O autor (2019).

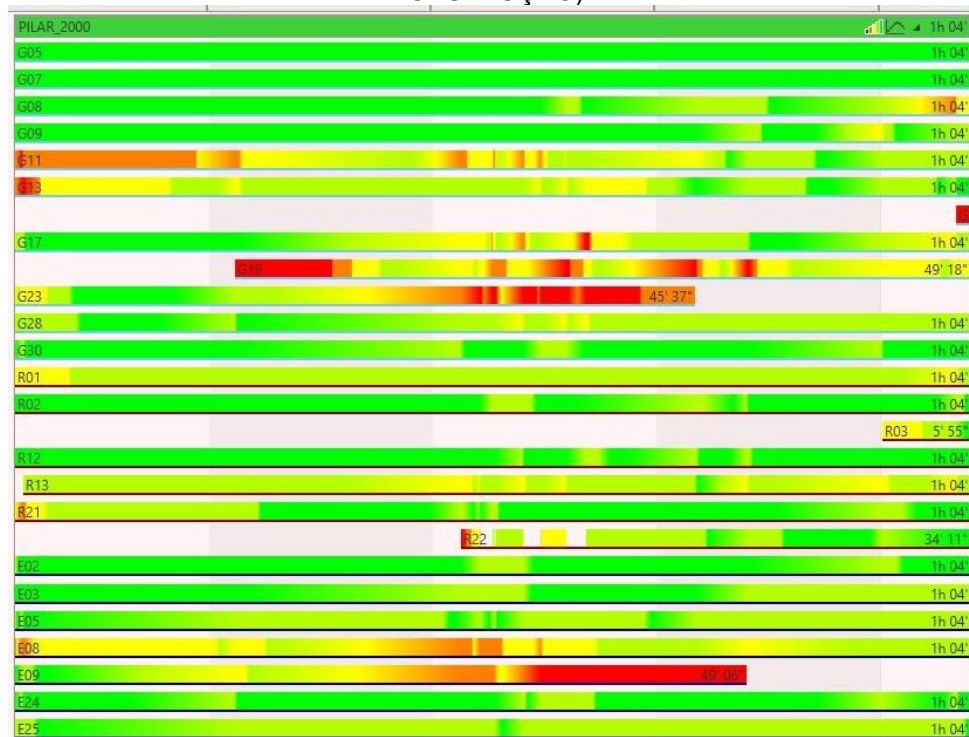
Vale destacar que no GRÁFICO 5 (modo avião da campanha 1) e no GRÁFICO 7 (modo toque da campanha 3) verificaram-se alterações à frequência do relógio nos instantes iniciais e finais do rastreo que, por sua vez, é provável que tenha ocorrido devido ao manuseio do *smartphone*.

5.3.2 Saltos de ciclo

Nos processamentos realizados através do *software Leica Infinity* não foi possível fixar as ambiguidades e, por isso, todas soluções obtidas foram flutuantes. Interrupções nos sinais provenientes dos satélites e a presença do *duty cycle* (seção 2.4.1) podem ter sido a causa para a obtenção de tais resultados.

Na FIGURA 18 está representada a qualidade do sinal dos satélites observados das constelações GPS, GLONASS e Galileo referentes à campanha 4 (modo avião sem obstrução) no *software Leica Infinity*. Segundo Gomes (2019) quanto mais se aproxima da coloração avermelhada ou amarelada menor é a qualidade do sinal do satélite.

