



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES
CURSO ENGENHARIA CIVIL

PAULO HENRIQUE BEZERRA DE ARAÚJO

**ANÁLISE DA PRECISÃO POSICIONAL DE COORDENADAS OBTIDAS ATRAVÉS
DE *SMARTPHONE* DOTADO DE RECEPTOR DE DUPLA-FREQUÊNCIA EM
DIFERENTES CENÁRIOS URBANOS**

FORTALEZA - CE

2021

PAULO HENRIQUE BEZERRA DE ARAÚJO

ANÁLISE DA PRECISÃO POSICIONAL DE COORDENADAS OBTIDAS ATRAVÉS DE
SMARTPHONE DOTADO DE RECEPTOR DE DUPLA-FREQUÊNCIA EM DIFERENTES
CENÁRIOS URBANOS

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Arielle Elias Arantes

FORTALEZA - CE

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- A69a Araújo, Paulo Henrique Bezerra de.
Análise da precisão posicional de coordenadas obtidas através de smartphone dotado de receptor de dupla-frequência em diferentes cenários urbanos / Paulo Henrique Bezerra de Araújo. – 2021.
86 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2021.
Orientação: Profa. Dra. Arielle Elias Arantes.
1. Smartphone. 2. Precisão. 3. GNSS. I. Título.

CDD 620

PAULO HENRIQUE BEZERRA DE ARAÚJO

ANÁLISE DA PRECISÃO POSICIONAL DE COORDENADAS OBTIDAS ATRAVÉS DE
SMARTPHONE DOTADO DE RECEPTOR DE DUPLA-FREQUÊNCIA EM DIFERENTES
CENÁRIOS URBANOS

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Arielle Elias Arantes (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Carlos Augusto Uchôa da Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Ernesto Ferreira Nobre Junior
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Edivaldo e Maria.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais pela ajuda, paciência, dedicação e incentivo.

Agradeço a professora Arielle Elias Arantes pela paciência e por uma excelente orientação.

Agradeço a banca por aceitar avaliar o meu trabalho.

Aos meus colegas e amigos Melina, Dálete, Larissa, Greyllson, Jorge, Raul e muitos outros, por estarem sempre ao meu lado, ajudando e auxiliando tanto na vida acadêmica como pessoal.

A minha namorada Rayane Rodrigues Angelim por sempre trazer alegria, me fazer sorrir toda vez que me sentia desanimado, por trazer uma enorme felicidade e paz a minha vida.

A todos os professores que contribuíram para o meu desenvolvimento e aprendizado para a vida profissional e pessoal.

Um agradecimento especial ao Rafael Wendell Barros Forte da Silva, que é um grande amigo e que está sempre buscando trazer novidades para o meu desenvolvimento acadêmico e profissional.

Agradeço a todas as pessoas que fizeram parte do Laboratório de Geomática Aplicada nesse meu período acadêmico.

Agradeço as pessoas que fazem parte do Signus Construções, seja engenheiro, estagiário, mestre de obras, pela oportunidade de estágio e aprendizado que me proporcionaram.

“O que prevemos raramente ocorre, o que menos esperamos geralmente acontece.”
(Benjamin Disraeli).

RESUMO

Em maio de 2016, durante a conferência Google I/O, a empresa Google anunciou a possibilidade de acesso aos dados GNSS brutos coletados por *smartphones* e tablets através da plataforma Android Nougat (versão 7). Com isso, vários estudos e pesquisa foram realizados para verificar a precisão dos levantamentos feitos a partir de receptores embutidos em aparelhos telefônicos. Em 2018, foi lançado o primeiro *smartphone* com capacidade de receber e registrar dados de duas ondas portadoras, o que supostamente implicaria em uma precisão posicional submétrica nos levantamentos realizado através desses smartphones. Neste sentido, esse trabalho tem por objetivo analisar a precisão das coordenadas tridimensionais, em áreas urbanas cobertas por árvores e edifícios (Cenário 1) e em áreas abertas (Cenário 2), através de dados coletados pelo smartphone Xiaomi Mi 8 por meio de métodos de levantamento absoluto e relativo. No Cenário 1 há pontos topográficos com coordenadas previamente conhecidas, que foram utilizados para a realização do levantamento estático-relativo e absoluto. O levantamento absoluto no Cenário 1 foi realizado com o celular estacionado em um ponto topográfico denominado C2. O smartphone coletou os dados dos satélites em um período de 5 horas e 02 minutos e depois realizou-se os pós processamento no software Leica Geo Office e no serviço online IBGE-PPP. Ainda no Cenário 1 realizou-se o levantamento Estático Relativo, tendo como base de referência o receptor GNSS Topcon GRS-1 posicionado em um ponto topográfico denominado E1 enquanto o smartphone coletava dados dos pontos A2, B2, C2 e D2, formando uma poligonal fechada. Para cada ponto da poligonal, foi coletado dados por período diferentes: 5, 10 e 20 minutos. No Cenário 2 foram realizados dois levantamentos: o absoluto que se deu de forma semelhante ao realizado no Cenário 1, diferenciado apenas por não haver pontos topográficos, e o levantamento cinemático. Foram realizados 8 métodos de pós processamentos dos dados comparando os desvios padrões de cada um. Para o levantamento absoluto realizado no Cenário 1, o processamento que obteve o menor desvio padrão teve valor de 11 centímetros, enquanto o levantamento absoluto do Cenário 2, o menor desvio padrão encontrado foi de 4,95 centímetros. Os valores encontrados com os pós processamentos do levantamento estático-relativo foram comparados aos dos pontos topográficos com coordenadas previamente conhecidas, na qual se obteve um erro planialtimétrico elevados devido o valor das alturas encontradas ser elevadas.

Palavras-chave: GNSS, smartphone, precisão.

ABSTRACT

In May 2016, during the Google I / O conference, the company Google announced the possibility of accessing the raw GNSS data collected by smartphones and tablets through the Android Nougat platform (version 7). With this, several studies and research were carried out to verify the accuracy of the surveys made from receivers embedded in telephone sets. In 2018, the first smartphone with the capacity to receive and record data from two carrier waves was launched, which supposedly would imply sub-positional accuracy in the surveys carried out using these smartphones. In this sense, this work aims to analyze the accuracy of three-dimensional coordinates, in urban areas covered by trees and buildings (Scenario 1) and in open areas (Scenario 2), through data collected by the Xiaomi Mi 8 smartphone using methods of absolute and relative survey. In Scenario 1 there are topographic points with previously known coordinates, which were used to carry out the static-relative and absolute survey. The absolute survey in Scenario 1 was performed with the cell phone parked at a topographic point called C2. The smartphone collected data from the satellites in a period of 5 hours and 02 minutes and then post-processing was performed using the Leica Geo Office software and the online service IBGE-PPP. Still in Scenario 1, the Relative Static survey was carried out, based on the GNSS Topcon GRS-1 receiver positioned in a topographic point called E1 while the smartphone collected data from points A2, B2, C2 and D2, forming a closed polygonal. For each point of the polygonal, data were collected for different periods: 5, 10 and 20 minutes. In Scenario 2, two surveys were carried out: the absolute that took place similarly to that performed in Scenario 1, differentiated only by the absence of topographical points, and the cinematic survey. Eight methods of post-processing of the data were performed comparing the standard deviations of each one. For the absolute survey carried out in Scenario 1, the processing that obtained the smallest standard deviation had a value of 11 centimeters, while the absolute survey in Scenario 2, the lowest standard deviation found was 4.95 centimeters. The values found with the post-processing of the static-relative survey were compared to those of the topographic points with previously known coordinates, in which a high planialtimetric error was obtained due to the value of the heights found being high.

Keywords: GNSS. smartphone. precision.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Constelação GPS	22
Figura 2 – Constelação GLONASS	23
Figura 3 – Constelação BeiDou	24
Figura 4 – Órbita dos satélites do sistema Galileo	26
Figura 5 – Posicionamento de um receptor GPS	29
Figura 6 – Posicionamento pelas ondas portadoras	30
Figura 7 – Desvio de propagação dos sinais de satélite em zona urbana	35
Figura 8 – Visão geral do A-GPS – dados e código	36
Figura 9 – Layout do aplicativo GNSS Logger	37
Figura 10 – Layout do aplicativo GEO++ RINEX	38
Figura 11 – Forçar medição do GNSS	39
Figura 12 – Pontos topográficos utilizados nos levantamentos do Cenário 1	41
Figura 13 – Cenário 2	42
Figura 14 – Características técnicas do smartphone Xiaomi Mi 8	43
Figura 15 – Estação total Ruide	43
Figura 16 – Coordenadas dos vértices da rede LAG	45
Figura 17 – Fluxograma dos levantamentos	46
Figura 18 – Receptor GNSS Topcon GRS-1 ocupando vértice E1 da rede LAG de apoio Planimétrico	47
Figura 19 – <i>Smartphone</i> Xiaomi Mi 8 posicionado sobre o vértice C2 da rede LAG de apoio planimétrico	48
Figura 20 – Localização provável da antena do Xiaomi Mi 8.....	48
Figura 21 – Levantamento PPP com o Xiaomi Mi 8 no Cenário 2	49
Figura 22 – Receptor GNSS Topcon GRS-1, no Cenário	50

Figura 23 – Levantamento GNSS cinemático com velocidade média de 10 km/h	69
Figura 24 – Levantamento GNSS cinemático com velocidade média de 50 km/h	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Altitudes e períodos das órbitas dos satélites	26
Tabela 2 – Comparação dos diferentes tipos de efemérides disponibilizadas pelo IGS para o sistema GPS	31
Tabela 3 – Relação entre os tempos de referência relacionamento de sistema GPST	34
Tabela 4 – Cenários e tipos de levantamento executados	40
Tabela 5 – Coordenadas obtidas pelo ajustamento da poligonal topográfica software DataGeosis	53

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Erros do ADR (fase da onda portadora)	55
Gráfico 2 – Relação C/No em dB.Hz em relação ao tempo	56
Gráfico 3 – Desvio padrão de cada processamento para o vértice C2	57
Gráfico 4 – Diferença na coordenada E (m) vértice C2	57
Gráfico 5 – Diferença na Coordenada N (m) vértice C2	58
Gráfico 6 – Diferença na Altitude ortométrica (m) do vértice C2	58
Gráfico 7 – Exemplos de sinais dos satélites captados pelo Xiaomi por constelação	60
Gráfico 8 – Desvio padrão dos processamentos Cenário 2	60
Gráfico 9 – Desvio padrão planimétrico e altimétrico para o levantamento Estático rápido - Relativo de 20 minutos	62
Gráfico 10 – Erro Planialtimétrico para o levantamento Estático rápido - Relativo de 20 minutos	62
Gráfico 11 – Desvio Padrão Planimétrico e altimétrico para o levantamento Estático rápido - Relativo de 10 minutos	63
Gráfico 12 – Erro Planialtimétrico para o levantamento Estático rápido - Relativo de 10 minutos	63
Gráfico 13 – Desvio Padrão Planimétrico e altimétrico para o levantamento Estático rápido - Relativo de 5 minutos	64
Gráfico 14 – Erro planialtimétrico para o levantamento Estático rápido - Relativo de 5 minutos	64
Gráfico 15 – Diferença coordenadas E (m) e N (m) vértice A2	66
Gráfico 16 – Diferença Altitude ortométrica (m) vértice A2	66
Gráfico 17 – Diferença coordenadas E (m) e N (m) vértice B2	66
Gráfico 18 – Diferença Altitude ortométrica (m) vértice B2	67
Gráfico 19 – Diferença coordenada E (m) e N (m) vértice C2	67

Gráfico 20 – Diferença Altitude ortométrica (m) vértice C2	67
Gráfico 21 – Diferença coordenadas E (m) e N (m) vértice D2	68
Gráfico 22 – Diferença Altitude ortométrica (m) vértice D2	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A-GPS	Assisted GPS
GLONASS	Global'naya Navigacionnaya Sputnikowaya Sistema
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LAG	Laboratório de Geomática Aplicada
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Continuo dos sistemas GNSS
SO	Sistema Operacional
UFC	Universidade Federal do Ceará

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	18
1.1 Justificativa.....	19
1.2. Objetivos.....	20
1.2.1 Objetivo geral	20
1.2.2 Objetivos específicos.....	20
2 SISTEMAS GNSS.....	21
2.1 GPS.....	21
2.2 GLONASS.....	22
2.3 BeiDou.....	23
2.4 Galileo	25
2.5 Satélites GNSS	26
3 POSICIONAMENTO ATRAVÉS DOS SISTEMAS GNSS.....	27
3.1 Sinais ou Observáveis GNSS	27
3.2 Coordenadas dos satélites e receptor	30
3.3 Métodos para o cálculo da coordenada dos receptores.....	31
3.4 Fatores que afetam a precisão do posicionamento	32
3.5 O Tempo GNSS	33
4 Assisted GPS (GPS Assistido) (A-GPS).....	34
5. METODOLOGIA.....	40
5.1 Área de estudo	40
5.2 Materiais	42
5.2.1 Equipamentos	42
5.2.2 Aplicativos (APPs)	44
5.2.3 Softwares	44
5.2.4 Dados da rede LAG de apoio planimétrico	44
5.3 Métodos	45
5.3.1. Levantamento Topográfico.....	46
5.3.2. Levantamento pelo método Estático-Relativo – Receptor GNSS Topcon GRS-1 ..	46
5.3.3. Levantamento GNSS pelo método Absoluto PPP.....	47
5.3.4. Levantamento GNSS Cinemático-Rexepor Topcon GRS-1.....	49
5.4 Processamento GNSS.....	50
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	53

6.1 Levantamento Topográfico.....	53
6.2 Levantamento GNSS posicionamento Absoluto	54
6.2 Levantamento GNSS pelo posicionamento Estático rápido-Relativo.....	61
6.3 Levantamento GNSS Cinemático.....	68
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
REFERÊNCIAS	73
ANEXO A – DADOS PÓS PROCESSAMENTO PONTO C2 MÉTODO PPP.....	75
ANEXO B – DADOS PÓS PROCESSAMENTO CENÁRIO 2 MÉTODO PPP.....	76
ANEXO C – DADOS DO PÓS PROCESSAMENTO POLIGONAL 20 MINUTOS	77
ANEXO D – DADOS DO PÓS PROCESSAMENTO POLIGONAL 10 MINUTOS	81
ANEXO E – DADOS DO PÓS PROCESSAMENTO POLIGONAL 5 MIN	85

1 INTRODUÇÃO

Embora os conceitos e as potencialidades relacionados ao Sistema de Navegação Global por Satélite (GNSS) estejam consolidados, houve transformações significativas ao longo dos anos no que concerne à maneira a qual esta forma de posicionamento se insere nas mais diversas áreas da sociedade moderna (GOMES, 2019). Informações obtidas através dos satélites de posicionamento, inicialmente pensados somente para fins militares desde os anos 1990, podem ser utilizadas para uso civis. Tradicionalmente, o posicionamento só era possível através do uso de receptores GPS e depois GNSS, desenvolvidos especificamente com esta finalidade. Atualmente, vários outros dispositivos eletrônicos são dotados de receptores GPS ou GNSS, e conseguem receber sinais de satélites de posicionamento, antenas de rádio, telefonia e assim é possível a obtenção de suas coordenadas.

A precisão posicional pode variar dependendo de diversos fatores tais como: o tipo e a qualidade do receptor, o método de posicionamento, os erros envolvidos no processo de medição, a estratégia de processamento entre outros. Obviamente, diferentes finalidades para as quais se deseja obter as coordenadas tridimensionais também exigem diferentes precisões, para fins de engenharia, tais precisões podem variar de submétricas à milimétricas.

Em 2021, a maioria dos smartphones e celulares possuem receptores GPS ou GNSS integrados. Adicionalmente, existem diversos aplicativos para diferentes plataformas de celular não usam a posição e requerem alta precisão posicional, pois visam apenas deslocamento no tecido urbano, a exemplo de transporte de pessoas ou entrega domiciliar. Apesar da precisão posicional de coordenadas obtidas através de receptores de navegação integrados aos smartphones, possuir precisão da ordem de poucos metros, os aplicativos usam informações adicionais para se posicionar, tais como: nome do logradouro e bairro. Entretanto, para o levantamento de um imóvel urbano ou rural, por exemplo, a exigência em termos de precisão é centimétrica, o que necessariamente, requer equipamentos que permitam coletar e processar observáveis dos satélites que conduzam à coordenadas mais precisas.

Em maio de 2016, durante a conferência Google I/O, a empresa Google anunciou a possibilidade de acesso aos dados GNSS brutos coletados por *smartphones* e tablets através da plataforma Android N (“Nougat” = versão 7) (MALKOS (2016) apud GOMES (2019)). Esse anúncio, possibilitou diversos estudos relacionados à precisão do posicionamento através de receptores GNSS integrados aos *smartphones*. Em 2017, foi lançado o aplicativo Geo++RINEX Logger, que possibilita gravar os dados brutos GPS (satélites dos EUA),

GLONASS (satélites da Rússia) e Galileo (satélites da ESA – Agência Espacial Europeia) no formato RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*), ampliando as possibilidades quanto à realização de pós-processamento dos dados brutos GNSS oriundos dos *smartphones*. Segundo LIMA (2018), existem restrições para a integração entre os receptores GNSS com os demais componentes dos *smartphones*, entre as quais pode-se citar: o espaço reduzido, interferência com rádio transmissores, antenas de baixa qualidade, entre outros. Sendo assim, um bom posicionamento de um *smartphone* depende, entre outras coisas, da qualidade dos materiais que cada fabricante utiliza em sua produção.

Em 2018, a empresa Xiaomi anunciou o primeiro *smartphone* de dupla frequência que seria capaz de coletar as ondas portadoras L1 e L5 dos satélites GPS. Diante disso, a precisão dos levantamentos realizados por esse *smartphone* poderia chegar na casa dos centímetros e assim, em alguns casos, substituir os receptores GNSS em alguns levantamentos. Trabalhos como do GOMES (2018) apresentam resultados na casa decimétrica utilizando o *smartphone* Xiaomi Mi 8.

1.1 Justificativa

A obtenção de coordenadas precisas através dos sistemas GNSS possui uma série de condições, dentre elas a exigência do uso de conjuntos receptores de dupla ou tripla frequência e métodos de posicionamento e processamento específicos. O elevado custo financeiro desses equipamentos o torna inviável para algumas atividades. Em contrapartida, um dos recentes aprimoramentos que celulares e smartphones vêm recebendo, é a integração de receptores GNSS de dupla frequência, substituindo os tradicionais receptores GPS de navegação. Passando-se a considerar seu uso, agora com maior precisão posicional, para a realização de serviços e estudos técnicos que exijam maior precisão posicional. Desde 2017, diversos artigos científicos têm analisado a precisão posicional dos receptores GNSS de dupla-frequência integrados em *smartphones* e discutido seu potencial uso para auxiliar ou até substituir os equipamentos tradicionalmente utilizados na topografia e em estudos de georreferenciamento (REALINE *et al.*, 2017; ELMEZAYEN e EL-RABBANY, 2019; ZHANG *et al.*, 2018). Neste sentido, este estudo visa aprofundar esta discussão, analisando a variação da qualidade do posicionamento conforme o uso de diferentes métodos de posicionamento em diferentes cenários urbanos com custo reduzido através do uso de smartphones.

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar a precisão das coordenadas tridimensionais, em diferentes cenários urbanos, resultante do pós-processamento de dados GNSS, obtidos através de um receptor de dupla-frequência integrado a um *smartphone* com sistema operacional Android.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos da pesquisa são:

- a) Analisar comparativamente as precisões das coordenadas tridimensionais derivadas do pós-processamento de dados GNSS do Xiaomi Mi 8, levantados por meio de métodos de posicionamento absoluto e relativo;
- b) Analisar comparativamente, a precisão das coordenadas tridimensionais, obtidas a partir do método de posicionamento Estático-Rápido com coordenadas obtidas de um levantamento topográfico convencional;
- c) Analisar comparativamente os desvios padrões oriundas do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) do IBGE de dois cenários, um livre de obstruções e outro com a presença de árvores e edifícios;

2 SISTEMAS GNSS

O Sistemas de Navegação Global por Satélite (GNSS) possibilitam a aquisição de posição, velocidade e tempo (PVT), através de um receptor compatível com o sistema e que seja capaz de processar os sinais provenientes dos satélites de posicionamento que orbitam ao redor da Terra. (MONICO (2008).

O segmento espacial do GNSS consiste em várias constelações de satélites orbitando a Terra a uma altitude de aproximadamente 20000 km. Existem quatro constelações principais de satélites que são utilizados como sistema de navegação, sendo elas: GPS (EUA), GLONASS (Rússia), BeiDou (China) e Galileo (Europa). (European GNSS Agency (GSA), 2017).

2.1 GPS

O lançamento do Sputnik I, o primeiro satélite artificial da União Soviética, em 1957, levou pesquisadores norte-americanos a descobrirem que a órbita do satélite podia ser rastreada através de suas transmissões de rádio usando receptores terrestres, o que levou ao desenvolvimento de pesquisas e tecnologias de satélites nos Estados Unidos.