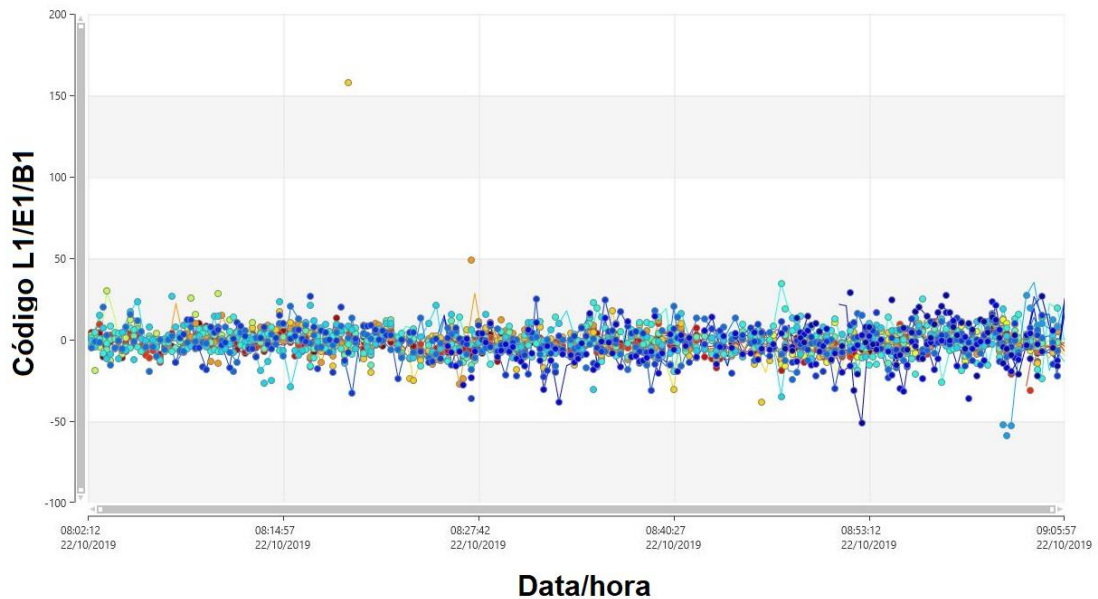
FIGURA 18 – QUALIDADE DO SINAL DOS SATÉLITES – CAMPANHA 4 (MODO AVIÃO/SEM OBSTRUÇÃO)



FONTE: O autor (2019).

Os pequenos círculos registrados na FIGURA 19 indicam, segundo Gomes (2019), a ocorrência de saltos de ciclo após processamento dos dados no *Leica Infinity* da campanha 4 (modo avião sem obstrução). É possível que as interrupções no sinal tenham relação com o fenômeno do *duty cycle*.

FIGURA 19 – RESÍDUOS DA DUPLA DIFERENÇA DE FASE DO CÓDIGO PARA L1/E1/B1 – CAMPANHA 4 (MODO AVIÃO/SEM OBSTRUÇÃO)



FONTE: O autor (2019).

No QUADRO 11 estão representadas as quantidades de salto de ciclo registradas nos processamentos realizados pelo *Leica Infinity*. Pela grande quantidade de saltos de ciclo não foi possível fazer uso de medidas de fase através do *Leica Infinity*.

QUADRO 11 – NÚMERO DE SALTOS DE CICLO REGISTRADOS NO *LEICA INFINITY*

Experimento	Campanha	Característica	Saltos de ciclo
1 (sem obstrução)	4	Avião	3273
	5	Vibração	3379
	6	Toque	4260
2 (com obstrução)	10	Sem AEM	3125
	11	AEM	2633

FONTE: O autor (2019).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir deste trabalho pôde-se considerar que:

- O *software* que apresentou soluções mais acuradas em componentes dos dois experimentos foi o serviço do IBGE-PPP, com destaque para a planimetria inferior a 1 metro. O fato de se utilizar solução de código combinada com a fase, efemérides finais e modelos atmosféricos influenciaram estes resultados;
- Através do método relativo estático empregado no *software Leica Infinity* não foi registrada diferença significativa na acurácia ao se fazer uso de linha de base curta ou longa. O fato de a solução empregada ser apenas código fez com que não ocorresse uma diferença tão expressiva nos resultados em relação ao comprimento da linha;
- O uso do AEM-LAGEH resultou em ganho na qualidade posicional nos processamentos realizados através de todos os *softwares*, corroborando a eficiência deste material com o intuito de se obter solução acurada;
- Através da frequência do relógio foi possível detectar indícios das interferências realizadas pelo modo vibração e toque. No entanto, é necessário realizar mais testes, uma vez que foram verificadas alterações na frequência no modo avião e em outros instantes do rastreamento.
- Sugere-se o uso do *smartphone* na posição vertical, especialmente quando empregar o AEM, visto que a maior discrepância altimétrica foi registrada na campanha em que o aparelho foi posicionado horizontalmente;
- Recomenda-se o uso do *smartphone* no modo avião ou no modo toque, uma vez que as soluções menos acuradas foram obtidas quando o modo vibração estava ativado.