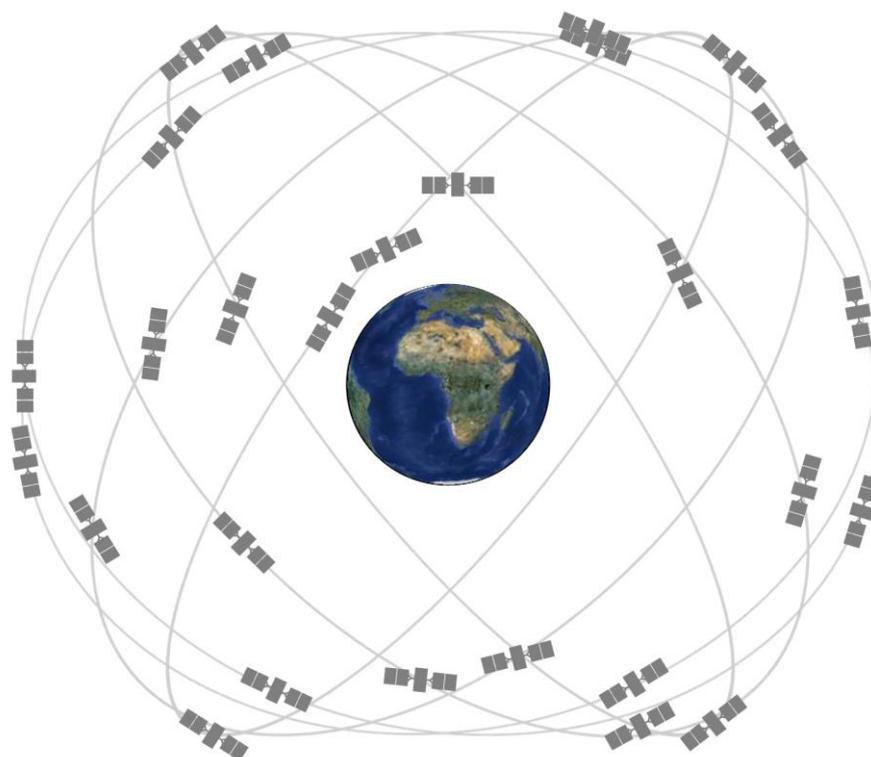
Em 1978, o Departamento de Defesa dos Estados Unidos lançou seu primeiro satélite ao espaço dando início ao seu próprio sistema de navegação com cronometragem e alcance, denominado de NAVSTAR GPS, do inglês, Global Positioning System. O sistema tornou-se operacional com 24 satélites em 1993 e atingiu capacidade operacional total em 1995.

O GPS permaneceu de uso exclusivo dos militares americanos, até que em 1983 um avião da Coreia do Sul invadiu por engano o espaço privado da União Soviética e foi derrubado matando mais de 250 pessoas, fazendo com que o presidente Ronald Reagan pedisse que a tecnologia do GPS fosse disponibilizada para empresas civis sem nenhum custo. Embora acessíveis para o uso civil, os sinais transmitidos pelos satélites GPS eram degradados intencionalmente, sob alegação de segurança nacional, denominado Disponibilidade Seletiva, ou SA. Em 2000, o presidente Bill Clinton instruiu o governo dos Estados Unidos a interromper o uso do SA, melhorando a qualidade do sinal GPS (<https://www.defense.gov/Explore/Spotlight/Protecting-GPS>, acessado em agosto de 2020).

O GPS possui, em março de 2021, uma constelação de 31 (trinta e um) satélites, de forma a garantir que sempre tenham, pelo menos, 24 (vinte e quatro) satélites operando,

distribuídos em seis órbitas, a uma altitude aproximada de 20200 km da superfície terrestre (IBGE, 2020).

Figura 1: Constelação GPS



Fonte: Disponível em: <https://www.gps.gov/systems/gps/space/>, acessado em abril de 2021.

2.2 GLONASS

O GLONASS (cuja nomenclatura oficial é *Global'naya Navigacionnaya Sputnikowaya Sistema*) é o sistema de posicionamento global desenvolvido pela antiga União das Repúblicas Socialistas Soviéticas para fins militares, que posteriormente foi aberto ao uso civil. O trabalho de criação do sistema se deu por volta da década de 70, com participação de diversas organizações. Em 1982, o primeiro satélite GLONASS foi lançado em órbita, chegando a completar sua constelação de satélites em 1995 com um total de 24 satélites operando. Após esse período, com a falta de lançamentos e a curta vida útil dos primeiros satélites, o sistema passou por um grande período de degradação, chegando a conter apenas seis satélites operacionais. Em 2001, o então presidente da Rússia, Vladimir Putin, decide restaurar as constelações de satélites, lançando em 2003 a segunda geração de satélites, com o nome de GLONASS-M. O sistema alcançou novamente sua constelação completa em 2011,

com o lançamento do primeiro satélite da terceira geração de satélites com o nome GLONASS-K1. (HOFMANN-WELLE, 2008; NIS-GLONASS, 2015; GPS WORLD, 2016 a, 2016b, 2017; apud JEREZ, 2018).

O sistema opera com uma constelação de 24 satélites operacionais e 3 de reserva, distribuídos em três planos orbitais, separados em 120° , inclinados aproximadamente $64,8^\circ$ em relação ao equador, a uma altitude aproximada de 19100 km. (IBGE, 2020).

Figura 2: Constelação GLONASS



Fonte: Disponível em: <https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/File:GlonassConstellation.JPG>, acessado em abril de 2021.

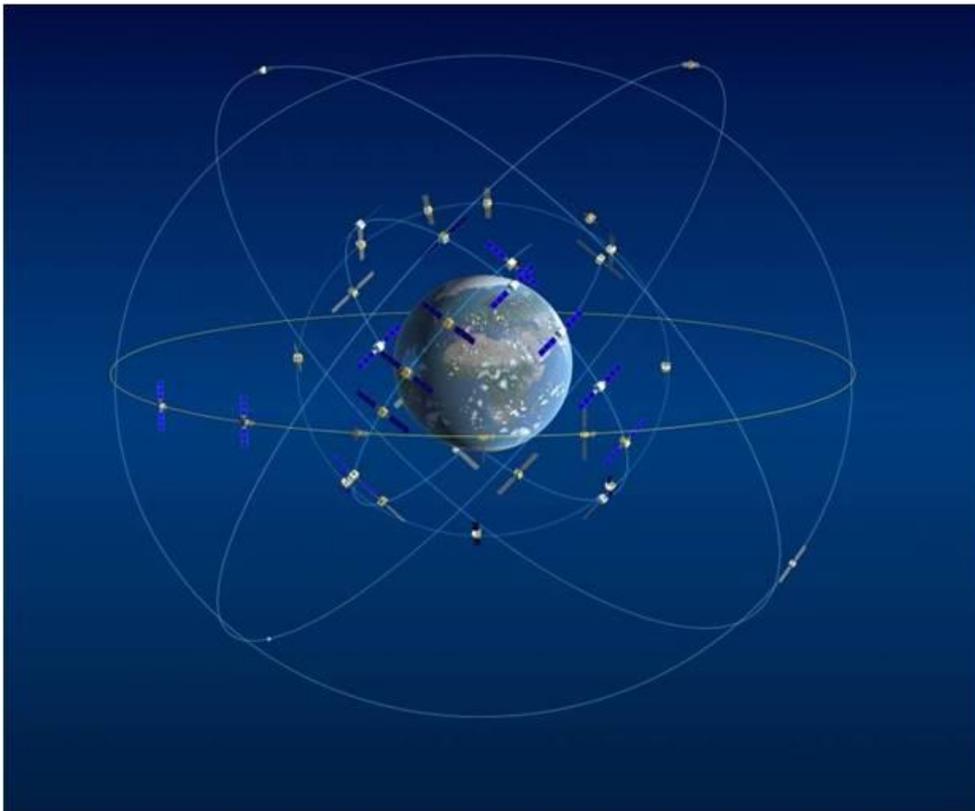
2.3 BeiDou

O *BeiDou Navigation Satellite System* (BDS) (também conhecido como Compass), foi construído e operado de forma independente pela República Popular da China, devido às necessidades de segurança nacional e econômica e desenvolvimento social. No final do século XX, a China começou a explorar e desenvolver sistema de navegação por satélite, e gradualmente formulou uma estratégia de desenvolvimento em três etapas: concluir a construção do BDS-1 e fornecer serviços a todo o país até final de 2000; concluir a construção

do BDS-2 e fornecer serviços para a região da Ásia-Pacífico até o final de 2012; e por fim, completar a construção do BDS e prestar serviços em todo o mundo por volta de 2020. Em 23 de junho de 2020, a China lançou o último satélite que faltava para concluir o sistema de navegação BeiDou, ampliando a capacidade de comunicação e a cobertura para todo o mundo. (en.beidou.gov.cn, acessado em agosto de 2020).

O sistema de navegação BeiDou conta com 35 satélites em órbita, divididos em cinco satélites geoestacionários (o período de rotação do satélite é igual ao da Terra, devido ambos apresentarem a mesma velocidade angular, fazendo com que o satélite pareça estar parado no espaço em relação a um observador no planeta) e trinta não geoestacionária (IBGE, 2020).

Figura 3: Constelação BeiDou.



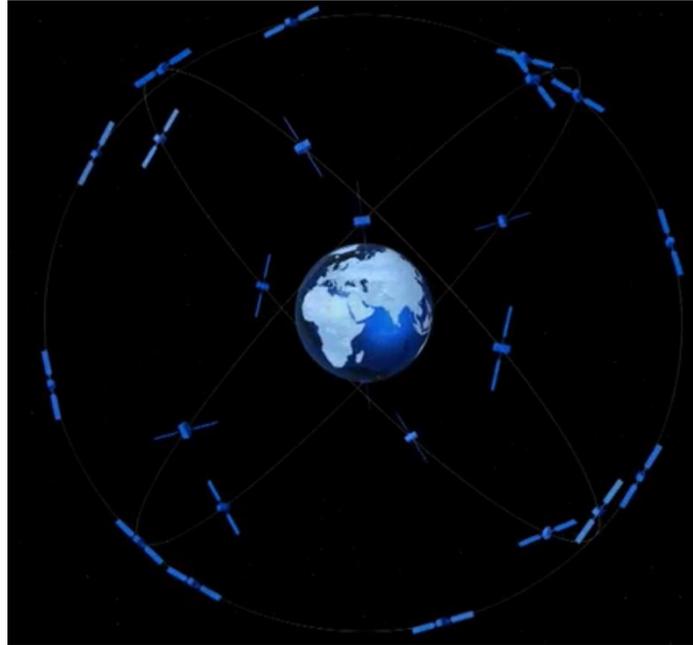
Fonte: Disponível em: <https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/File:CompassConstellation.jpg>, acessado em abril de 2021.

2.4 Galileo

Galileo é o sistema de posicionamento global desenvolvido na União Europeia proposto para atuar no mercado de GNSS em conjunto com os sistemas já existentes GPS e GLONASS. Diferentemente dos outros sistemas que teve sua criação para fins militares, o Galileo foi concebido para ser operado por civis, possibilitando à comunidade europeia o acesso independente aos dados de posicionamento global. O programa Galileo foi estruturado em duas fases principais: Fase de validação em órbita (In-Orbit Validation - IOV), e fase de capacidade operacional completa (Full Operational Capability – FOC). Em dezembro de 2005 e abril de 2008 foram lançados dois satélites experimentais com objetivos de caracterizar o ambiente de órbita média-terrestre (MEO) (radiação, campo magnético, etc.) e testar o desempenho da tecnologia de carga útil crítica (relógios atômicos e tecnologia digital endurecida por radiação). Eles também forneceram um sinal experimental antecipado no espaço para assegurar o espectro de frequências necessárias para o Galileo. Os dois primeiros satélites operacionais do sistema foram lançados em 21 de outubro de 2011, seguidos do lançamento do terceiro e quarto, satélites operacionais em 12 de outubro de 2012. (EMBRAPA, 2020).

A constelação de satélites do sistema Galileo prevista para 2020 (previsão de ter a constelação completa de satélites) será de trinta satélites, incluindo seis extras para reposição, distribuídos em três planos orbitais, a uma altitude de aproximadamente 23222 km. O sistema Galileo usa três órbitas planas, espaçadas de 120°, com inclinação de 56° em relação a linha do Equador, e é interoperável com os sistemas GPS e GLONASS, o que possibilita medições mais precisas (IBGE, 2020). Até o presente momento do trabalho, devido à pandemia do coronavírus, o sistema Galileo não lançou satélites no ano de 2020.

Figura 4: Órbita dos satélites do sistema Galileo.



Fonte: European Space Agency (ESA), 2016

2.5 Satélites GNSS

Os satélites dos diferentes sistemas de navegação orbitam o planeta Terra em diferentes velocidades, altitudes e planos orbitais. Isso faz com que o tempo em que eles estão dispostos sobre uma determinada região, para coleta de dados seja diferente, devido ao tempo que os satélites levam para completar suas órbitas em volta do planeta. Os satélites do sistema GPS, por exemplo, estão a aproximadamente 20200 km de distância da Terra, e completam a sua órbita num período de metade de um dia sideral. Um dia sideral equivale ao tempo em que o planeta Terra rotaciona exatamente 360° . Diferentemente de um dia solar, na qual tem-se 24 horas, o dia sideral tem 23 horas 56 minutos 4,1 segundos (DIGGELEN, 2009).

Tabela 1: Altitudes e períodos das órbitas dos satélites.

Satélites	Distância Nominal (km)	Período da órbita (Dia sideral)
GPS	20180	1/2
GLONASS	19100	8/17
Galileo	23223	10/17
BeiDou	21500	7/13
	35786	1

Fonte: Adaptado de Diggelen 2009.

Segundo o IBGE (2020), a performance desses sistemas é avaliada segundo os critérios listados abaixo:

- a) Precisão: A diferença entre a medição recebida e a posição real;
- b) Integridade: A capacidade do sistema soltar um alerta quando detectar uma medição anormal;
- c) Continuidade: Capacidade do sistema trabalhar sem interrupções;
- d) Disponibilidade: percentual do tempo que o sistema preenche os requisitos anteriores (precisão, integridade e continuidade).

3 POSICIONAMENTO ATRAVÉS DOS SISTEMAS GNSS

Os satélites GNSS transmitem as chamadas Observáveis, que são sinais representados por ondas portadoras e códigos nelas inseridos. Os satélites GPS transmitem sinais (L1, L2 e L5), denominados de fase de ondas portadoras, nos quais são inseridos os códigos (C/A, L1C, L2C, L5, P(Y) e M (militar) e as mensagens de navegação. Os satélites GLONASS transmitem sinais em duas bandas, também denominadas portadoras L1 e L2, as quais são moduladas por dois códigos binários e as mensagens de navegação. Os sinais dos satélites Galileo são transmitidos em três bandas de frequências (E5, E6 e L1) usando quatro portadoras (E5A, E5B, E6 e E1). Os sinais dos satélites BeiDou são compostos por códigos, mensagem de navegação e pelas ondas portadoras B1 (disponibilizado para fins civis) e B2, constituídos pela soma de dois canais, I e Q, sendo o canal Q reservado (UNESP, 2016 e MENDES, 2013). O posicionamento de um receptor GNSS é baseado em dois tipos de medições diretas de satélites/receptor. São elas: medida baseada nos códigos (medidas das pseudodistâncias) e medida baseada nas ondas portadoras (medida de fase).

3.1 Sinais ou Observáveis GNSS

Cada satélite dos sistemas GNSS transmite ondas portadoras, no caso do GPS por exemplo, L1, L2 e L5. Elas são geradas a partir da frequência fundamental de 10,23 MHz, a qual é multiplicada por 154, 120 e 115, respectivamente. Desta forma, as frequências (L) e os comprimentos de onda (λ) de L1, L2 e L5 são: • L1 = 1575,42 MHz, $\lambda \cong 19$ cm; • L2 = 1227,60 MHz e $\lambda \cong 24$ cm, • L5 = 1176,45 MHz e $\lambda \cong 25$ cm. Essas três frequências são

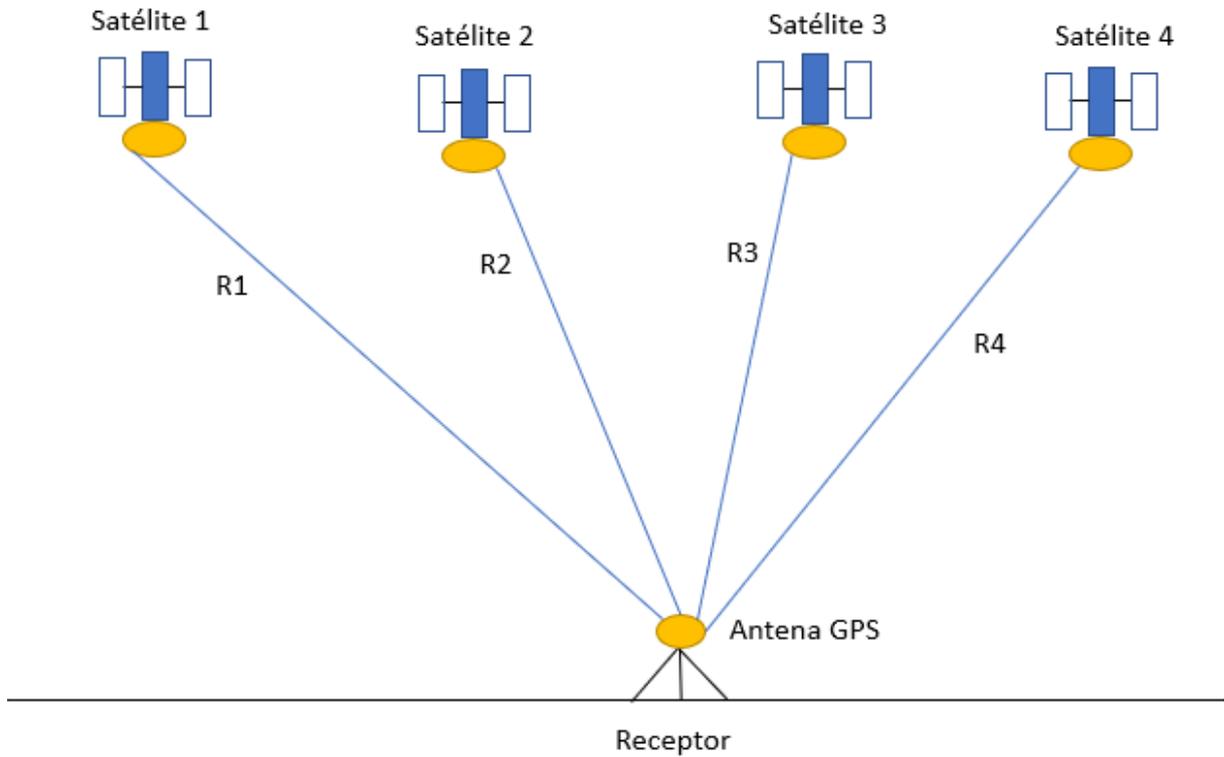
geradas simultaneamente, permitindo aos usuários, corrigir grande parte dos efeitos devido à refração ionosférica (MONICO, 2008).

Um PRN é uma sequência binária de +1 e -1, ou 0 e 1, que parece ter característica aleatória. Como é gerado por um algoritmo, pode ser univocamente identificado. Trata-se basicamente dos códigos C/A e P (L2C). Os códigos que formam o PRN, que corresponde à identificação utilizada nas mensagens de navegação, que coincide como o SVID, são modulados, em fase, sobre as portadoras. Essa técnica permite realizar medidas de distâncias, a partir da medida do tempo de propagação da modulação (Leick, 1995).

O código C/A (*Coarse Acquisition*) é transmitido à uma razão de 1,023 MHz, e é gerado a partir do produto de duas sequências PN (*pseudorandom*), denominadas G1 e G2, cada uma com período de 1023 bits. O código C/A resultante também consistirá em 1023 bits, com período de 1 ms.

Cada satélite transmite um código C/A diferente. Isso poderia causar dificuldades para um receptor distinguir entre todos os códigos possíveis. No entanto, o código C/A faz parte de uma família de códigos (*Gold codes*), que tem como característica básica, a baixa correlação entre seus membros. Isso possibilita a rápida distinção dos sinais recebidos, simultaneamente, de vários satélites. O código P (*Precise or Protected*) tem sido reservado para uso dos militares americanos e usuários autorizados. Ele é transmitido com frequência de 10,23 MHz, resultando num comprimento de onda da ordem de 30 m gerando medidas mais precisas. No caso do GPS, para cada satélite é atribuído um determinado PRN, que é modulado nas portadoras L1, L2 e L5. Portanto, todos os satélites transmitem nas mesmas frequências, mas podem ser identificados pelo código exclusivo de cada satélite. (MÔNICO, 2016).

Figura 5: Posicionamento de um receptor GPS.



Fonte: Próprio autor.

A distância satélite-receptor é calculada através das ondas portadoras e é determinada pela medida da fase α (parte fracionária do comprimento da onda λ) adicionada à contagem de ciclos inteiros de comprimento de onda (β) e o número de ciclos de onda desconhecida N (ambiguidade) (SEBEN e MONGUILHOTT, 2010). Utiliza-se a Equação 1 para o cálculo da distância:

$$D = (\phi + N) \cdot \lambda \quad (1)$$

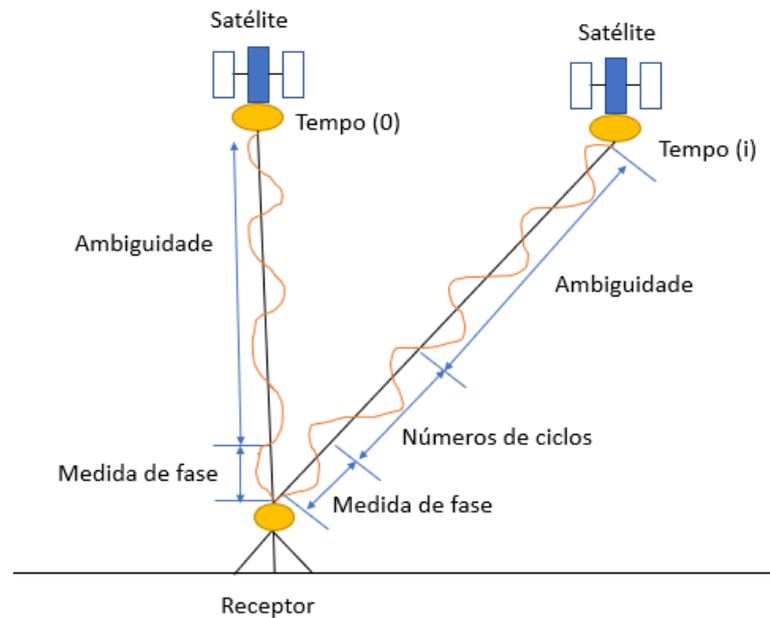
$$\phi = \alpha + \beta;$$

α : medida de fase (fração do comprimento da onda);

β : número de ciclos inteiros contados a partir do “lock-on” com o satélite;

λ : comprimento da onda ($L1 = 19,0$ cm e $L2 = 24,4$ cm).

Figura 6: Posicionamento pelas ondas portadoras.



Fonte: Próprio autor.

3.2 Coordenadas dos satélites e receptor

As coordenadas dos satélites são obtidas através das efemérides transmitidas (*Broadcast efemerides*), as quais são enviadas para os satélites pelo DMA (*Defense Mapping Agency*), e são incorporadas junto com as informações dos erros dos relógios dos satélites e a “saúde do satélite” nas mensagens de navegação, as quais são enviadas com o código e a onda para os usuários no solo. As efemérides indicam a posição do satélite na órbita, como o deslocamento dos satélites é extremamente rápido, é realizado uma previsão matemática do posicionamento dos satélites pelo DMA, sendo que a órbita prevista é denominada de efemérides transmitidas. Após 13 dias, é disponibilizado pelo IGS (*International GNSS Service*) as efemérides finais ou precisas (o real posicionamento dos satélites), as quais apresentam uma precisão na órbita de < 5 cm e no desvio do relógio de < 0.1 ns (RIBAS, 2007). As informações das efemérides finais chegam a ser 100 vezes mais precisas do que às das efemérides transmitidas, sendo que a vantagem desta última é que esta é disponibilizada diretamente para o receptor no momento do rastreamento das observações (IBGE, 2008). A Tabela 02 mostra os tipos de efemérides que existem entre a transmitida e a final e a acurácia destas.

Tabela 2: Comparação dos diferentes tipos de efemérides disponibilizadas pelo IGS para o sistema GPS

Efemérides de Satélites GPS		Acurácia	Latência	Atualização	Intervalo de Amostra
Transmitida		~160 cm	Tempo real	-	Diário
Precisas	Ultra-Rápida (metade predita)	~10 cm	Tempo real	Quatro vezes por dia	15 minutos
	Ultra-Rápida (metade observada)	<5 cm	3 horas	Quatro vezes por dia	15 minutos
	Rápida	<5 cm	17 horas	Diária	15 minutos
	Final	<5 cm	~13 dias	Semanal	15 minutos

Fonte: IBGE 2008.

Neste sentido, a partir das informações obtidas das mensagens de navegação, é possível determinar as coordenadas de cada satélite (X_s , Y_s e Z_s), bem como os coeficientes para a correção do relógio dos satélites (SEBEN e MONGUILHOTT, 2010). Assim, a partir das coordenadas dos satélites, dos coeficientes de correção dos relógios e das pseudodistâncias (Código C/A) são determinadas as coordenadas de navegação dos receptores.

3.3 Métodos para o cálculo da coordenada dos receptores

As coordenadas dos receptores podem ser calculadas através de métodos absolutos (um receptor) e relativos (dois receptores denominados de base e rover). Com relação ao método absoluto temos: o Posicionamento por ponto absoluto ou autônomo e o Posicionamento por Ponto Preciso (PPP). Com relação aos métodos relativos temos: o Estático-Rápido, Cinemático e em Tempo-Real (RTK).

Os métodos de posicionamento absoluto, com exceção do método PPP do IBGE, na sua maioria são utilizados para fins de navegação e levantamentos expeditos, sendo que o posicionamento do receptor é calculado a partir do código, e como tal, apresenta coordenadas com erros métricos. O posicionamento instantâneo de um ponto, isto é, em tempo real, usando a pseudodistância derivada do código C/A presente na portadora L1, apresentava, até o dia 1 de maio de 2000, precisão planimétrica melhor que 100 m e altimétrica de 140 m, durante 95% do tempo (MONICO, 2000). Mesmo se a coleta de dados, sobre um ponto estacionário, for de longa duração, a qualidade dos resultados não melhora significativamente, por utilizar somente a observável pseudodistância. Esse método não atende aos requisitos de precisão intrínsecos ao posicionamento topográfico e geodésico (MONICO, 2000).

No caso do PPP é realizada uma gravação de dados GNSS por um único receptor por tempo superior a 3 horas, sendo que são aplicados modelos de correção atmosférica, correções dos relógios dos satélites e das efemérides, possibilitando a obtenção de coordenadas com precisões milimétricas. O posicionamento por ponto preciso (PPP) tem como objetivo georreferenciar as coordenadas coletadas em campo através de um processamento preciso. É utilizado quando não se conhece as coordenadas da base utilizada no levantamento. O IBGE disponibiliza em seu site a realização de pós processamento de dados GNSS por posicionamento por ponto preciso de forma online e gratuita. O site faz uso do programa CSRS-PPP (*GPS Precise Point Positioning*) e permite que os usuários de receptores GPS e/ou GLONASS obtenham coordenadas referenciadas ao SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas).

No posicionamento relativo, um receptor é instalado em um ponto cujas coordenadas são conhecidas, que constitui a base do levantamento, e um receptor móvel percorre os pontos a serem posicionados, para coleta de dados. O usuário deve dispor de, no mínimo, dois receptores, ou utilizar apenas um, e dispor de dados obtidos de uma ou mais estações de referência dos Sistemas de Controle Ativos (SCA), como por exemplo, a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC). A RBMC segundo o IBGE (2020) é o conjunto de estações geodésicas, equipadas com receptores GNSS de alto desempenho, que proporcionam, uma vez por dia ou em tempo real, observações para a determinação de coordenadas. Neste método, a posição de um ponto é determinada em relação à de outro(s), cujas coordenadas são conhecidas. O posicionamento relativo pode ser feito por meio dos métodos: estático, estático-rápido, cinemático e semi-cinemático.

3.4 Fatores que afetam a precisão do posicionamento

SEBEN e MONGUILHOTT (2010) divide erros de posicionamento em quatro categorias: erros relacionados a satélites, erros relacionados à propagação do sinal, erros relacionados ao receptor/antena e erros relacionados à estação.

Os erros relacionados a satélites são devidos as mensagens as efemérides transmitidas que são enviadas aos satélites através de previsão matemática. Essas mensagens não contêm informações precisas dos satélites, sendo obtida após 13 dias. Os erros relacionados à propagação do sinal são causados devido as camadas ionosfera e troposfera presente no planeta e ao multicaminhamento, em que os sinais emitidos pelos satélites sofrem atraso em sua propagação. Os erros relacionados ao receptor/antena estão relacionados a falta

de calibração dos equipamentos antes do início do levantamento. Os erros das estações são causados por falhas humanas como inserir informações erradas sobre as coordenadas das estações de referências, utilizar Datums diferentes na hora da coleta e dos processamentos, entre outros.

3.5 O Tempo GNSS

Embora o GNSS seja mais conhecido por suas capacidades de posicionamento, também é uma das fontes mais disponíveis e confiáveis mensurar o tempo. O tempo deve ser definido de forma coerente e uniforme. Consequentemente, são necessárias transformações entre os tempos de referência usados pelas diferentes constelações GNSS. Desconsiderar o fator medição do tempo em um *smartphone*, quando das medições com fins de posicionamento, levará a uma redução da precisão posicional. Além da referência de tempo de uma determinada constelação GNSS, um sistema de tempo de referência universal também foi definido (European GNSS Agency (GSA) (2017)).

Ainda segundo a GSA (2017), o tempo de referência dos satélites está de acordo com a segunda duração da *Temps Atomique International* (TAI), que foi definida em 1967 como: A segunda TAI tem a duração de 9 192 631 770 períodos da radiação correspondentes à transição entre os dois níveis hiperfinos do estado fundamental do átomo de césio 133. O Tempo Universal (UT) é um padrão de tempo solar que reflete a velocidade média de rotação da Terra, sua definição mais comumente usada é conhecida como UT1. *Universal Time Coordinated* (UTC) é o compromisso entre TAI e UT1. Na verdade, em um sistema atômico de medição de tempo, o UTC é tão uniforme quanto a escala TAI pode ser. No entanto, a fim de seguir as variações de rotação da Terra, é sempre mantido dentro de 0,9 segundos em relação ao UT1. Isso é feito adicionando ou subtraindo um certo número de segundos bissextos para TAI. Os principais conceitos de posicionamento GNSS são baseados em temporização - um tempo de chegada e tempo de transmissão de sinais. A GSA (2017) divide os tempos de acordo com as constelações da seguinte forma:

a) O tempo do GPS (GPST) é contínuo, sem segundos intercalados. Começa à meia-noite (0 h UTC) entre 5 e 6 de janeiro de 1980. Naquela época, a diferença entre TAI e UTC era de 19 s. O GPST é transmitido usando dois parâmetros: número da semana (WN) e hora da semana (TOW). O primeiro conta as semanas que ocorreram desde o início do GPS

Time até a semana atual. As semanas começam à meia-noite de sábado. TOW conta os segundos que ocorreram na semana atual.

b) O Tempo do Sistema Galileo é uma escala de tempo contínua começando 13 segundos antes da meia-noite entre 21 de agosto e 22 agosto de 1999, ou seja, o GST era igual a 13 segundos em 22 de agosto de 1999 00:00:00 UTC. Foi feito para não ter qualquer diferença entre GPST e GST.

c) O tempo do GLONASS é gerado pelo sincronizador central do GLONASS e a diferença entre o UTC da Rússia (UTC (SU)). GLONASS não deve exceder $1 \text{ ms} + 3 \text{ h}$: $GLONASS = UTC (SU) + 3h + \tau$, onde $|\tau| < 1\text{ms}$. GLONASS implementa segundos bissextos como UTC. GLONASS é baseado no segundo do dia e no dia do ano.

d) O tempo BeiDou (BDT), do inglês *BeiDou Time*, é uma escala de tempo contínua começando às 0 h UTC em 1 de janeiro de 2006 e é direcionada para UTC.

e) Relacionamento dos tempos de referência GNSS: Receptores Multi-GNSS podem rastrear e usar diferentes tempos GNSS. Normalmente, o receptor implementa apenas um relógio baseado em um horário de referência.

A seguir, a tabela 3 apresenta as relações entre os tempos de referência GNSS, o TAI e a relação entre UTC e TAI.

Tabela 3: Relações entre tempos de referência Relacionamento de Sistemas GPST

Systems	Relationship
GPST - TAI	$TAI = GPST + 19s$
GST - TAI	$TAI = GST + 19s$
GLONASS - TAI	$TAI = GLONASS - 3h + leapsecond_{UTC-TAI}$
UTC - TAI	$UTC = TAI - leapsecond_{UTC-TAI}$
BDT-TAI	$TAI = BDT + 33s$

Fonte: European GNSS Agency (2017).

4 Assisted GPS (GPS Assistido) (A-GPS)

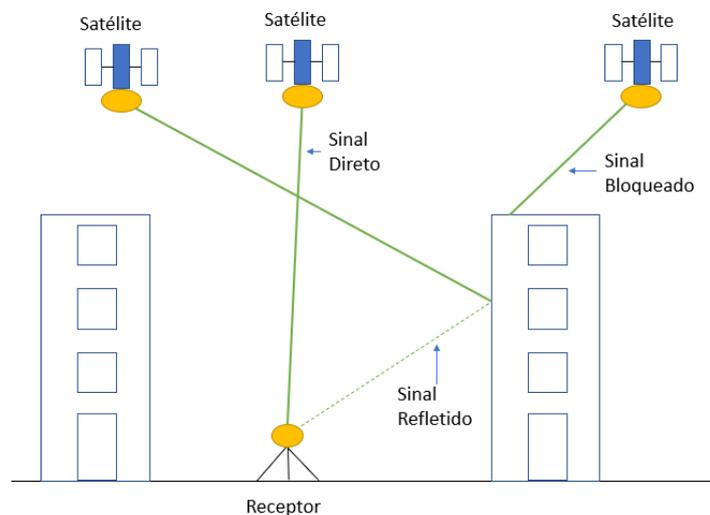
Os aplicativos dos *smartphones* que usam a plataforma Android têm acesso aos serviços de localização através de classes de programação do pacote “android.location”.

Assim, os aplicativos não conectam com os sensores, apenas com o sistema operacional. (LIMA, 2018). Na conferência anual da GOOGLE em 2016, foi anunciado que os dados brutos dos dispositivos GPS integrados em *smartphones* e tablets, que estejam rodando com o sistema operacional Android 7.0, estariam disponíveis para o uso de desenvolvedores de softwares. Afim de disponibilizar os dados brutos, foi criado o *GNSS Measurement* que obtém do hardware os dados das diferentes tipos de observáveis. (GOOGLE LLC, 2018b apud LIMA, 2018).

A antena do *smartphone* é de extrema importância para uma boa coleta de dados. Mesmo produzido com material de baixa qualidade e estando em um local não muito privilegiado no corpo do *smartphone*, as antenas dos celulares conseguem captar a localização dos usuários, mesmo estando em locais fechados.

O GPS Assistido (A-GPS) melhora o desempenho de receptores integrados em smartphones que estão em locais fechados, com dificuldades de acesso ou sinal direto dos satélites (Figura 8) (DIGGELEN, 2009). Com as necessidades atuais do sistema, de operar em condições adversas tais como em cânions urbanos ou até mesmo em ambientes fechados, surgiu uma variedade de aplicações e métodos para prover ainda que apenas uma única solução, porém que seja quase instantânea. No caso o posicionamento instantâneo, este seria aplicado em usos corriqueiros e compartilhados, onde a posição passa a ser apenas uma parte do processo como um todo e a técnica deve ter o menor custo e consumo de bateria possível, além de ocupar pouco espaço físico. Tais requisitos levaram ao desenvolvimento do A-GPS (LIMA, 2018).

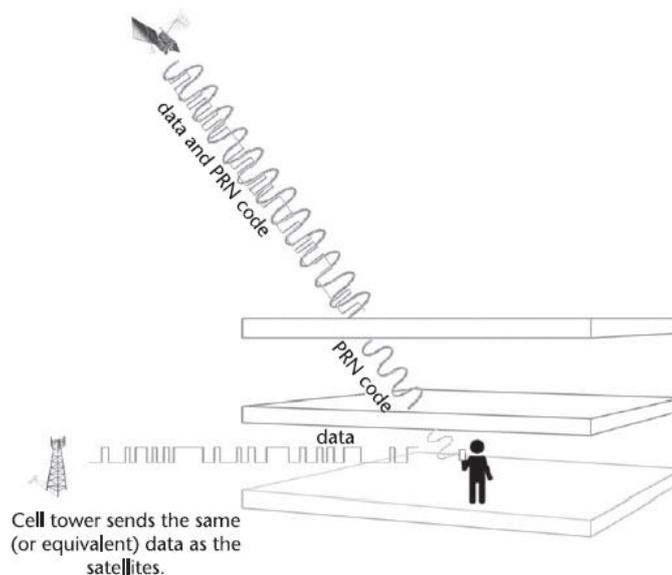
Figura 7: Desvio de propagação dos sinais de satélites em zona urbana.



Fonte: Próprio autor.

De acordo com Diggelen (2009), A-GPS melhora o desempenho do GPS padrão, fornecendo informações, através de um canal de comunicação alternativo, que o receptor GPS normalmente teria recebido diretamente dos próprios satélites.

Figura 8: Visão geral do A-GPS - dados e código



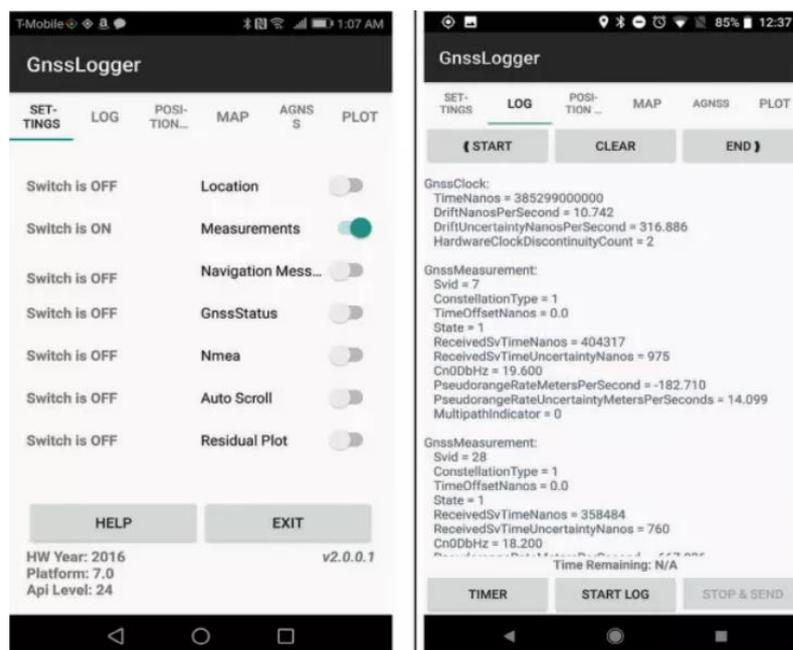
Fonte: DIGGELEN, 2009.

Conforme o sinal se move através das obstruções, ele fica mais fraco, e os dados podem não ser detectados, mas o código C/A sim. Em um sistema A-GPS, os dados são transmitidos através de uma torre de celular, portanto, o receptor A-GPS recebe as mesmas informações que poderia ter obtido diretamente dos satélites, caso o sinal não fosse bloqueado. O mesmo conceito também permite que o sistema A-GPS calcule uma posição mais rápido, mesmo que o sinal de satélite não esteja bloqueado, porque os dados podem ser enviados muito mais rápido da torre de celular do que do satélite (DIGGELEN, 2009).

O TTFF (*Time to first fix*) é constantemente empregado no contexto do A-GPS ou AGNSS, e refere-se ao tempo necessário para adquirir sinais, bem como, os dados dos satélites visando o cálculo da localização. Logo, o termo fixo (fix) não deve ser confundido com a terminologia utilizada para indicar a fixação de ambiguidades (GOMES, 2019). Ainda segundo GOMES (2019), o AGNSS é um sistema que pode, dentro de certas condições, contribuir com a performance na obtenção de soluções mais rápidas, reduzindo o consumo de bateria pelo dispositivo que o emprega.

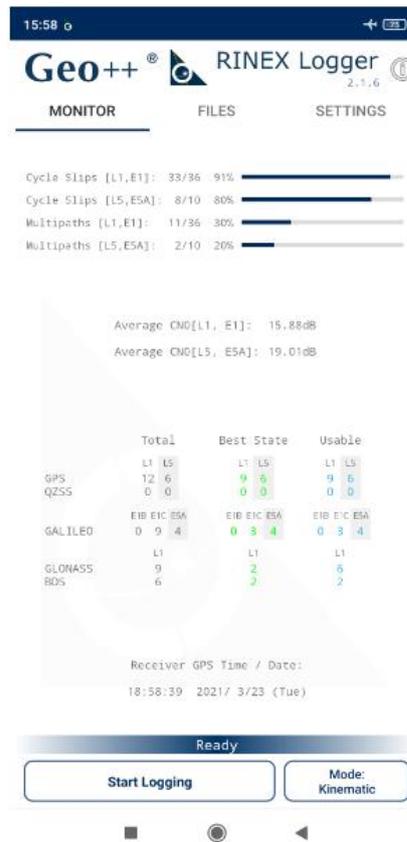
Atualmente é possível coletar dados brutos dos *smartphones* para a realização de pós processamento de dados e análise de precisão do levantamento. Existem vários aplicativos que coletam os dados brutos, dentre eles estão o *GNSS Logger*, criado pela empresa Google, e através dele é possível verificar os sinais dos satélites disponíveis, dentre várias outras informações através de gráficos. Em 2017, a empresa GEO++ lançou o aplicativo *Geo ++ RINEX Logger*, no qual é possível coletar os dados brutos e transforma-los em um arquivo no formato RINEX, do inglês Receiver Independent Exchange Format, que é arquivo padrão, em Asc (American Standard Code), utilizado na maioria dos softwares de pós processamentos de dados GNSS. O principal intuito do formato RINEX foi o de padronizar, criando um formato universal para todos os equipamentos e fabricantes de modo a permitir que as observáveis coletadas por receptores de diferentes fabricantes, possam ser interpretadas por qualquer software de processamento GNSS (LIMA, 2018).

Figura 9: Layout do aplicativo GNSS Logger.



Fonte: Disponível em <https://insidegnss.com/gnss-analysis-tools-from-google/>, acessado em dezembro de 2020.

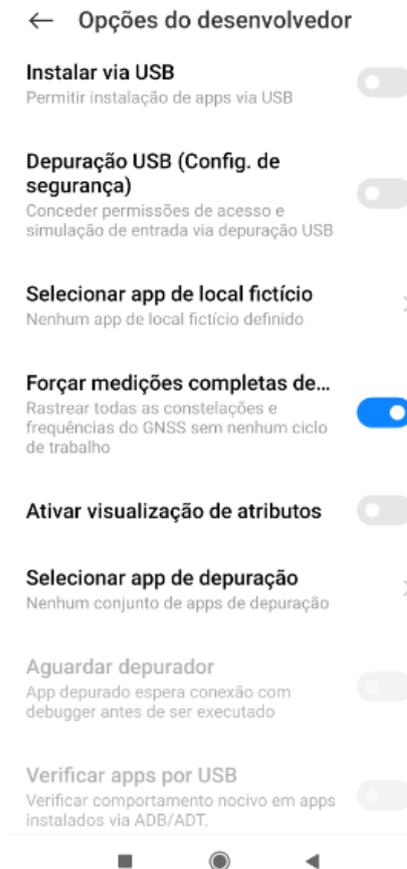
Figura 10: Layout do aplicativo GEO++ Rinex.



Fonte: Próprio autor.

Uma das características dos *smartphones* que proporcionam a coleta de dados brutos para a realização dos pós processamento, é o “forçar medições completas de GNSS”, nas quais o aparelho consegue rastrear continuamente os sinais coletados pelo sensor GNSS. O ciclo de trabalho (*duty cycle*) implementado nestes *smartphones*, tem como função reduzir o consumo de energia e afeta o oscilador do relógio dos *smartphones*, apresentando descontinuidade no rastreamento das fases dos satélites. Ao forçar as medições nos aparelhos telefônicos, a função *duty cycle* é desabilitada, melhorando a coleta de dados dos satélites, porém aumentando o consumo de bateria do aparelho. A desabilitação da função *duty cycling* é uma melhoria que só foi possível após o lançamento do smartphone Nexus 9 (ROBUSTELLI e PUGLIANO, 2020).