6.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Seguem as seguintes sugestões para futuras pesquisas:

- Realizar rastreios em modo estático e cinemático em regiões potencialmente obstruídas, como cânions urbanos;

- Efetuar uma quantidade maior de campanhas a fim de avaliar a acurácia isolada das interferências (modo avião, vibração e toque) e nas diversas situações envolvendo obstruções.

REFERÊNCIAS

ANDROID DEVELOPERS. **Raw GNSS Measurements**. Disponível em: <<https://developer.android.com/guide/topics/sensors/gnss?hl=en>>. Acesso em: 21 out. 2019.

BANVILLE, S.; DIGGELEN, F. V. Innovation: Precise positioning using raw GPS measurements from Android smartphones. **GPS World**, Cleveland, 7 nov. 2016.

BARBIERI, M. J.; FARRET, J. C.; MORAES, C. V.; FARRET, I. S. Correlação do ruído, multicaminho e ângulo de elevação nas medidas de fase das portadoras GPS. In: COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, 3, 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2003.

BEIDOU. **System**. Disponível em: <<http://en.beidou.gov.cn/SYSTEMS/System/>>. Acesso em: 25 out. 2019.

BROADCOM. **BCM47755X**: Third-Generation GNSS Location Hub with Dual Frequency Support. Disponível em: <<https://www.broadcom.com/products/wireless/gnss-gps-socs/bcm47755>>. Acesso em: 2 out. 2019.

CAMERON, A. Google Opens Up GNSS Pseudoranges. **GPS World**, Cleveland, 7 jun. 2016.

CHEN, R.; CHU, T.; LIU, J.; LI, X.; CHEN, Y.; CHEN, L.; XU, W. DGNSS-C: A Differential Solution for Enhancing Smartphone GNSS Performance. In: INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING OF THE SATELLITE DIVISION OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION, 27, 2014, Tampa. **Proceedings...** Tampa: 2014, p. 490-497.

DIGGELEN, F.; KHIDER, M. GNSS Analysis Tools from Google. **Inside GNSS**, New Jersey, 4 abr. 2018.

EOPORTAL. **QZSS (Quasi-Zenith Satellite System)**. Disponível em:< <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/q/qzss>>. Acesso em: 21 out. 2019.

ESTATÍSTICA II: Notas de aula. Universidade Federal do Paraná, Departamento de Estatística, 27 de fevereiro de 2009.

FLAMINGO. **rinex ON**. Disponível em:< <https://www.flamingognss.com/rinexon>>. Acesso em: 18 out. 2019.

FORTUNATO, M. Initial tests of the Xiaomi MI8 dual frequency GNSS smartphone. **NSL**, 6 jul. 2018.

GARNÉS, S. J. A. **AstGeoTop**: Transformações de Sistemas Geodésicos, versão 2019.06.25. Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Cartográfica, 2019.

GOGOI, N.; MINETTO, A.; LINTY, N.; DOVIS, F. A Controlled-Environment Quality Assessment of Android GNSS Raw Measurements. **Electronics** 2018, Basel, v. 9, n. 1, dez. 2018.

GOMES, A. **Avaliação da qualidade posicional de um sensor GNSS de dupla frequência presente em um *smartphone* sob diferentes cenários e métodos de posicionamento**. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

GOOGLE DEVELOPERS. **Fused Location Provider API**. Disponível em:<<https://developers.google.com/location-context/fused-location-provider/>>. Acesso em: 27 set. 2019a.

GOOGLE DEVELOPERS. **GNSS Analysis Tools “GNSS Analysis App”**: Installation Instructions and User Manual, 6 set 2019b.

GPS. **Space Segment**. Disponível em: <<https://www.gps.gov/systems/gps/space/>>. Acesso em 15 out. 2019.

GPS WORLD STAFF. Android software release expands GNSS analysis tool capabilities. **GPS World**, Cleveland, 4 dez. 2017.