Figura 11: Forçar medições do GNSS.



Fonte: Próprio autor.

5. METODOLOGIA

Nesta seção serão apresentados os procedimentos metodológicos concebidos no decorrer da pesquisa.

5.1 Área de estudo

A área de estudo foi estabelecida de forma a permitir a coleta de dados sob dois diferentes cenários. Selecionou-se dois locais na Universidade Federal do Ceará, localizado no município de Fortaleza – Ceará, Brasil, afim de verificar as precisões posicionais, possíveis de serem atingidas pelo receptor GNSS integrado ao no *smartphone* Xiaomi Mi 8, usado neste estudo. A tabela 4, a seguir, traz os locais e os tipos de levantamentos realizados.

Tabela 4 – Cenários e os tipos de levantamentos realizados

CENÁRIO	DATA	DURAÇÃO LEVANTAMENTO	LOCAL	LEVANTAMENTO
Cenário 1	10/11/2020	2h	Campus PICI - UFC	Estação Total
Cenário 1	11/01/2021	5h02min	Campus PICI - UFC	Xiaomi Mi 8 – PPP
Cenário 1	03/02/2021 e 05/02/2021	20min, 10 min, 5 min	Campus PICI - UFC	Receptor Topcon e Xiaomi Mi 8 – Estático-Relativo
Cenário 2	11/02/2021	5h24min	Campus PICI - UFC	Xiaomi Mi 8 – PPP
Cenário 2	13/02/2021	2h	Campus PICI - UFC	Receptor Topcon e Xiaomi Mi 8 - Cinemático

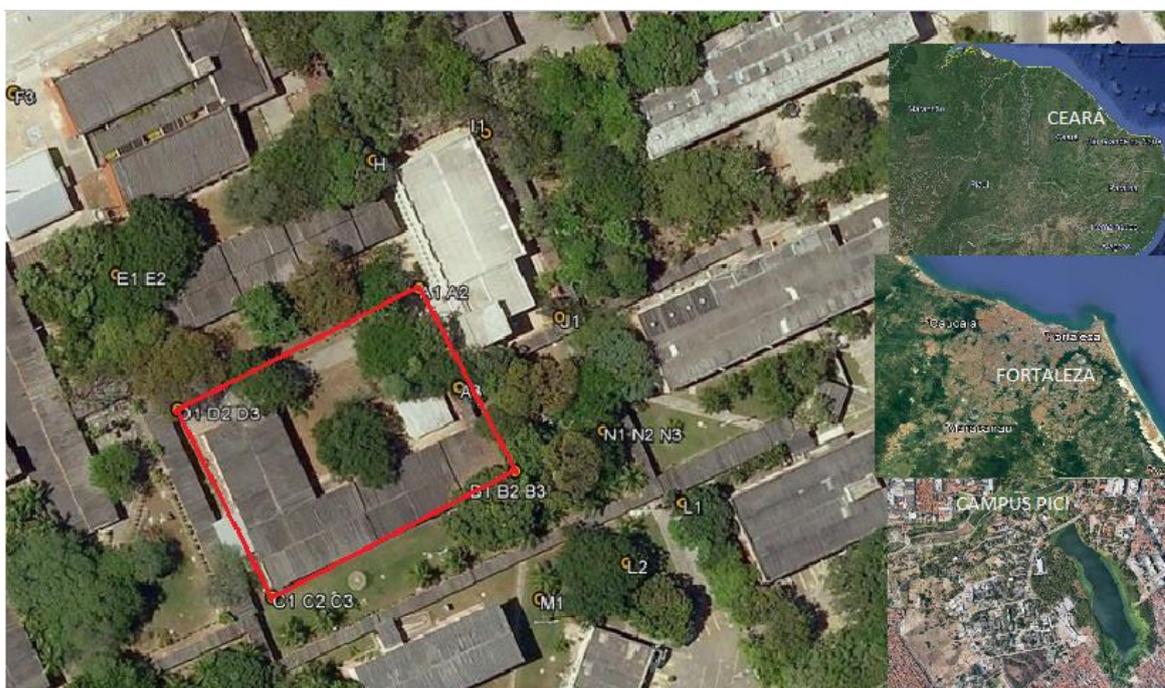
Fonte: Próprio autor.

O Cenário 1 está localizado na cidade de Fortaleza, Ceará, Brasil, no Centro de Tecnologia do Campus PICI na Universidade Federal do Ceará, nos entornos dos Blocos 711/712, onde existe uma rede de vértices, implantada como apoio aos levantamentos

topográficos realizados nas aulas práticas/campo dos alunos do Laboratório de Geomática Aplicada (LAG), da Universidade Federal do Ceará (UFC). Estes vértices foram implantados em cilindros de concreto no terreno, cujo centro possui um pino metálico central. As coordenadas dos vértices foram em 2014, obtidas a partir de um levantamento geodésico, realizado com o receptor GNSS Leica GPS1200X. Os diversos vértices que compõem, a assim denominada, Rede LAG de apoio planimétrico, estão posicionados no entorno de diversos blocos edificadas, no Centro de Tecnologia. A localização dos vértices da rede LAG de apoio planimétrico, assim como as suas coordenadas encontram-se disponíveis no site <https://www.det.ufc.br/materialdeapoiolag>. Para a realização do levantamento PPP (Posicionamento por Ponto Preciso) foi utilizado vértice C2. No levantamento estático-relativo, foram utilizados os vértices A2, B2, C2 e D2, que conformam uma poligonal fechada. (Figura 12), contornando os Blocos 711/712 do CT.

O Cenário 2 também se localiza no Campus do PICI na Universidade Federal do Ceará, mais especificamente por trás do novo atrás do Restaurante Universitário, ao lado do Bloco de Multimídias (Figura 13). O local não apresenta pontos topográficos e não há edificações e árvores ao redor, o que melhora a coleta dos sinais dos satélites.

Figura 12: Pontos topográficos utilizados nos levantamentos do Cenário 1



Fonte: Disponível em: <https://www.det.ufc.br/materialdeapoiolag>, acessado em dezembro de 2020.

Figura 13: Cenário 2



Fonte: Google Earth PRO

5.2 Materiais

5.2.1 Equipamentos

Para este estudo, optou-se pelo uso do *smartphone* Xiaomi Mi 8, devido ao aparelho apresentar características técnicas específicas, tais como: sensor GNSS de dupla frequência (L1/L5) e também devido a possuir um sistema operacional Android 9 Pie, superior ao Android 7, o que possibilita gravação e descarrego dos dados brutos GNSS, para a realização do seu pós-processamento dos dados (Figura 14). Adicionalmente, destaca-se que o referido *smartphone* também apresenta a possibilidade de ativação da função forçar medição GNSS, que faz com que o aparelho colete os dados enviado pelos satélites continuamente sem interrupções (perdas de ciclo).

Figura 14: Características técnicas do smartphone Xiaomi Mi 8

Característica	Observação
Fabricante	Xiaomi
Modelo	Mi 8 (versão global)
Lançamento	Maior de 2018
Dimensões	154,9 (altura) x 74,8 (largura) x 7,6 mm (espessura)
Armazenamento interno	64 GB
RAM (do inglês <i>Random Access Memory</i>)	6 GB
Bateria (mAh)	3.400
Preço aproximado	R\$ 2.500,00
Sistema operacional (plataforma)	Android – MIUI (Interface)
Versão inicial do Android	8.1 Oreo (API = 28)
Versão atual do Android (junho de 2019)	9 Pie (API = 29)
Sensor – GNSS (Posicionamento)	AGNSS, GPS (L1 e L5), GLONASS (L1), Galileo (E1 e E5), Beidou (B1) e QZSS
Sensor - Giroscópio	Sim*
Sensor - Acelerômetro	Sim*
Sensor - Magnetômetro	Sim*
Sensor - Barômetro	Sim*

Fonte: Gomes (2019).

Para o levantamento topográfico convencional, foram utilizados os seguintes equipamentos: estação total do fabricante RUIDE, modelo 822R, com precisão angular de 2". Usou-se ainda como acessórios um tripé topográfico, um bastão extensível e um prisma. Todos os equipamentos foram gentilmente disponibilizados pelo Laboratório de Geomática Aplicada – LAG/UFC.

Figura 15: Estação Total Ruide.



Fonte: Disponível em: <https://www.det.ufc.br/equipamentos>, acessado em março de 2021.

Para avaliar a precisão e acurácia do levantamento relativo Estático-rápido,

utilizou-se o receptor GNSS fabricada pela Topcon modelo GRS-1.

5.2.2 Aplicativos (APPs)

Para a extração dos dados brutos GNSS do smartphone, utilizou-se o aplicativo Geo++ RINEX *Logger*, disponível gratuitamente nos aparelhos com sistema operacional Android, no qual os dados gerados são extraídos no formato RINEX 3.0.

5.2.3 Softwares

Os softwares utilizados para a realização dos pós-processamentos dos dados coletados pelo *smartphone* e estação total foram:

- DataGeosis (Software pago, propriedade do LAG).
- IBGE-PPP: Serviços Online;
- Leica Geo Office Versão 8.4 (Software Pago);
- GNSS Analysis App (Software gratuito);
- PROGRID (Software gratuito);
- MAPGEO (Software gratuito).

5.2.4 Dados da rede LAG de apoio planimétrico

A rede LAG foi implementada no ano de 2014, com finalidade de auxiliar os alunos da Universidade Federal do Ceará na parte prática da disciplina de Topografia. As coordenadas dos vértices da rede, assim como o Datum utilizado e a incertezas estão apresentadas na imagem a seguir.

Figura 16: Coordenadas dos vértices da rede LAG

Datum Sirgas 2000, Coodenadas em
projeção UTM, fuso 24 S

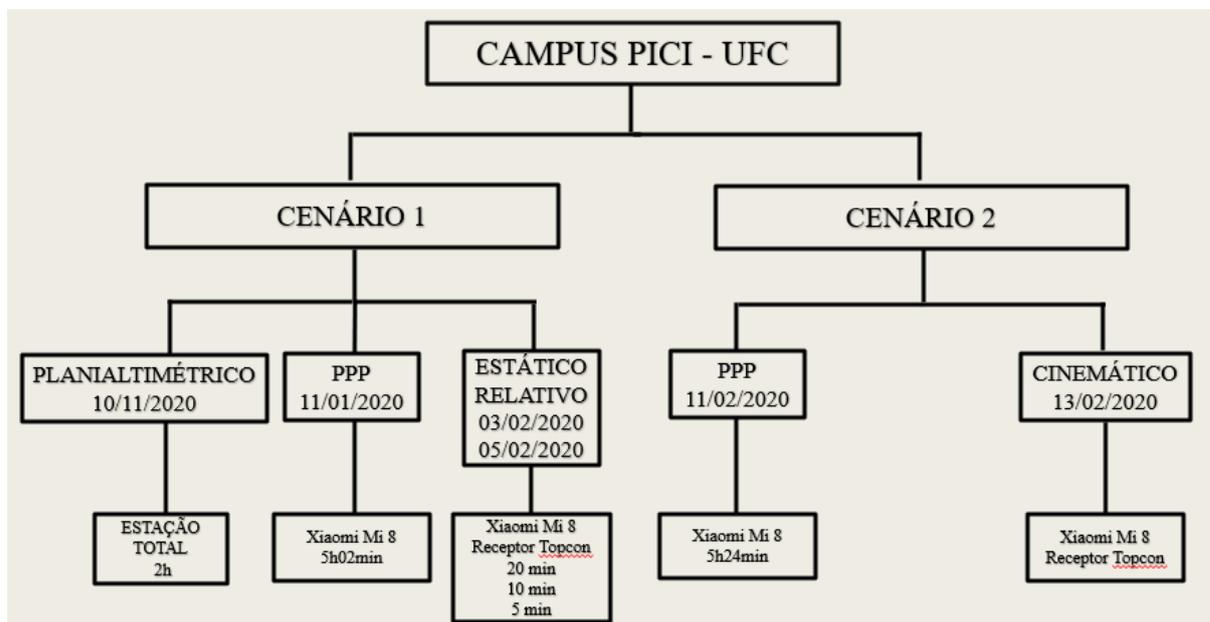
Pontos de Apoio	E(m)	N(m)	Altitude Ortométrica (m)	Incerteza planimétrica (m)	Incerteza Altimétrica (m)
A1	547076,358	9586174,361	18,62520	0,0058	0,0093
A2	547076,548	9586172,249	18,49750	0,0041	0,0019
A3	547081,479	9586154,560	18,76430	0,0015	0,0038
B1	547091,140	9586131,641	21,73200	0,0032	0,0081
B2	547094,353	9586132,479	19,68680	0,0178	0,0419
B3	547095,797	9586133,469	19,13470	0,0150	0,0382
C2	547039,881	9586114,189	19,74680	0,0042	0,0030
C1	547038,990	9586115,231	19,25570	0,0061	0,0041
C3	547040,234	9586113,375	19,74110	0,0033	0,0037
D1	547022,979	9586155,890	21,40320	0,0564	0,2332
D2	547026,640	9586152,361	19,25720	0,0047	0,0097
D3	547027,992	9586153,840	18,89750	0,0420	0,0655
E1	547014,328	9586183,154	19,07630	0,0448	0,1635
E2	547018,950	9586181,821	16,24920	0,0832	0,1838
F1	547003,311	9586214,300	18,58310	0,0069	0,0056
G1	547050,772	9586228,973	19,43450	0,0078	0,0144
J1	547100,348	9586162,068	19,34690	0,0032	0,0081

Fonte: Disponível em: <https://www.det.ufc.br/materialdeapoiolag>, acessado em abril de 2021.

5.3 Métodos

Os levantamentos para este trabalho foram realizados de acordo o fluxograma apresentado a seguir.

Figura 17: Fluxograma dos levantamentos.



Fonte: Próprio autor

5.3.1. Levantamento Topográfico

Para efeito de comparação realizou-se um levantamento topográfico planialtimétrico convencional dos vértices da Rede LAG usados como referência. Para tanto usou-se a estação total RUIDE 822R, executando-se uma poligonização pelo método dos ângulos horários, ocupando-se os vértices A2, B2, C2 e D2, localizados no entorno dos Blocos 711/712 do CT (Figura 12), formando uma poligonal fechada. Em seguida os dados foram processados no DataGeosis.

5.3.2. Levantamento pelo método Estático-Relativo – Receptor GNSS Topcon GRS-1

O levantamento GNSS foi realizado ocupando-se os vértices A2, B2, C2 e D2 da rede LAG de apoio planimétrico, com o receptor GNSS Topcon GRS-1. Usou-se o método de posicionamento estático rápido, no qual foi seguida a seguinte conduta: Instalou-se o receptor Topcon GRS-1 em um vértice da rede LAG de apoio planimétrico (vértice E1), externo à poligonal formada pelos vértices A2, B2, C2 e D2. Foram medidos os dados GNSS enquanto ocupava-se cada um dos vértices A2, B2, C2 e D2 com o smartphone. Foram realizados 3

levantamentos Estáticos-rápidos, considerando diferentes tempos de ocupação em cada um dos vértices pelo smartphone, a saber, de 5, 10 e 20 minutos sequencialmente.

Para avaliar a precisão do levantamento relativo Estático-rápido, utilizou-se o receptor GNSS fabricado pela Topcon, modelo GRS-1 como base curta, visto que foi estacionado a menos de 100 metros de distância dos pontos da poligonal do Cenário 1 e rover o receptor GNSS do Xiaomi Mi 8. Também realizou os pós processamento dos dados do *smartphone* do mesmo levantamento utilizando os dados das estações RBMC CEFT e CESB localizadas nos municípios de Fortaleza - CE e Sobral - CE respectivamente, as quais estão disponíveis no site do IBGE.

Figura 18: Receptor GNSS Topcon GRS-1 ocupando vértice E1 da rede LAG de apoio Planimétrico.



Fonte: Próprio autor.

5.3.3. Levantamento GNSS pelo método Absoluto PPP

Realizou-se um levantamento GNSS, ocupando-se vértice C2 da rede LAG de apoio planimétrico, coletou-se dados isoladamente, pelo método estático absoluto, com o smartphone Xiaomi Mi 8, durante um período de tempo de 5 horas e 02 minutos (Cenário 1). Foram usados os aplicativos Geo++ RINEX e GNSS logger em execução simultânea. Para que não houvesse interferência de outras funções do celular como sinal telefônico, rede wifi entre outros, ativou-se o modo avião do smartphone com a finalidade também de economizar a bateria e garantir que o aparelho ficasse tempo suficiente ligado coletando os dados. É válido ressaltar que não foi utilizado a função AGNSS durante o levantamento. Ativou-se a

opção coletar apenas sinais GPS e a opção do desenvolvedor de forçar coleta GNSS, desabilitando o *duty cycle*. Note-se que diferente de uma antena de um receptor GNSS convencional, que pode ser corretamente nivelada e centralizada, sobre o ponto a ser levantado, com uso de uma base nivelante, quando se usa um smartphone para coletar dados GNSS essa possibilidade não existe, porque o receptor e sua antena estão integrados fisicamente ao corpo do smartphone. Assim, realizou-se uma adaptação posicionar o smartphone sobre o vértice C2. Na Figura 17, percebe-se que o *smartphone* não está totalmente centralizado e nivelado sobre o ponto, uma vez que as coordenadas do receptor integrado ao smartphone, são determinadas pelo centro de fase da antena do equipamento. No caso do Xiami Mi 8, a antena BCM4775X deste se encontra próxima a câmera (Figura 19).

Figura 19: *Smartphone* Xiaomi Mi 8 posicionado sobre o vértice C2 da rede LAG de apoio planimétrico



Fonte: Próprio autor.

Figura 20: Localização provável da Antena do Xiaomi Mi 8.



Fonte: Gomes, 2019

Para o levantamento correspondente ao Cenário 2, foi escolhido um local aberto, livre de obstruções tais como edificações ou árvores (Figura 13). Da mesma forma que foi realizado o qual tipo de levantamento PPP no vértice C2, por um período de 5 horas e 24 minutos, realizando-se o pós-processamento posteriormente no software Leica Geo Office.

Figura 21: Levantamento PPP com o Xiaomi Mi 8 no Cenário 2.



Fonte: Próprio autor.

5.3.4. Levantamento GNSS Cinemático-Rexeptor Topcon GRS-1

Realizou-se o levantamento cinemático que consistiu em ocupar com o receptor GNSS Topcon GRS-1 o mesmo vértice do levantamento PPP descrito no Cenário 2 (Figura 20) para coletar dados GNSS, enquanto, simultaneamente, com o receptor do smartphone foi realizado um trajeto pelo Campus do PICI, deslocando-se no interior de um automóvel. Foram realizadas duas coletas nesta conduta: a primeira com o veículo trafegando em baixa velocidade (10 a 20 km/h), e a outra em alta velocidade (50 km/h).

Figura 22: Receptor GNSS Topcon GRS-1, no Cenário 2.



Fonte: Próprio autor.

5.4 Processamento GNSS

Foram realizadas diferentes condutas e estratégias de processamento dos dados coletados pelo Xiaomi Mi 8 através do levantamento PPP nos Cenários 1 e 2. Tanto com software Leica Geo Office, quanto no processamento automatizado do IBGE (PPP). Foram utilizados no total 8 condutas de processamento e comparadas as incertezas de cada processamento de suas coordenadas finais, as condutas de processamento realizadas foram:

- Absoluto Instantâneo (código CA);
- Absoluto SPP (Single Point Position) (código CA);
- IBGE PPP (Fases L1 e L5);
- Relativo estático de Base curta (código CA);
- Relativo estático de Base curta (código CA + fase L1);
- Relativo estático de Base curta (código CA + P1 + P2 e fases L1 + L2);
- Relativo estático de Base longa (código CA + fase L1);
- Relativo estático de Base longa (código CA + P1 + P2 e fases L1 + L2).

Como estação de referência para os processamentos relativos de base curta, utilizou-se a estação da RBMC de Fortaleza (CEFT), localizada no cais do porto, distante cerca de 12 km do vértice C2. Como estação de referência para os processamentos relativos

de base longa utilizou-se a estação da RBMC de Sobral (CESB), distante cerca de 196 km do vértice C2. Nesse estudo, todos os processamentos foram realizados utilizando as efemérides precisas, disponibilizados pelo IGS no seguinte URL: https://cddis.nasa.gov/Data_and_Derived_Products/GNSS/orbit_products.html. Para a realização dos processamentos, nos quais das observáveis L1 e L2 das constelações GPS e GLONASS, foi selecionado o modo “float”, enquanto os processamentos com o código selecionam-se o modo “code only”.

De forma semelhante, realizou-se o processamento dos dados levantados pelo método Estático-relativo nos pontos da poligonal A2, B2, C2 e D2. O receptor da Topcon GRS-1 e a estação RBMC de Fortaleza (CEFT) foram considerados como base curta e para a base longa considerou-se a estação da RBMC de Sobral (CESB).

Os processamentos realizados através do software Leica resultaram nas coordenadas geodésicas: latitude, longitude e altura elipsoidal, referenciadas ao datum WGS84. Usou-se o programa ProGrid (IBGE) para conversão para coordenadas em projeção cartográfica UTM, o que permitiu a comparação com as coordenadas obtidas no levantamento topográfico convencional dos vértices levantados no do Cenário 1 (coordenadas dos vértices da rede LAG de apoio planimétrico). Calculou-se os deslocamentos relativos de cada ponto, através da diferença entre as coordenadas de referência dos vértices e as coordenadas obtidas nas diferentes condutas de processamento realizadas. Adicionalmente, calculou-se a média dos desvios padrões das coordenadas N, E e altura elipsoidal, obtidos nos relatórios dos processamentos disponibilizados pelo software Leica Geo Office.