GSA. **Using GNSS Raw Measurements on Android Devices**. Luxemburgo: European GNSS Agency, 2017.

GSA. **Programme**. Disponível em: <<https://www.gsa.europa.eu/galileo/programme>>. Acesso em: 18 out. 2019a.

GSA. **GNSS Market Report Issue 6**. Luxemburgo: European GNSS Agency, 2019b.

HUINCA, S. C. M. **Calibração relativa de antenas GNSS na BCAL/UFPR**. 127 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

IAC. **Information and Analysis Center for Positioning, Navigation and Timing**. Disponível em: <<https://www.glonass-iac.ru/en/GLONASS/index.php>>. Acesso em: 15 out. 2019.

IBGE. **Manual do Usuário: Posicionamento por Ponto Preciso**. Rio de Janeiro: Diretoria de Geociências, 2009a.

IBGE. **ProGrid**. 2019, versão 1.1. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2009b.

IBGE. **Especificações e normas para levantamentos geodésicos associados ao Sistema Geodésico Brasileiro**. Rio de Janeiro: Diretoria de Geociências, 2017.

KRUEGER, C. P. **Posicionamento cinemático de trens**. 187 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994.

KRUEGER, C. P. **Investigações sobre aplicações de alta precisão do GPS no âmbito marinho**. 288 f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996.

LAU, L.; MOK, E. Improvement of GPS Relative Positioning Accuracy by Using SNR. **Journal of Surveying Engineering**, Reston, v. 125, n. 4, nov. 1999.

LEICA GEOSYSTEMS. **Leica Infinity Survey Software**. Disponível em: < <https://leica-geosystems.com/products/gnss-systems/software/leica-infinity>>. Acesso em: 16 nov. 2019.

LEICK, A. **GPS Satellite Surveying**. 2. ed. EUA: John Wiley & Sons, 1995.

LEICK, A. **GPS Satellite Surveying**. 3. ed. EUA: John Wiley & Sons, 2004.

MI. **Mi 8**. Disponível em: < <https://www.mi.com/global/mi8/specs>>. Acesso em: 21 out. 2019.

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

MONICO, J. F. G.; PÓZ, A. P. D.; GALO, M.; SANTOS, M. C.; OLIVEIRA, L. C. Acurácia e precisão: revendo os conceitos de forma acurada. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 15, n. 3, p. 469-483, jul./set. 2009.

POLEZEL, W. G. C.; SOUZA, E. M.; MONICO, J. F. G. Análise dos Fatores que influenciam o multicaminho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO E GESTÃO TERRITORIAL, 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2004.

PRIVAT, A.; PASCAUD, M.; LAURICHESSE, D. Innovative Smartphone Applications for Precise Point Positioning. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SPACE OPERATIONS, 15., 2018, Marseille. **Proceedings...** Marseille: Aerospace Research Central, 2018.

PESYNA JUNIOR, K. M.; HEATH JUNIOR, R. W.; HUMPHREYS, T. E. Centimeter Positioning with a Smartphone-Quality GNSS Antenna. In: INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING OF THE SATELLITE DIVISION OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION, 27., 2014, Tampa. **Proceedings...** Tampa: Institute of Navigation, 2014. p. 1568-1577.

REALINI, E.; CALDERA, S.; PERTUSINI, L.; SAMPIETRO, D. Precise GNSS Positioning Using Smart Devices. **Sensors 2017**, Basel, v. 17, n. 10, out. 2017.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy**. 2. ed. Berlim: Walter de Gruyter, 2003.

SEYYEDHASANI, H.; DVORAK, J. S.; SAMA, M. P.; STOMBAUGH, T. S. Mobile Device-Based Location Services Accuracy. **Applied Engineering in Agriculture**, Michigan, v. 32, n. 5, mai. 2016.

SUBIRANA, J. S.; ZORNOZA, J. M. J.; HERNÁNDEZ-PAJARES, M. **GNSS Data Processing**. Noordwijk: ESA, 2013. v 1: Fundamentals and Algorithms.

VISKI, A. R. **Análise da atenuação do efeito multicaminho no posicionamento GPS de plataformas lagrangeanas e eulerianas em massas d'água**. 122 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.