Das coordenadas obtidas para o vértice C2 no levantamento PPP realizado pelo Xiaomi Mi 8 no Cenário 01, obteve-se as diferenças entre as coordenadas de referência (rede LAG de apoio planimétrico) e as obtidas nos diversos métodos de processamento realizados. Para o cálculo da diferença de altitude, a altura elipsoidal foi convertida com o auxílio do programa MAPGEO do IGBE, em Altitude Ortométrica obtendo para todos os pontos uma ondulação geoidal de -9,04 m.

Para o levantamento Estático-relativo com o smartphone realizado para o Cenário 1, devido a grande quantidade de dados (4 pontos, 3 métodos de posicionamento e 8 métodos de pós-processamento), foram obtidos o Erro Planialtimétrico, calculado segundo a Equação 2 para aferir os erros das coordenadas dos levantamentos GNSS:

$$\text{Erro Planialtimétrico} = \sqrt{(\Delta E^2 + \Delta N^2 + \Delta H^2)} \quad (2)$$

ΔE = Coordenada E (Rede LAG) – Coordenada E (processamento);

ΔN = Coordenada N (Rede LAG) – Coordenada N (processamento);

ΔH = Altitude ortométrica (Rede LAG) – Altitude Ortométrica (processamento + N).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão apresentados os resultados e comparações das coordenadas obtidas através dos levantamentos realizados utilizando os métodos de posicionamento absoluto e relativo GNSS.

6.1 Levantamento Topográfico

Os dados do levantamento planialtimétrico realizado com estação total no Cenário 1 foram processados através do software DataGeosis, obtendo-se as coordenadas dos vértices A2, B2, C2 e D2, assim como os erros angulares, lineares e altimétricos. A Tabela 5, a seguir, traz os resultados do processamento.

Tabela 5: Coordenadas obtidas pelo ajustamento da poligonal topográfica software DataGeosis

Ponto	Coordenada E (m)	Coordenada N (m)	Altura (m)
A2	547074,708	9586174,541	19,165
B2	547093,445	9586133,295	19,541
C2	547040,361	9586112,833	19,988
D2	547026,640	9586152,361	19,257

Fonte: Próprio autor.

Os erros encontrados no levantamento planialtimétrico foram:

- Erro angular: 0° 01' 15";
- Erro linear: 0,076 metros;
- Erro altimétrico: 12,169 metros.

O erro angular encontrado coincide com uma tolerância da Classe IV (1'20"), não sendo ideal para a implantação de marcos geodésicos ou projetos de engenharia. Percebe-se que o erro altimétrico é muito elevado, tendo como fator ocasional desse erro o fato dos pontos topográficos levantados em 2014 estarem em locais com a presença de obstáculos de árvores e edificações, gerando erros na coleta do sinal dos satélites. Ao verificar as coordenadas dos pontos topográficos disponíveis no material de apoio no site do Laboratório de Geomática aplicada, percebe-se que em alguns pontos distantes de menos de 1 metro entre

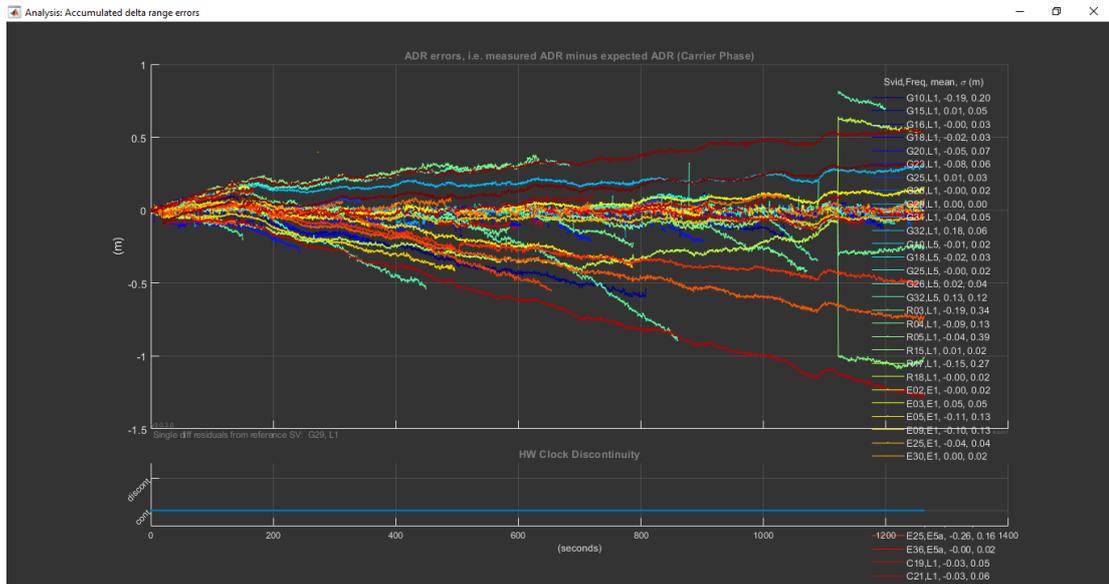
eles, os valores das alturas chegam a ultrapassar 1 metro, o que não condiz com a realidade do local.

6.2 Levantamento GNSS posicionamento Absoluto

Para levantamento realizado no Cenário 01, foram encontrados alguns problemas durante o processamento dos dados brutos do Xiaomi Mi 8 no vértice C2. Ao realizar o pós-processamento considerando as ondas portadoras, isto é, com a função *float* habilitada, tanto na base curta quanto longa ocorreu de repetir os mesmos valores obtidos no processamento realizado utilizando apenas o código C/A, não reconhecendo as ondas portadoras. (Anexo A).

Para compreender o que pode ter ocorrido é necessário avaliar de forma criteriosa os dados brutos. Uma possibilidade é que no processamento com a função *float*, o Leica utiliza às ondas L1 e L2, sendo que o *smartphone* reconhece as ondas L1 e L5. Outra possível causa pode ser a perda dos sinais dos satélites durante o período de gravação, o que dificulta a resolução da ambiguidade e a determinação das coordenadas. No Gráfico 01 percebe-se que o ADR (Accumulated Delta Range), que é calculado com base na onda portadora e uma constante, apresenta interrupções para vários satélites durante o período de 20 minutos de gravação. Neste exemplo, não foi possível processar os dados dos levantamentos PPP de 5 horas duração do vértice C2, no GNSS Logger para melhor análise dos gráficos, devido as configurações do computador utilizado no processamento dos dados serem insuficientes. A perda de sinal de vários satélites, aumenta o erro dos demais satélites de 0,5 metros para mais de 1 metro. Esta perda de sinal pode atrapalhar na resolução da ambiguidade e na determinação das coordenadas do receptor.

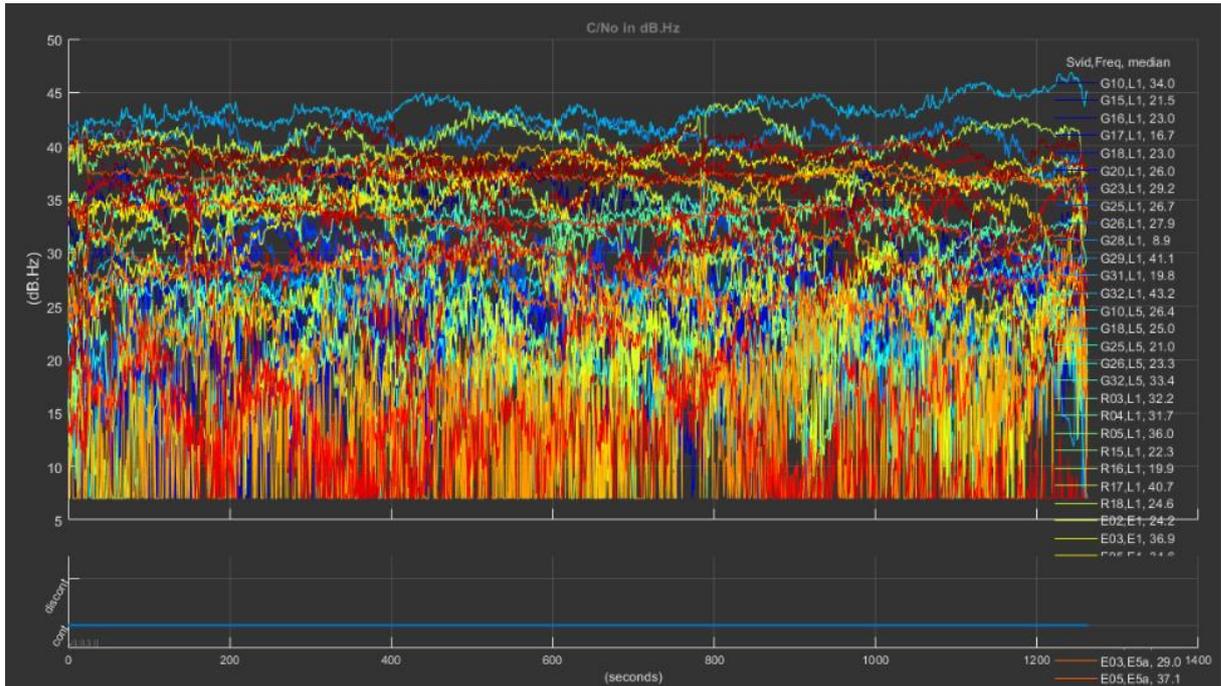
Gráfico 1 – Erros do ADR (Fase da onda portadora)



Fonte: Próprio autor.

Outro fator que pode ter ocasionado o erro no processamento com as ondas portadoras é o fato de que o software Leica Geoffice não reconheceu o modelo da antena do Xiaomi Mi 8. Além de não reconhecer a antena e calcular os devidos “offsets” conforme o modelo da antena, a antena dos smartphones são de baixa qualidade, como poder ser visto pelos gráficos da relação sinal/ruído das ondas que chegam do satélite (C/No). No Gráfico 2, percebe-se que a relação sinal ruído para a maioria dos satélites encontram-se abaixo do esperado para os satélites da constelação GPS (38 dBHz e GLONASS 36 dBHz). Comparativamente a um receptor Geodésico com antena de alta qualidade esta relação C/No fica superior a 40 dB-Hz (GOMES, 2019).

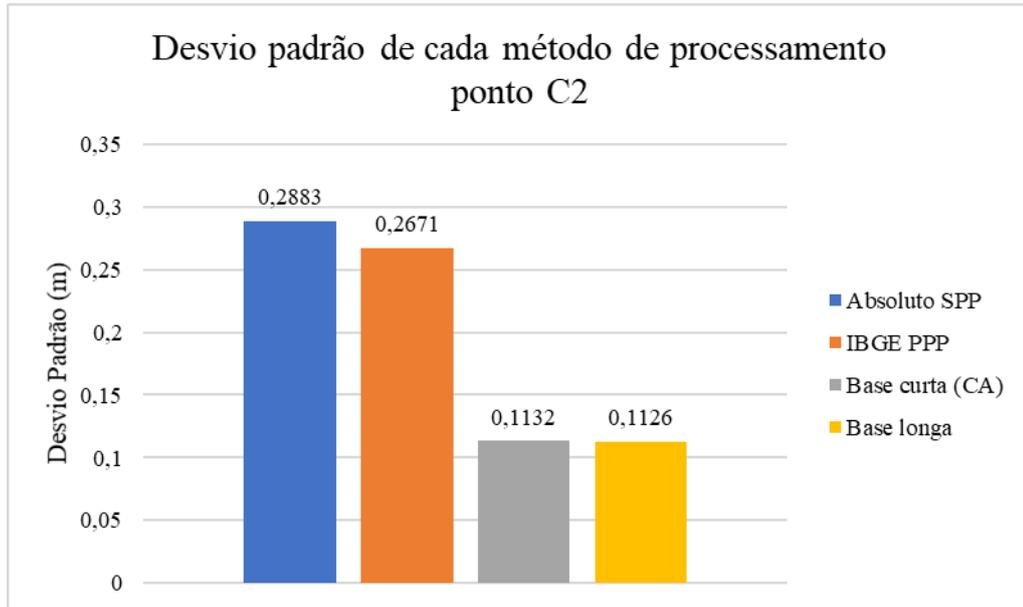
Gráfico 2: Relação C/No em dB.Hz em relação ao tempo



Fonte: Próprio autor.

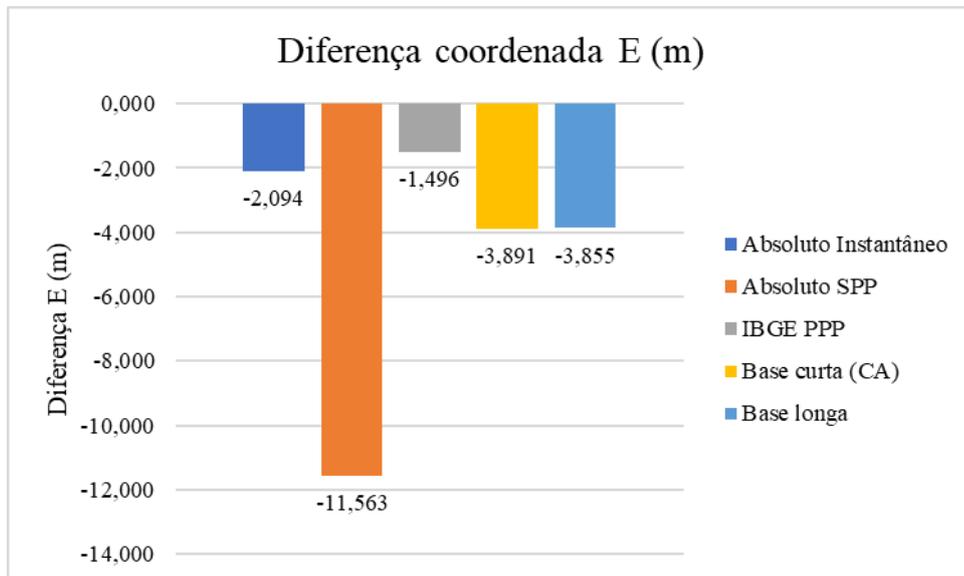
Nos processamentos realizado com os dados coletados no levantamento PPP no vértice C2, no Cenário 01, o qual encontra-se circundado por árvores e pelo bloco 711/712, a conduta de processamento relativo de base curta, utilizando o código apresentou o desvio padrão planimétrico mais baixo, com valor de de 11 cm (Gráfico 03). Porém, quando comparados as coordenadas Este e Norte deste ponto com as coordenadas de referência topográficas, a diferença foi de 3,891 metros para a coordenada Este, 2,365 para a coordenada Norte e 3,634 para a altura (Gráficos 04 a 06). Estas diferenças na faixa métrica decorrem, provavelmente, da incapacidade do programa de determinar coordenadas confiáveis utilizando a função *float*.

Gráfico 3: Desvio padrão de cada processamento para o vértice C2.



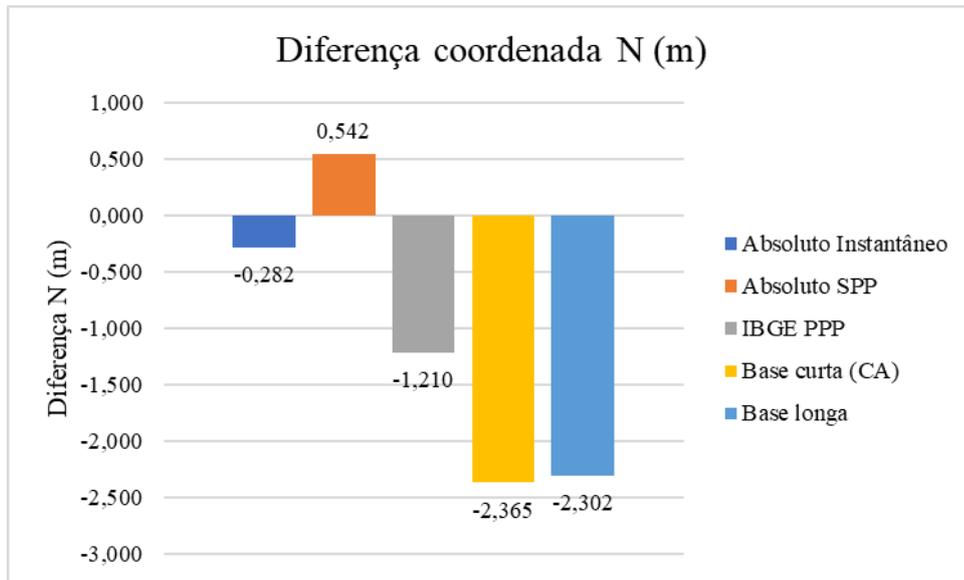
Fonte: Próprio autor.

Gráfico 4: Diferença na coordenada E (m) vértice C2



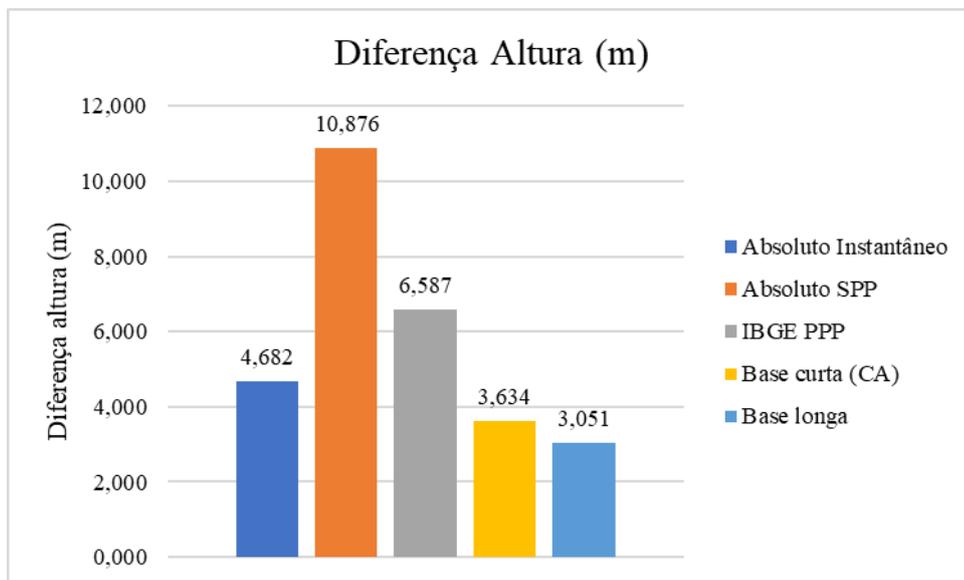
Fonte: Próprio autor.

Gráfico 5: Diferença na Coordenada N (m) vértice C2



Fonte: Próprio autor.

Gráfico 6: Diferença na Altitude ortométrica (m) do vértice C2



Fonte: Próprio autor.

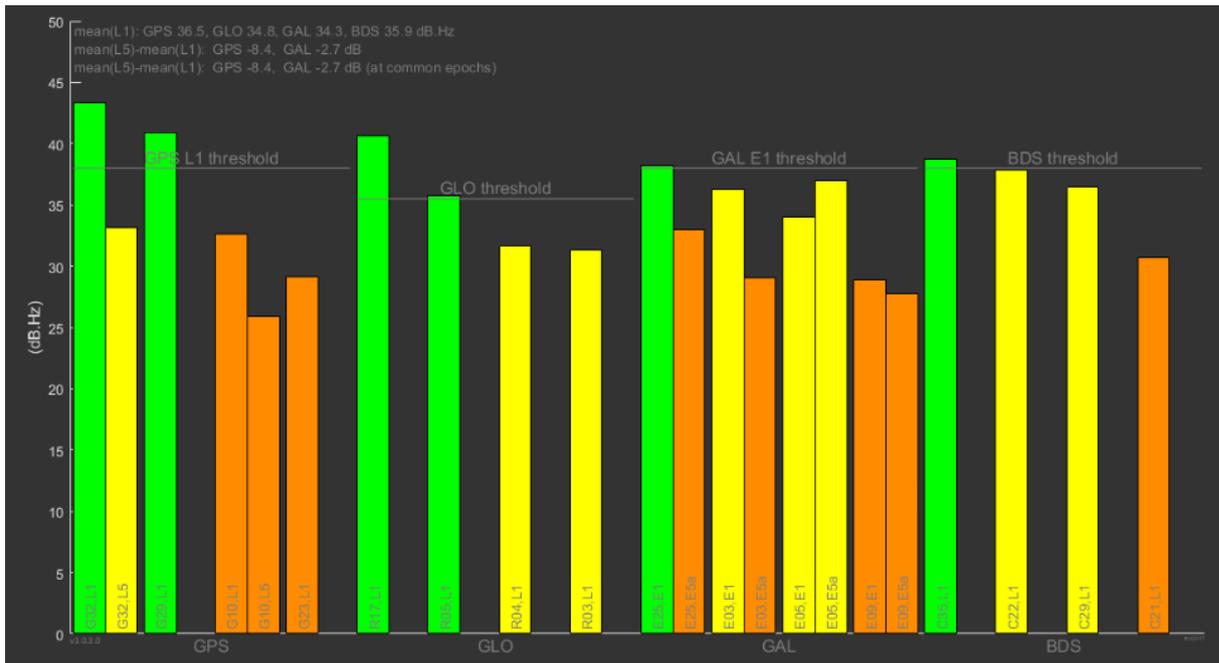
Verifica-se também que a diferença entre as coordenadas dos métodos de pós-processamento e a topográfica de referência não apresentou erro uniforme nas coordenadas Este e Norte, obtendo-se uma diferença inferior a 1 metro para a coordenada Norte, e superior a 2 metros na coordenada Este. O processamento que obteve a mesma margem de diferença para as duas coordenadas foi a do IBGE PPP, que obteve uma diferença abaixo de 1,5 metros tanto para a coordenada Norte como para a coordenada Este (Gráficos 04 a 06). O desvio

padrão planimétrico para o processamento PPP (IBGE) foi de 26 centímetros (Gráfico 03). Isso mostra que nem sempre o processamento que apresenta o menor desvio padrão resultará em menor diferença nos resultados, quando comparados a coordenadas obtidas a partir do levantamento topográfico. As diferenças encontradas nas alturas foram em todos os processamentos acima de 3 metros.

No levantamento PPP referente ao Cenário 2 (local sem edificações ou árvores próximas) realizou-se os mesmos processamentos do levantamento PPP no ponto C2 do Cenário 1. Os valores encontrados estão no Anexo B. Nos processamentos em que se utilizou-se a função *float*, verificou-se que o software realizou o processamento com as ondas portadoras, porém obteve valores de desvio padrão extremamente altos ou baixos. Diante dessa observação, continuou-se realizando os processamentos com a função *float* apenas para observar o comportamento dos resultados, porém para a análise de qual método apresenta o melhor resultado, ela foi descartada, já que pode apresentar valores de erros muito grandes ou muito pequeno.

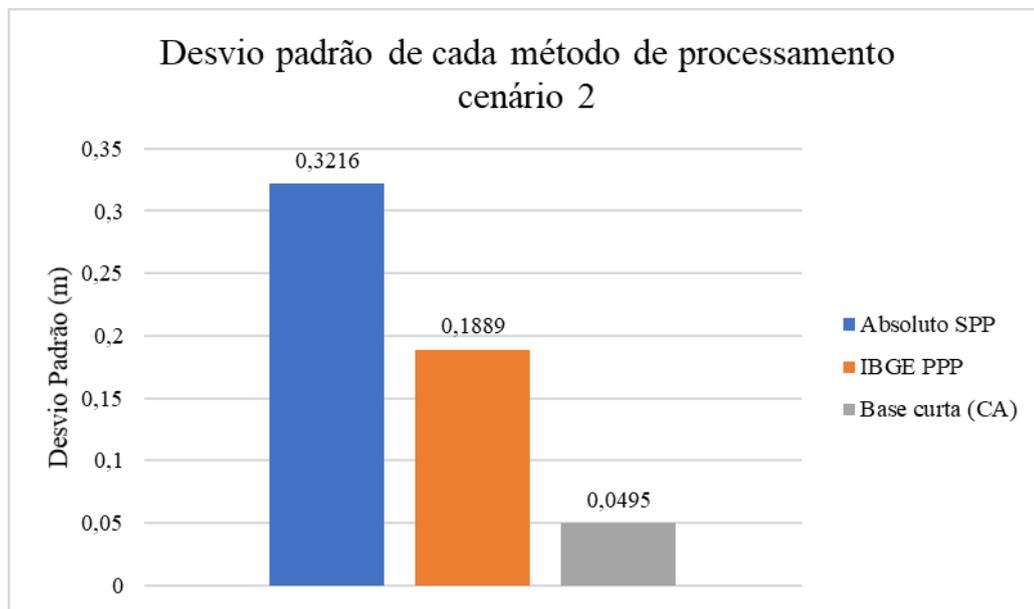
Para o Cenário 02, o processamento que obteve o menor desvio padrão foi o de base curta (CEFT) utilizando-se apenas o código, com valor de apenas 4,95 cm. Como o levantamento foi realizado em local aberto, sem pontos de apoio com coordenadas conhecidas, não foi possível avaliar a acurácia dos resultados, porém vale ressaltar que o desvio padrão planimétrico diminuiu consideravelmente de um cenário em que o ponto estava rodeado de edificações (11 cm) para outro em lugar aberto (4,95 cm) (Gráficos 03 e 08). Isso se deve ao maior erro de multicaminhamento no Cenário 01 comparativamente ao Cenário 02. Esse erro pode ser explicado de acordo o Gráfico 1 mostrado anteriormente, e o Gráfico 5, que indica que os melhores sinais de satélites captados pelo *smartphone* suas médias em dB.Hz. Os sinais dos satélites na maioria das vezes não ultrapassam os 35 dB.Hz (Gráfico 07), devido à presença de obstáculos no local da coleta. Se houvesse mais tempo, o vértice poderia ser levantado utilizando um receptor GNSS geodésico, a fim de comparar as coordenadas deste com o do Xiaomi Mi 8.

Gráfico 7: Exemplos de sinais dos satélites captados pelo Xiaomi por constelação



Fonte: Próprio autor.

Gráfico 8: Desvio Padrão dos processamentos Cenário 2.



Fonte: Próprio autor.

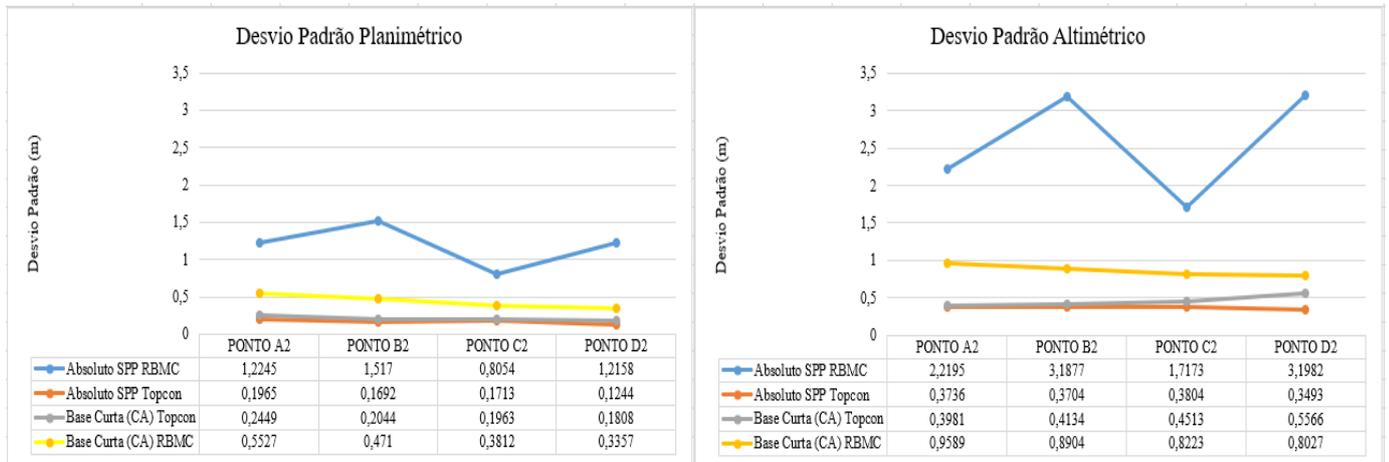
6.2 Levantamento GNSS pelo posicionamento Estático rápido-Relativo

Para o Cenário 01 foram comparadas as coordenadas rede LAG com as coordenadas obtidas pelos processamentos dos dados levantados pelo método Estático-Rápido, considerando tempos de estacionamento no ponto de 5, 10 e 20 minutos.

Os valores de todos os processamentos estão apresentados nos Anexos C, D e E. O Gráfico 09 mostra os desvios padrões planimétricos e altimétricos, considerando os pós-processamentos utilizando o código CA e tendo por base curta o receptor da Topcon estacionado no vértice E1 ou a estação de referência CEFT da RBMC. Como mostrado no Gráfico 9, o menor desvio padrão ocorreu no processamento pelo método SPP, utilizando como base de referência o receptor GNSS da Topcon GRS-1. No levantamento de 20 minutos, o desvio padrão planimétrico variou de 0,12 a 0,19 m e o altimétrico de 0,34 a 0,38 m (Gráfico 09), no de 10 minutos o desvio padrão planimétrico variou de 0,21 a 0,48 m e o altimétrico de 0,43 a 0,94 m (Gráfico 11) e no de 05 minutos o desvio padrão variou de 0,33 a 0,58 e o altimétrico de 0,67 a 1,16 m (Gráfico 13). Como visto, há uma redução no desvio padrão conforme o aumento no tempo de observação.

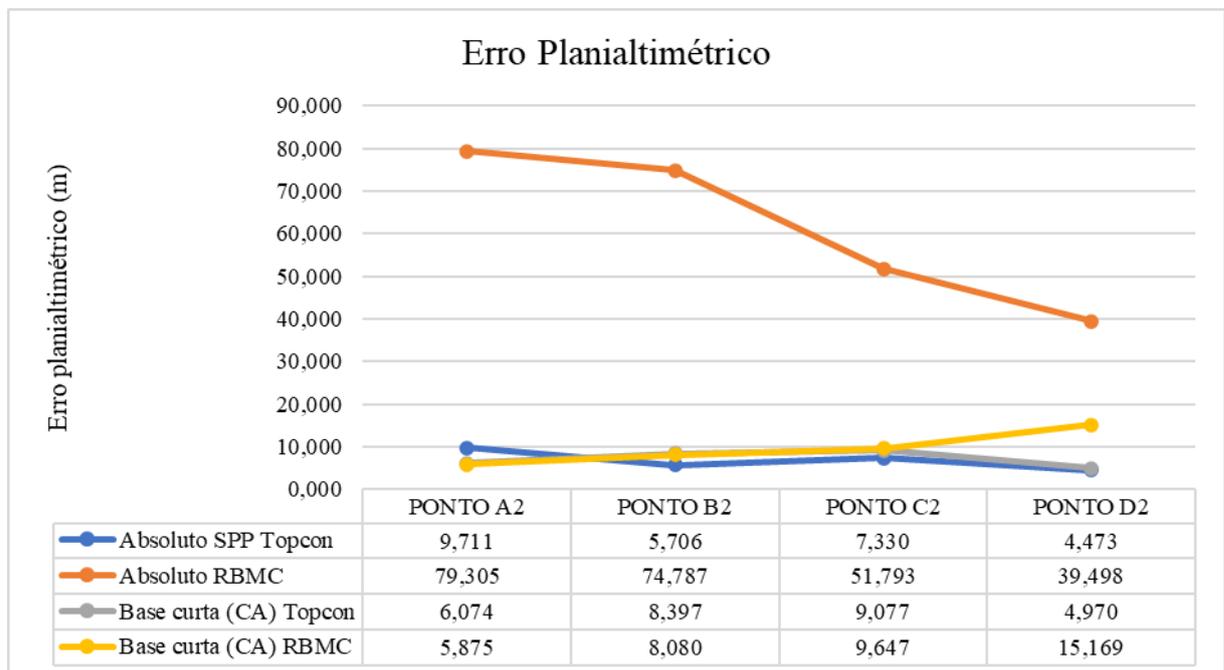
Comparando-se as coordenadas planialtimétricas processadas, utilizando como base o receptor da Topcon GRS-1 ou da RBMC CEFT, com as coordenadas dos vértices no levantamento topográfico, os erros foram altos. Considerando com base de referência o receptor GRS-1, para o estacionamento nos pontos de: até 20 minutos o erro chegou a aproximadamente 9 metros, para os 10 minutos o erro máximo foi de ~13 metros e para 5 minutos ~14 metros (Gráficos 10, 12 e 14). Os erros extremamente altos para alguns pontos se devem na estimativa da altitude dos pontos, as quais alguns foram superiores a 100 metros. Para todos os processamentos foram considerados apenas os Códigos CA quando da determinação das coordenadas finais. Como não foi possível compreender as causas dos erros nas medidas da onda portadora, não foram analisados os erros decorrentes dos processamentos utilizando as ondas portadoras L1 e L2.

Gráfico 9: Desvio padrão planimétrico e altimétrico para o levantamento Estático rápido - Relativo de 20 minutos



Fonte: Próprio autor.

Gráfico 10: Erro Planialtimétrico para o levantamento Estático rápido - Relativo de 20 minutos



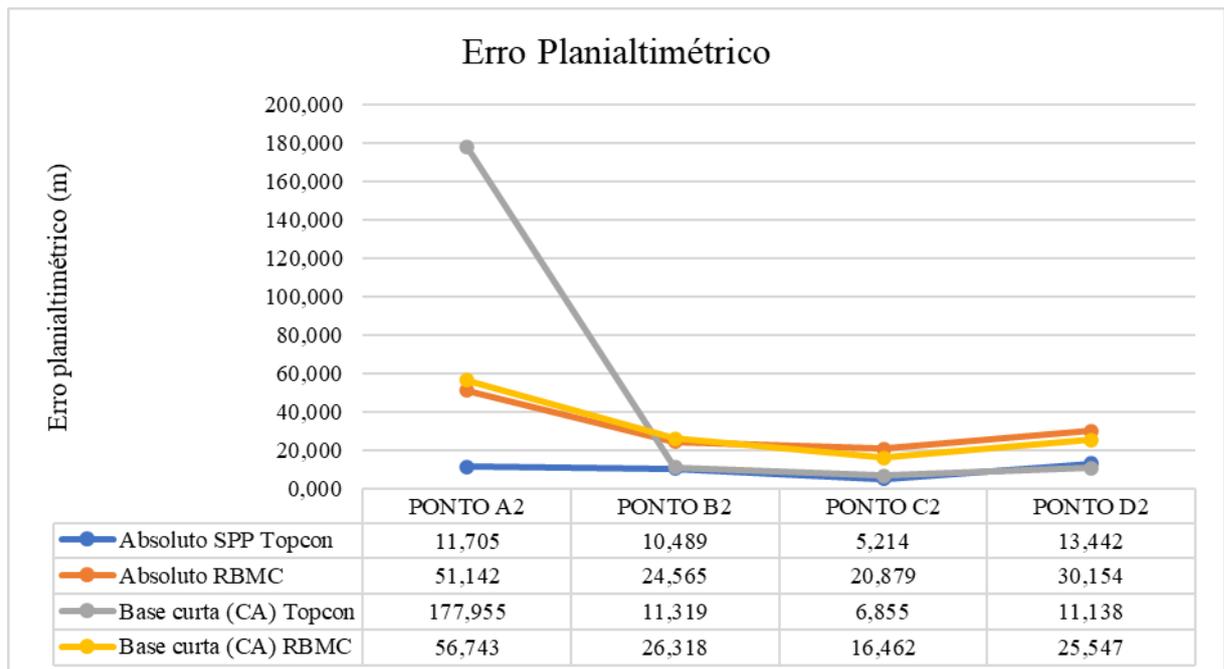
Fonte: Próprio autor.

Gráfico 11: Desvio Padrão Planimétrico e altimétrico para o levantamento Estático rápido - Relativo de 10 minutos



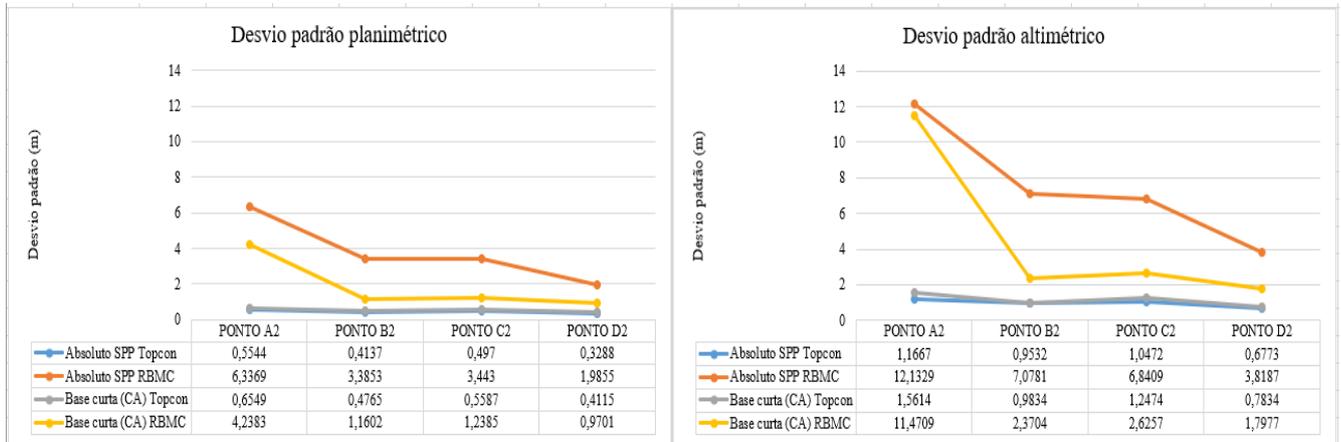
Fonte: Próprio autor.

Gráfico 12: Erro Planialtimétrico para o levantamento Estático rápido - Relativo de 10 minutos



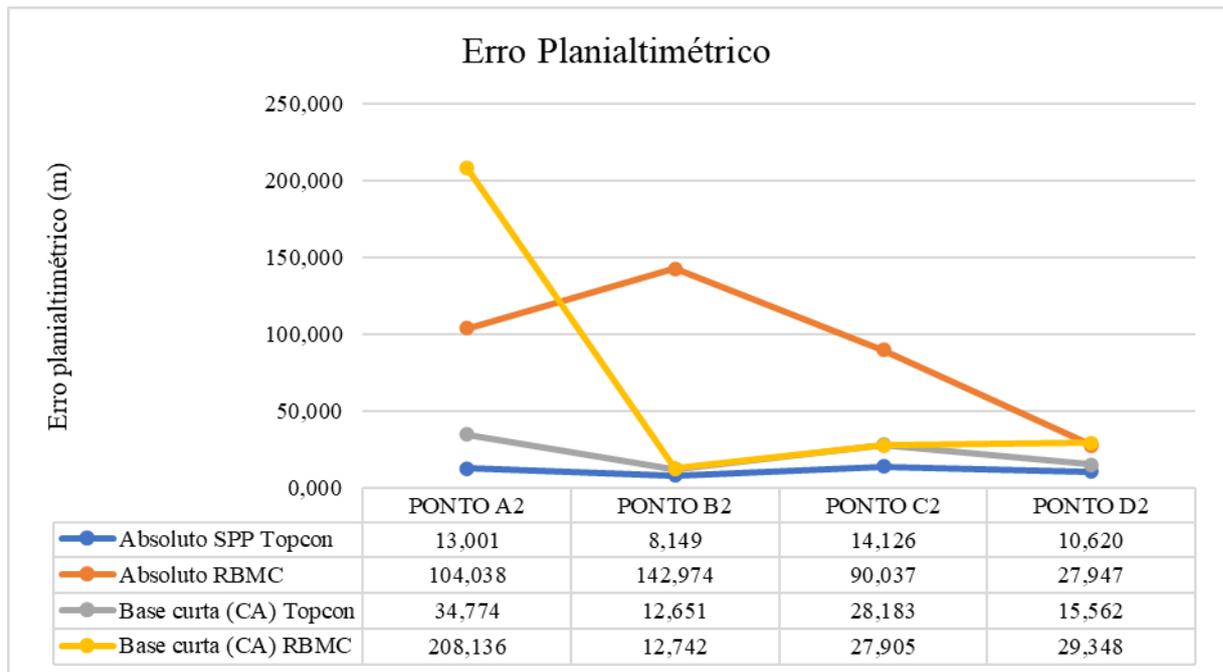
Fonte: Próprio autor.

Gráfico 13: Desvio Padrão Planimétrico e altimétrico para o levantamento Estático rápido - Relativo de 5 minutos



Fonte: Próprio autor.

Gráfico 14: Erro planialtimétrico para o levantamento Estático rápido - Relativo de 5 minutos



Fonte: Próprio autor.

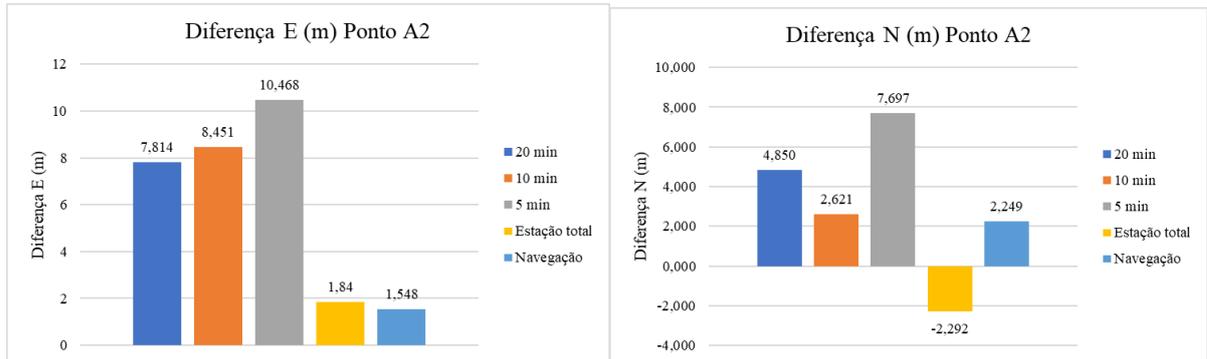
Observou-se que além do processamento SPP com base de referência do receptor Topcon GRS-1, apresentar menor desvio padrão e menor erro total, ele não apresentou muita oscilação nos resultados referentes ao levantamento de 20 minutos, 10 minutos e 5 minutos, enquanto os processamentos nos quais se utilizou como referência a base da RBMC CEFT, tiveram um aumento significativo em seus desvios padrões e erro total. Nos gráficos do erro total, encontra-se valores acima de 150 metros. É perceptível essa diferença nos gráficos dos

desvios padrões planimétricos e altimétricos, sendo que os desvio padrão altimétrico é bastante superior aos do planimétrico principalmente nos levantamentos realizado com as bases de referência da RBMC.

Nos gráficos no que se refere a diferença de coordenadas, foi adicionado o valor dos dados de navegação que foi coletado em cada ponto por um período de apenas 1 minuto. Os dados de navegação foram coletados através de um aplicativo chamado *GPS Essentials*, em que ele já apresenta a coordenada da localização do usuário. Infelizmente as coordenadas fornecidas pelo aplicativo não apresentaram uma boa precisão devido a não apresentar casas decimais em seus valores.

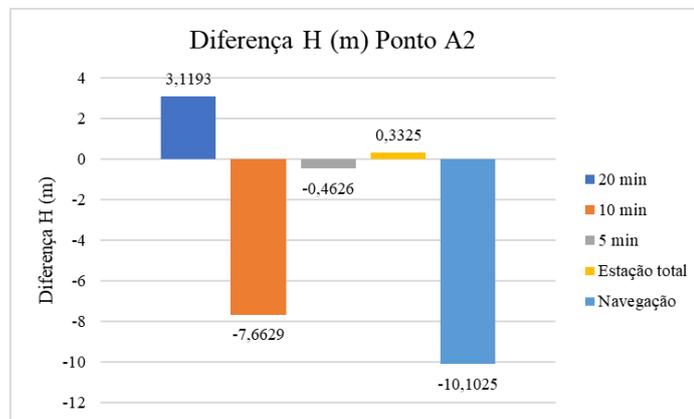
O método de levantamento que apresentou a menor diferença de coordenada em relação ao do material de apoio foi o realizado com a estação total, já que foram utilizados equipamentos próprios para esse fim da topografia, e também utilizou-se no pós processamento uma coordenada conhecida da poligonal para a realização o cálculo do azimute de partida. O vértice escolhido para a realização do cálculo das coordenadas foi o D2, por isso a diferença nas coordenadas desse ponto é 0. Considerando os erros das coordenadas N, E e altitude (H) separadamente para o método que apresentou o menor erro planialtimétrico SPP Topcon GRS-1, percebe-se que os erros da coordenada N para um período de 20 minutos foi inferior a 1 metro, com exceção do ponto A2 (~4 metros), sendo que os menores erros foram para os vértices D2 de 12 cm e C2 de 14 cm. Com relação a coordenada Este e a altitude ortométrica, os erros foram superiores a 2 metros. É interessante notar que os erros planimétricos decorrentes das coordenadas de navegação estão próximos aos erros do processamento realizado com o levantamento de 20 minutos. Com relação aos vértices A2 e B2, os erros destes foram superiores aos encontrados para os vértices C2 e D2, provavelmente, devido a estarem localizados próximo ao Bloco 711 e a passarela em um local totalmente coberto por árvores. Por outro lado, os vértices C2 e D2 apresentam menores obstáculos nas proximidades, e portanto, menores erros provenientes de multicaminhamento.

Gráfico 15: Diferença coordenadas E (m) e N (m) vértice A2.



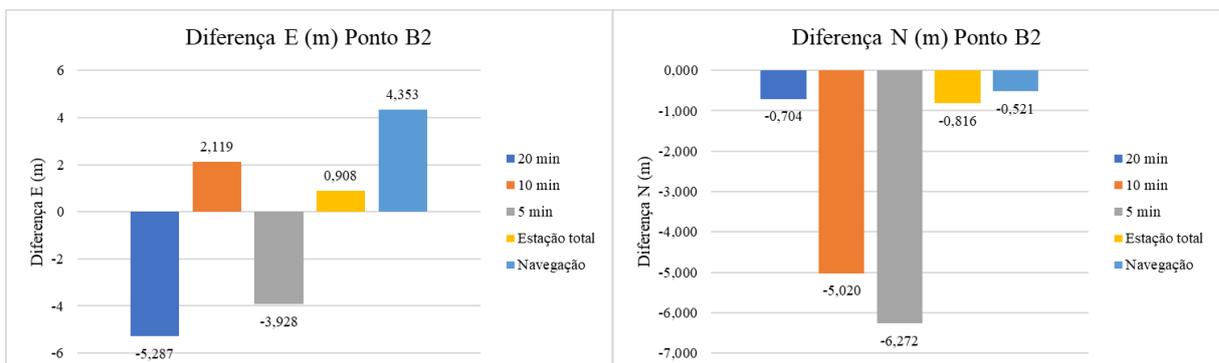
Fonte: Próprio autor.

Gráfico 16: Diferença Altitude ortométrica (m) vértice A2



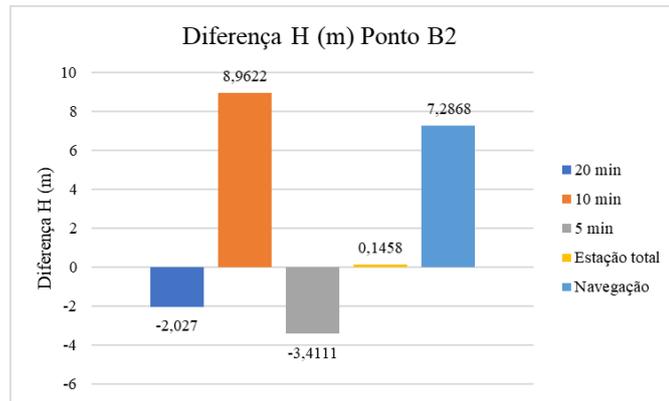
Fonte: Próprio autor.

Gráfico 17: Diferença coordenadas E (m) e N (m) vértice B2



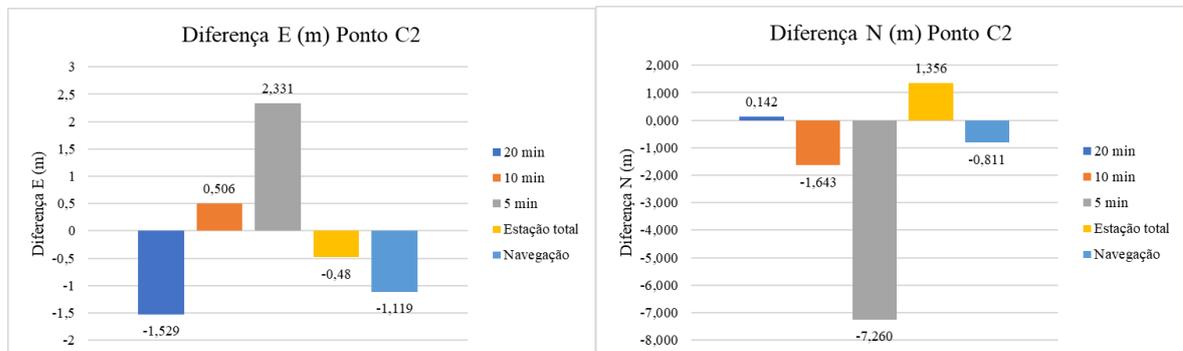
Fonte: Próprio autor.

Gráfico 18: Diferença Altitude ortométrica (m) vértice B2



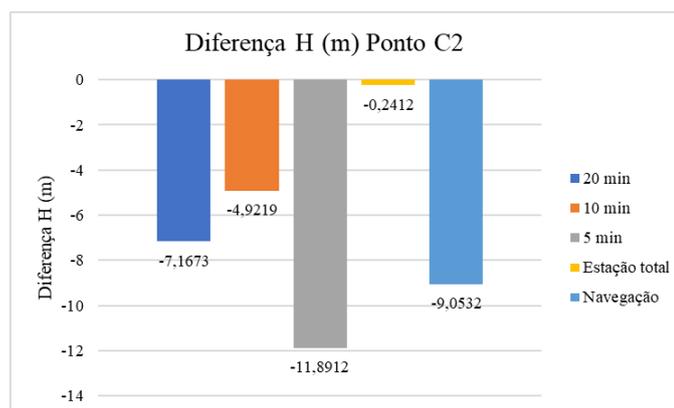
Fonte: Próprio autor.

Gráfico 19: Diferença coordenada E (m) e N (m) vértice C2



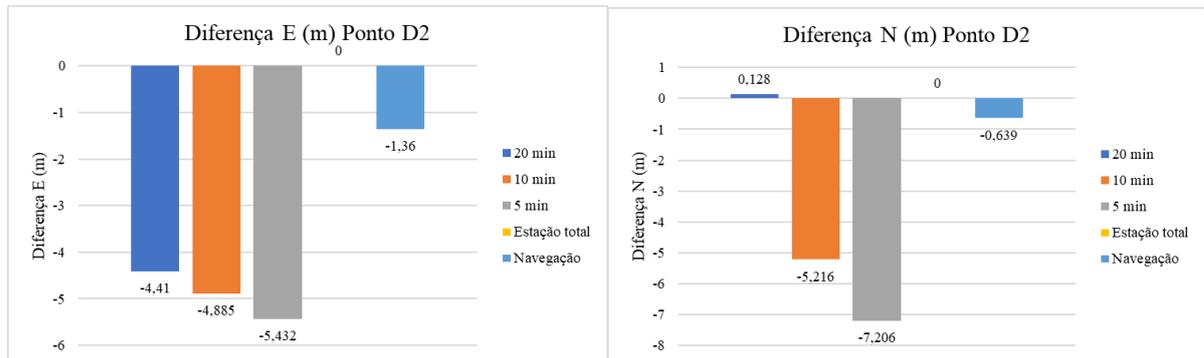
Fonte: Próprio autor.

Gráfico 20: Diferença Altitude ortométrica (m) vértice C2



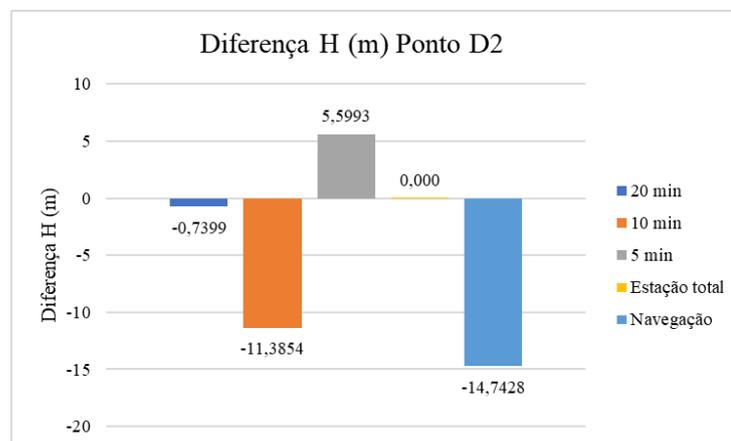
Fonte: Próprio autor.

Gráfico 21: Diferença coordenadas E (m) e N (m) vértice D2



Fonte: Próprio autor.

Gráfico 22: Diferença Altitude ortométrica (m) vértice D2



Fonte: Próprio autor.

6.3 Levantamento GNSS Cinemático

O último levantamento realizado nesse trabalho foi o cinemático. Foi instalado o receptor Topcon GRS-1 no mesmo local em que foi realizado o levantamento PPP no Cenário 2, e com o smartphone posicionado no interior de um veículo em movimento, utilizando a opção *kinematic*, do aplicativo GEO++ Rinex, foram realizados dois levantamentos: um com o veículo trafegando em uma faixa de 10 km/h e a outra com velocidade de 50 km/h. O objetivo foi analisar como o *smartphone* se comportaria, coletando dados cinemáticos em diferentes velocidades de deslocamento. O único processamento realizado nesse levantamento foi através do IBGE-PPP, sendo que não foi possível realizar, o pós processamento no Leica Geo Office, pois este reconhece os dados como sendo estático, mesmo este estando configurado como cinemático.

Verifica-se que o com o veículo mais lento, há mais pontos coletados e em alguns locais há a presença de um “zig-zag” no caminho, enquanto que com o veículo mais rápido, há a presença de poucos pontos e o caminho apresenta várias retas. Para que seja possível avaliar os dados cinemáticos com maior detalhe seria interessante a coleta de vários pontos ao longo do caminho com receptor GNSS geodésico, a fim de comparar as coordenadas de referência com os pontos coletados pelo método cinemático.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os resultados dos processamentos realizados, verificou-se que o smartphone Xiaomi Mi 8, consegue obter coordenadas com desvios padrões menores que 5 centímetros. Entretanto, foi verificado no ponto C2, mesmo tendo um bom desvio padrão, as coordenadas finais distanciaram de mais de 2 metros das coordenadas do material de apoio. Observa-se também que apenas os pós processamentos dos dados realizados com o código CA, foi considerado nas comparações, visto que quando se adiciona a onda portadora através da opção “float” no software, os dados acabam se repetindo ou dão valores de erro muito alto ou muito baixo.

Nos processamentos realizados na poligonal com o Xiaomi, percebeu-se que os desvios padrões e erros planimétricos, estão na maioria das vezes, abaixo de 1 metro, considerando o processamento com menor desvio padrão, entretanto, quando se observa os desvios padrões e o erro planialtimétrico da altura, os valores bastante elevados. Seria necessário uma análise mais profunda no que se refere ao processamento do software para a verificação dos erros com a opção “float” ativa e em relação aos erros altimétricos estarem dando valores muito altos (superiores a 100 metros).

A versão do software Leica utilizada para realizar o processamento está desatualizada, já que este não considera nos processamentos a onda portadora L5 que é o que o smartphone suporta. Também o software não reconhece a antena do Xiaomi, o que pode gerar erros de pós-processamentos. Infelizmente as fabricantes das antenas dos smartphones não disponibilizam muitos dados como a precisão, entre outros, o que acaba dificultando na hora de preencher os dados nos processamentos.

No Cenário 01, com relação ao levantamento Estático-rápido nos pontos da poligonal topográfica, com tempo de estacionamento no ponto de 20, 10 e 5 minutos, concluiu-se que o desvio padrão reduziu com o aumento no tempo de coleta de dados. Quando as coordenadas obtidas dos pós-processamentos são comparadas com as dos pontos topográficos, percebe-se que os erros foram menores quando considerados nos processamentos a base de referência da Topcon ao invés dos dados da RBMC. Neste caso para a coordenada N obteve erros inferiores a 1 metro, apresentando erros de 12 cm e 14 cm para os pontos D2 e C2, localizados em uma área mais aberta se comparados aos pontos A2 e B2 da poligonal. Curiosamente os erros da coordenada E foram superiores a 02 metros e os altimétricos chegaram a mais de 10 metros de erro. Assim, seria interessante analisar como a orientação do smartphone em relação ao norte influenciam nas estimativas dos erros.

Verificando-se o levantamento PPP do cenário 2 (realizado em área aberta), observa-se que ele apresenta um desvio padrão inferior a 5 centímetros, o que é um valor muito bom para um levantamento realizado com um *smartphone*. Neste ponto foi instalado o receptor GNSS da Topcon que serviu de base para a realização dos processamentos dos levantamentos cinemáticos realizados no carro com velocidade de 10 km/h e 50 km/h. Infelizmente, não foi possível fazer o processamento dos dados cinemáticos no Leica, assim optou-se por realizar utilizando o pós-processamento cinemático do IBGE PPP. O pós-processamento do IBGE-PPP não gera relatório contendo as informações de coordenadas, apenas gera um arquivo no formato kml para a verificação do caminhamento realizado. Mesmo não sabendo os erros do levantamento cinemático é interessante que quando realizamos o processamento dos dados do receptor Topcon GRS-1 por 1 hora e 30 minutos utilizando o PPP (IBGE) o desvio padrão encontrado para este vértice foi de 4 mm, enquanto para este mesmo ponto utilizando o Xiaomi Mi 8 com gravação de 5 hora e 24 minutos a precisão foi de apenas 4,6 cm. Com isso, é notória a diferença de qualidade de coleta de dados de um equipamento fabricado com a única função de coletar dados dos satélites e de um smartphone que tem funções diversas.

Para futuros trabalhos, recomenda-se utilizar softwares que consigam processar os dados utilizando todas as ondas portadoras e também reconheçam à antena do Xiaomi Mi 8. Também seria interessante realizar os levantamentos considerando vários modelos de *smartphones*, que tenham receptores GNSS de dupla frequência, a fim de verificar a variação da precisão e acurácia das coordenadas conforme o modelo. Por fim, para que seja possível melhorar o posicionamento a partir de smartphones é fundamental melhorar a qualidade do hardware, no que se refere a antena e ao chipset GNSS presente nos smartphones. Para minimizar os erros é interessante utilizar uma antena externa de melhor qualidade e configurar os aplicativos para detectar os dados GNSS captados por esta antena.

REFERÊNCIAS

- ALIAGA, Walter Aliaga. **Caracterização do Canal de Propagação GPS em ambientes urbanos**. 2010. 129 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- China's BeiDou Navigation Satellite System. **The State Council Information Office of the People's Republic of China**. 1. ed. China. 2016.
- ELMEZAYEN, Abdelsatar. **Precise Point Position Using World's first dual-frequency GPS/GALILEO smartphone**. Sensors, v. 19. 2019.
- EMBRAPA. **GALILEO – Galileo Positioning System**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/galileo>>. Acessado em: 29 de agosto de 2020.
- European GNSS Agency (GSA). **Using GNSS RAW measurements on android devices**. Luxembourg. 2017.
- GOMES, Allan. **Avaliação da qualidade posicional de um sensor GNSS de dupla frequência presente de um smartphone sob diferentes cenários e métodos de posicionamento**. 2019. 117 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2019.
- GONCALVES, Andre Luiz Dias. **China lança o último satélite do sistema de navegação Beidou**. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/ciencia/154456-china-lanca-ultimosatelite-sistema-navegacao-beidou.htm>>. Acessado em: 29 de agosto de 2020.
- GORSKI, Adam. GERTEN, Greg. **GNSS Performance Possibilities**. Analytical Graphics, Inc. 220 Valley Creek Blvd.
- IBGE. **GNSS**. Disponível em: <<https://atlascolar.ibge.gov.br/conceitos-gerais/o-que-ecartografia/sistema-global-de-navegac-a-o-por-sate-litess.html>>. Acesso em: 27 de agosto de 2020.
- JEREZ, Gabriel Oliveira. ALVES, Daniele Barroca Marra. **GLONASS: Revisão teórica e estado da arte**. Revista Brasileira de Geomática. Curitiba, v. 6, n. 2, p. 155-173, 2018.
- LEICK, A, 1995. **GPS Satellite surveying** 2nd. Ed. John Wiley & Sons, Nova York
- LIMA, Erly Caldas de. **Proposta de metodologia para melhora do posicionamento obtido através de receptores gps de baixo custo**. 2018. 200 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.
- MENDES, V. B. **BEIDOU**. Faculdade de ciências, Universidade de Lisboa. 2013.
- MONICO, J.F.G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GNSS: descrição fundamentos e aplicações**. São Paulo: Ed. Unesp, 2000.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS Descrição, fundamentos e aplicações**. 2. ed. Presidente Prudente: Unesp, 2008.

MONICO, J.F.G. **GNSS: Conceitos Fundamentais**. Notas de aulas, aplicações não convencionais do GNSS. Graduação em Engenharia Cartográfica. FCT/UNESP, março 2016.

NEVES, Ledemir Martinelli. **Precisão posicional de coordenadas obtidas por GNSS pelos métodos PPP e relativo**. 2015. 47 p Monografia (Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim. 2015.

PHILIPPE, Gabriel. **Como funciona o GPS?** Disponível em: <<https://www.oficinadanet.com.br/post/12406-como-funciona-o-gps>>. Acessado em 27 de agosto de 2020.

REALINI, E.; CALDERA, S.; PERTUSINI, L.; SAMPIETRO, D. **Precise GNSS Positioning Using Smart Devices**. *Sensors*, v. 17, pp. 2434, 2017.

ROBUSTELLI, Umberto; PUGLIANO, Giovanni. **Characterization of dual frequency GNSS observations from Xiaomi Mi 8 smartphone in absence of duty cycle**. AIP Conference Proceedings, Volume 2293, Issue 1, article id. 300006. November 2020.

SEBEM, Elodio. MONGUILHOTT, Michele. **Curso de cartografia básica, GPS e ArcGIS**. Versão: outubro de 2010. Santa Maria, RS. 2010. 228 p. 28

SILVEIRA, Augusto Cesar da. **Avaliação de desempenho de aparelhos receptores GPS**. 2004. 180 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2004.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. Biblioteca Universitária. **Guia de normalização de trabalhos acadêmicos da Universidade Federal do Ceará**. Fortaleza, 2013.

US. DEPT OF DEFENSE. **History of GPS**. <<https://www.defense.gov/Explore/Spotlight/Protecting-GPS/>>. Acesso em: 27 de agosto de 2020.

Diggelen, Frank Stephen Tromp Van. 2009. **A-GPS: assisted GPS, GNSS, and SBAS**. Boston: Artech House.

ZHANG, X.; TAO, X.; ZHU, F.; SHI, X.; WANG, F. **Quality assessment of GNSS observations from an Android N smartphone and positioning performance analysis using time-differenced filtering approach**. *GPS Solutions*, v. 22, pp. 70, 2018.

ANEXO A – DADOS PÓS PROCESSAMENTO PONTO C2 MÉTODO PPP

LEVANTAMENTO PONTO C2 - XIAOMI MI 8
DATA DO LEVANTAMENTO: 11/01/2021
ÍNICIO: 08:15h
FIM: 13:17h
TOTAL HORAS: 5h 02 min
RBMC UTILIZADOS: CEFT (curta) e CESB (longa)

GPS + GLONASS	LAT	LONG	ALT (m)	S, Lat (m)	Sd Long (m)	Sd Hgt (m)	Posn (m)	N (m)	E (m)
Absoluto Instantaneo	3° 44' 39,82550" S	38° 34' 34,86420" W	15,0649						
Absoluto SPP	3° 44' 39,85221" S	38° 34' 34,55720" W	8,8707	0,1754	0,2289	0,5207	0,2883		
PPP IBGE	3° 44' 39,7953" S	38° 34' 34,8836" W	13,16	0,17	0,206	0,562	0,2671	9586115,399	547041,377
Base curta (CA)	3° 44' 39,75765" S	38° 34' 34,80600" W	16,1124	0,0741	0,0856	0,2155	0,1132	9586116,554	547043,772
Base curta (CA + L1)	3° 44' 39,75765" S	38° 34' 34,80600" W	16,1124	0,0741	0,0856	0,2155	0,1132		
Base curta (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 39,75765" S	38° 34' 34,80600" W	16,1124	0,0741	0,0856	0,2155	0,1132		
Base longa (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 39,75969" S	38° 34' 34,80705" W	16,6962	0,074	0,0849	0,2154	0,1126		
Base longa (CA + L1)	3° 44' 39,75969" S	38° 34' 34,80705" W	16,6962	0,074	0,0849	0,2154	0,1126		

ANEXO B – DADOS PÓS PROCESSAMENTO CENÁRIO 2 MÉTODO PPP

LEVANTAMENTO PONTO ÁREA ABERTA - XIAOMI MI 8
DATA DO LEVANTAMENTO: 11/02/2021
ÍNICIO: 11:08h
FIM: 16:32h
TOTAL HORAS: 5h 24 min
RBMC UTILIZADOS: CEFT (curta) e CESB (longa)

GPS + GLONASS	LAT	LONG	ALT (m)	S, Lat (m)	Sd Long (m)	Sd Hgt (m)	Posn (m)	N (m)	E (m)
Absoluto Instantaneo	3° 44' 54,56263" S	38° 34' 47,91046" W	11,5885						
Absoluto SPP	3° 44' 54,61547" S	38° 34' 47,88905" W	40,4642	0,2028	0,2495	0,6677	0,3216		
PPP IBGE	3° 44' 54,5258" S	38° 34' 47,9037" W	14,41	0,121	0,145	0,435	0,188854441	9585663,2930	546639,556
Base curta (CA)	3° 44' 54,54504" S	38° 34' 47,90259" W	15,3037	0,0326	0,0373	0,0929	0,0495	9585662,702	546639,59
Base curta (CA + L1)	3° 44' 54,52757" S	38° 34' 47,81188" W	20,0032	690804555,1	813834962,8	3903181169	1067491583		
Base curta (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 54,52757" S	38° 34' 47,81188" W	20,0032	690804555,1	813834962,8	3903181169	1067491583		
Base longa (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 54,49728" S	38° 34' 47,80237" W	19,7683	11853441,53	12937179,97	59534532,45	17546358,64		
Base longa (CA + L1)	3° 44' 54,49728" S	38° 34' 47,80237" W	19,7683	11853441,53	12937179,97	59534532,45	17546358,64		

ANEXO C – DADOS DO PÓS PROCESSAMENTO POLIGONAL 20 MINUTOS

PONTO A2							
TOPCON	LAT	LONG	ALT (m)	Sd. Lat (m)	Sd. Long (m)	Sd. Hgt (m)	Posn (m)
Absoluto Instataneo	3° 44' 37,93121" W	38° 34' 33,77930" W	16,3373				
Absoluto SPP	3° 44' 38,10133" S	38° 34' 33,99751" W	25,4182	0,1178	0,1573	0,3736	0,1965
Base curta (CA)	3° 44' 37,96405" S	38° 34' 33,99990" W	24,8261	0,1510	0,1918	0,4327	0,2441
Base curta (CA + L1)	3° 44' 37,96405" S	38° 34' 33,99990" W	24,8261	0,1510	0,1918	0,4327	0,2441
Base curta (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 37,96405" S	38° 34' 33,99990" W	24,8261	0,1510	0,1918	0,4327	0,2441
TOPCON + CEFT + CESB	LAT	LONG	ALT (m)	Sd. Lat (m)	Sd. Long (m)	Sd. Hgt (m)	Posn (m)
Absoluto Instataneo	3° 44' 37,93121" W	38° 34' 33,77930" W	16,3373				
Absoluto SPP	3° 44' 38,25774" S	38° 34' 33,85775" W	-50,099	0,7273	0,9852	2,2195	1,2245
Base curta T (CA)	3° 44' 37,95340" S	38° 34' 33,93007" W	26,5529	0,145	0,1974	0,3981	0,2449
Base curta T (CA + L1)	3° 44' 37,95340" S	38° 34' 33,93007" W	26,5529	0,145	0,1974	0,3981	0,2449
Base curta T (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 37,95340" S	38° 34' 33,93007" W	26,5529	0,145	0,1974	0,3981	0,2449
Base curta CEFT (CA)	3° 44' 37,85057" S	38° 34' 33,91016" W	29,0163	0,3798	0,4016	0,9589	0,5527
Base curta CEFT (CA + L1)	3° 44' 37,85057" S	38° 34' 33,91016" W	29,0163	0,3798	0,4016	0,9589	0,5527
Base curta CEFT (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 37,85057" S	38° 34' 33,91016" W	29,0163	0,3798	0,4016	0,9589	0,5527
Base longa CESB (CA + L1)	3° 44' 37,91849" S	38° 34' 33,75024" W	16,5312	0,3288	0,4191	0,8435	0,5327
Base longa CESB (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 37,91849" S	38° 34' 33,75024" W	16,5312	0,3288	0,4191	0,8435	0,5327

PONTO B2							
TOPCON	LAT	LONG	ALT (m)	Sd. Lat (m)	Sd. Long (m)	Sd. Hgt (m)	Posn (m)
Absoluto Instataneo	3° 44' 39,29592" S	38° 34' 33,18878" W	16,3608				
Absoluto SPP	3° 44' 39,21518" S	38° 34' 32,99550" W	30,7538	0,0902	0,1432	0,3704	0,1692
Base curta (CA)	3° 44' 39,22951" S	38° 34' 33,37305" W	11,1842	0,1417	0,208	0,6097	0,2517
Base curta (CA + L1)	3° 44' 39,16610" S	38° 34' 33,15047" W	29,4706	0,4413	0,5129	2,559	0,6766
Base curta (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 39,16610" S	38° 34' 33,15047" W	29,4706	0,4413	0,5129	2,559	0,6766
TOPCON + CEFT + CESB	LAT	LONG	ALT (m)	Sd. Lat (m)	Sd. Long (m)	Sd. Hgt (m)	Posn (m)
Absoluto Instataneo	3° 44' 39,29592" S	38° 34' 33,18878" W	16,3608				
Absoluto SPP	3° 44' 39,26244" S	38° 34' 32,23173" W	97,7301	0,8342	1,2671	3,1877	1,517
Base curta T (CA)	3° 44' 39,21811" S	38° 34' 33,25966" W	20,8621	0,122	0,1639	0,4134	0,2044
Base curta T (CA + L1)	3° 44' 39,22461" S	38° 34' 33,24110" W	23,6264	0,0023	0,0034	0,0122	0,0041
Base curta T (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 39,22461" S	38° 34' 33,24110" W	23,6264	0,0023	0,0034	0,0122	0,0041
Base curta CEFT (CA)	3° 44' 39,24584" S	38° 34' 33,06889" W	23,9258	0,3054	0,3586	0,8904	0,4710
Base curta CEFT (CA + L1)	3° 44' 39,14176" S	38° 34' 33,07811" W	20,8146	0,0778	0,0247	0,4585	0,0816
Base curta CEFT (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 39,14176" S	38° 34' 33,07811" W	20,8146	0,0778	0,0247	0,4585	0,0816
Base longa CESB (CA + L1)	3° 44' 39,17860" S	38° 34' 33,07931" W	20,1789	0,0778	0,0247	0,4587	0,0817
Base longa CESB (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 39,17860" S	38° 34' 33,07931" W	20,1789	0,0778	0,0247	0,4587	0,0817

PONTO C2							
TOPCON	LAT	LONG	ALT (m)	Sd. Lat (m)	Sd. Long (m)	Sd. Hgt (m)	Posn (m)
Absoluto Instataneo	3° 44' 39,75769" S	38° 34' 34,8642" W	16,7119				
Absoluto SPP	3° 44' 39,83931" S	38° 34' 34,88252" W	35,9541	0,1039	0,1362	0,3804	0,1713
Base curta (CA)	3° 44' 39,72110" S	38° 34' 35,00184" W	36,401	0,1067	0,1388	0,5683	0,175
Base curta (CA + L1)	3° 44' 39,83233" S	38° 34' 34,92750" W	22,7396	0,0048	0,0068	0,0295	0,0083
Base curta (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 39,83233" S	38° 34' 34,92750" W	22,7396	0,0048	0,0068	0,0295	0,0083
TOPCON + CEFT + CESB	LAT	LONG	ALT (m)	Sd. Lat (m)	Sd. Long (m)	Sd. Hgt (m)	Posn (m)
Absoluto Instataneo	3° 44' 39,75769" S	38° 34' 34,8642" W	16,7119				
Absoluto SPP	3° 44' 40,08451" S	38° 34' 34,92271" W	80,0083	0,4969	0,6339	1,7173	0,8054
Base curta T (CA)	3° 44' 39,67428" S	38° 34' 34,87179" W	21,3943	0,1206	0,1548	0,4513	0,1963
Base curta T (CA + L1)	3° 44' 39,56409" S	38° 34' 34,85195" W	48,7902	0,3215	0,4382	1,6728	0,5435
Base curta T (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 39,56409" S	38° 34' 34,85195" W	48,7902	0,3215	0,4382	1,6728	0,5435
Base curta CEFT (CA)	3° 44' 39,71581" S	38° 34' 34,90253" W	19,9042	0,2369	0,2987	0,8223	0,3812
Base curta CEFT (CA + L1)	3° 44' 39,77525" S	38° 34' 34,82414" W	19,3069	0,0877	0,0556	0,4389	0,1039
Base curta CEFT (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 39,77525" S	38° 34' 34,82414" W	19,3069	0,0877	0,0556	0,4389	0,1039
Base longa CESB (CA + L1)	3° 44' 39,78274" S	38° 34' 34,82805" W	19,305	0,2567	0,1625	1,2816	0,3038
Base longa CESB (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 39,78274" S	38° 34' 34,82805" W	19,305	0,2567	0,1625	1,2816	0,3038

PONTO D2							
TOPCON	LAT	LONG	ALT (m)	Sd. Lat (m)	Sd. Long (m)	Sd. Hgt (m)	Posn (m)
Absoluto Instataneo	3° 44' 38,83975" S	38° 34' 35,28992" W	12,7266				
Absoluto SPP	3° 44' 38,59585" S	38° 34' 35,21900" W	29,0371	0,0916	0,0842	0,3493	0,1244
Base curta (CA)	3° 44' 38,62798" S	38° 34' 35,27624" W	26,9711	0,1401	0,1416	0,6347	0,1992
Base curta (CA + L1)	3° 44' 38,57799" S	38° 34' 35,32936" W	15,7963	0,0027	0,0028	0,0157	0,0038
Base curta (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 38,57799" S	38° 34' 35,32936" W	15,7963	0,0027	0,0028	0,0157	0,0038
TOPCON + CEFT + CESB	LAT	LONG	ALT (m)	Sd. Lat (m)	Sd. Long (m)	Sd. Hgt (m)	Posn (m)
Absoluto Instataneo	3° 44' 38,83975" S	38° 34' 35,28992" W	12,7266				
Absoluto SPP	3° 44' 39,80552" S	38° 34' 35,60673" W	17,6121	0,896	0,8217	3,1982	1,2158
Base curta T (CA)	3° 44' 38,59488" S	38° 34' 35,30222" W	23,6826	0,1222	0,1333	0,5566	0,1808
Base curta T (CA + L1)	3° 44' 38,58578" S	38° 34' 35,31794" W	15,3155	0,0023	0,0041	0,0138	0,0047
Base curta T (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 38,58578" S	38° 34' 35,31794" W	15,3155	0,0023	0,0041	0,0138	0,0047
Base curta CEFT (CA)	3° 44' 38,55972" S	38° 34' 35,29874" W	13,2867	0,2253	0,2488	0,8027	0,3357
Base curta CEFT (CA + L1)	3° 44' 38,57596" S	38° 34' 35,28202" W	14,7112	0,1415	0,1689	0,6278	0,2204
Base curta CEFT (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 38,57596" S	38° 34' 35,28202" W	14,7112	0,1415	0,1689	0,6278	0,2204
Base longa CESB (CA + L1)	3° 44' 38,57358" S	38° 34' 35,28301" W	15,5282	0,1444	0,1697	0,6282	0,2228
Base longa CESB (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 38,57358" S	38° 34' 35,28301" W	15,5282	0,1444	0,1697	0,6282	0,2228

ANEXO D – DADOS DO PÓS PROCESSAMENTO POLIGONAL 10 MINUTOS

PONTO A2							
TOPCON	LAT	LONG	ALT (m)	Sd Lat (m)	Sd Long (m)	Sd Hgt (m)	Posn (m)
Absoluto Instataneo	3° 44' 38,09515" S	38° 34' 33,80676" W	19,2274				
Absoluto SPP	3° 44' 38,02873" S	38° 34' 34,01819" W	36,2004	0,3161	0,3643	0,9425	0,4823
Base curta (CA)	3° 44' 38,55696" S	38° 34' 35,57717" W	-124,1411	0,2791	0,7722	2,4167	0,8211
Base curta (CA + L1)	3° 44' 38,55696" S	38° 34' 35,57717" W	-124,1411	0,2791	0,7722	2,4167	0,8211
Base curta (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 38,55696" S	38° 34' 35,57717" W	-124,1411	0,2791	0,7722	2,4167	0,8211
TOPCON + CEFT + CESB	LAT	LONG	ALT (m)	Sd Lat (m)	Sd Long (m)	Sd Hgt (m)	Posn (m)
Absoluto Instataneo	3° 44' 38,09515" S	38° 34' 33,80676" W	19,2274				
Absoluto SPP	3° 44' 38,15951" S	38° 34' 34,56685" W	-15,3879	0,7474	0,8085	2,0272	1,1010
Base curta T (CA)	3° 44' 38,56051" S	38° 34' 35,52335" W	-139,6805	0,6467	1,2932	4,5327	1,4459
Base curta T (CA + L1)	3° 44' 38,56051" S	38° 34' 35,52335" W	-139,6805	0,6467	1,2932	4,5327	1,4459
Base curta T (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 38,56051" S	38° 34' 35,52335" W	-139,6805	0,6467	1,2932	4,5327	1,4459
Base curta CEFT (CA)	3° 44' 38,95814" S	38° 34' 34,25309" W	73,2845	0,9027	0,7069	2,1164	1,1465
Base curta CEFT (CA + L1)	3° 44' 38,95814" S	38° 34' 34,25309" W	73,2845	0,9027	0,7069	2,1164	1,1465
Base curta CEFT (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 38,95814" S	38° 34' 34,25309" W	73,2845	0,9027	0,7069	2,1164	1,1465
Base longa CESB (CA + L1)	3° 44' 38,94358" S	38° 34' 34,25228" W	71,2928	0,8904	0,6972	2,0875	1,1309
Base longa CESB (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 38,94358" S	38° 34' 34,25228" W	71,2928	0,8904	0,6972	2,0875	1,1309

PONTO B2							
TOPCON	LAT	LONG	ALT (m)	Sd Lat (m)	Sd Long (m)	Sd Hgt (m)	Posn (m)
Absoluto Instataneo	3° 44' 39,0616" S	38° 34' 33,18878" W	11,637				
Absoluto SPP	3° 44' 39,07475" S	38° 34' 33,23516" W	19,7646	0,1321	0,1729	0,4331	0,2176
Base curta (CA)	3° 44' 39,08854" S	38° 34' 33,34959" W	18,2673	0,2193	0,2238	0,5187	0,3134
Base curta (CA + L1)	3° 44' 39,08854" S	38° 34' 33,34959" W	18,2673	0,2193	0,2238	0,5187	0,3134
Base curta (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 39,08854" S	38° 34' 33,34959" W	18,2673	0,2193	0,2238	0,5187	0,3134
TOPCON + CEFT + CESB	LAT	LONG	ALT (m)	Sd Lat (m)	Sd Long (m)	Sd Hgt (m)	Posn (m)
Absoluto Instataneo	3° 44' 39,0616" S	38° 34' 33,18878" W	11,637				
Absoluto SPP	3° 44' 39,05197" S	38° 34' 33,27251" W	5,0619	0,5423	0,6862	1,6811	0,8746
Base curta T (CA)	3° 44' 39,07304" S	38° 34' 33,34174" W	20,1738	0,2142	0,2279	0,4972	0,3127
Base curta T (CA + L1)	3° 44' 39,07304" S	38° 34' 33,34174" W	20,1738	0,2142	0,2279	0,4972	0,3127
Base curta T (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 39,07304" S	38° 34' 33,34174" W	20,1738	0,2142	0,2279	0,4972	0,3127
Base curta CEFT (CA)	3° 44' 39,25802" S	38° 34' 33,29524" W	2,7175	0,4356	0,4295	0,9553	0,6117
Base curta CEFT (CA + L1)	3° 44' 39,25802" S	38° 34' 33,29524" W	2,7175	0,4356	0,4295	0,9553	0,6117
Base curta CEFT (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 39,25802" S	38° 34' 33,29524" W	2,7175	0,4356	0,4295	0,9553	0,6117
Base longa CESB (CA + L1)	3° 44' 39,27895" S	38° 34' 33,29588" W	1,188	0,4419	0,4301	0,9615	0,6167
Base longa CESB (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 39,27895" S	38° 34' 33,29588" W	1,188	0,4419	0,4301	0,9615	0,6167

PONTO C2							
TOPCON	LAT	LONG	ALT (m)	Sd Lat (m)	Sd Long (m)	Sd Hgt (m)	Posn (m)
Absoluto Instataneo	3° 44' 39,74653" S	38° 34' 34,90540" W	14,7097				
Absoluto SPP	3° 44' 39,78121" S	38° 34' 34,94852" W	33,7087	0,1573	0,2032	0,4762	0,257
Base curta (CA)	3° 44' 39,76644" S	38° 34' 35,06615" W	23,4648	0,24	0,2122	0,6417	0,3204
Base curta (CA + L1)	3° 44' 39,76644" S	38° 34' 35,06615" W	23,4648	0,24	0,2122	0,6417	0,3204
Base curta (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 39,76644" S	38° 34' 35,06615" W	23,4648	0,24	0,2122	0,6417	0,3204
TOPCON + CEFT + CESB	LAT	LONG	ALT (m)	Sd,Lat (m)	Sd Long (m)	Sd Hgt (m)	Posn (m)
Absoluto Instataneo	3° 44' 39,74653" S	38° 34' 34,90540" W	14,7097				
Absoluto SPP	3° 44' 39,41380" S	38° 34' 34,49200" W	37,9852	0,5983	0,7717	1,7806	0,9765
Base curta T (CA)	3° 44' 39,76400" S	38° 34' 35,06340" W	23,7003	0,2396	0,2115	0,6371	0,3196
Base curta T (CA + L1)	3° 44' 39,76400" S	38° 34' 35,06340" W	23,7003	0,2396	0,2115	0,6371	0,3196
Base curta T (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 39,76400" S	38° 34' 35,06340" W	23,7003	0,2396	0,2115	0,6371	0,3196
Base curta CEFT (CA)	3° 44' 39,71632" S	38° 34' 34,92634" W	12,7325	0,5285	0,4896	1,4852	0,7205
Base curta CEFT (CA + L1)	3° 44' 39,71632" S	38° 34' 34,92634" W	12,7325	0,5285	0,4896	1,4852	0,7205
Base curta CEFT (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 39,71632" S	38° 34' 34,92634" W	12,7325	0,5285	0,4896	1,4852	0,7205
Base longa CESB (CA + L1)	3° 44' 39,75428" S	38° 34' 34,92295" W	16,9284	0,5173	0,4895	1,4149	0,7121
Base longa CESB (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 39,75428" S	38° 34' 34,92295" W	16,9284	0,5173	0,4895	1,4149	0,7121

PONTO D2							
TOPCON	LAT	LONG	ALT (m)	Sd Lat (m)	Sd Long (m)	Sd Hgt (m)	Posn (m)
Absoluto Instataneo	3° 44' 38,42388" S	38° 34' 35,27619" W	23,1499				
Absoluto SPP	3° 44' 38,42180" S	38° 34' 35,20367" W	39,6826	0,1458	0,1681	0,4364	0,2225
Base curta (CA)	3° 44' 38,52997" S	38° 34' 35,31552" W	39,8256	0,2058	0,2862	0,7761	0,3525
Base curta (CA + L1)	3° 44' 38,52997" S	38° 34' 35,31552" W	39,8256	0,2058	0,2862	0,7761	0,3525
Base curta (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 38,52997" S	38° 34' 35,31552" W	39,8256	0,2058	0,2862	0,7761	0,3525
TOPCON + CEFT + CESB	LAT	LONG	ALT (m)	Sd Lat (m)	Sd Long (m)	Sd Hgt (m)	Posn (m)
Absoluto Instataneo	3° 44' 38,42388" S	38° 34' 35,27619" W	23,1499				
Absoluto SPP	3° 44' 38,17639" S	38° 34' 35,49504" W	1,2826	0,8442	0,9521	2,4675	1,2724
Base curta T (CA)	3° 44' 38,53133" S	38° 34' 35,31841" W	39,1974	0,2002	0,2766	0,6989	0,3414
Base curta T (CA + L1)	3° 44' 38,53133" S	38° 34' 35,31841" W	39,1974	0,2002	0,2766	0,6989	0,3414
Base curta T (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 38,53133" S	38° 34' 35,31841" W	39,1974	0,2002	0,2766	0,6989	0,3414
Base curta CEFT (CA)	3° 44' 38,08461" S	38° 34' 35,77771" W	12,6219	0,8695	1,0359	1,8764	1,3524
Base curta CEFT (CA + L1)	3° 44' 38,08461" S	38° 34' 35,77771" W	12,6219	0,8695	1,0359	1,8764	1,3524
Base curta CEFT (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 38,08461" S	38° 34' 35,77771" W	12,6219	0,8695	1,0359	1,8764	1,3524
Base longa CESB (CA + L1)	3° 44' 38,11528" S	38° 34' 35,84742" W	16,8547	0,8164	1,0948	1,834	1,3657
Base longa CESB (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 38,11528" S	38° 34' 35,84742" W	16,8547	0,8164	1,0948	1,834	1,3657

ANEXO E – DADOS DO PÓS PROCESSAMENTO POLIGONAL 5 MIN

PONTO A2							
TOPCON	LAT	LONG	ALT (m)	Sd Lat (m)	Sd Long (m)	Sd Hgt (m)	Posn (m)
Absoluto Instataneo	3° 44' 37,87886" S	38° 34' 33,79303" W	13,0436				
Absoluto SPP	3° 44' 38,19410" S	38° 34' 34,08351" W	29,0001	0,3248	0,4493	1,1667	0,5544
Base curta (CA)	3° 44' 38,10388" S	38° 34' 33,55814" W	63,3039	0,3715	0,5658	1,6194	0,6769
Base curta (CA + L1)	3° 44' 38,10388" S	38° 34' 33,55814" W	63,3039	0,3715	0,5658	1,6194	0,6769
Base curta (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 38,10388" S	38° 34' 33,55814" W	63,3039	0,3715	0,5658	1,6194	0,6769
TOPCON + CEFT + CESB	LAT	LONG	ALT (m)	Sd Lat (m)	Sd Long (m)	Sd Hgt (m)	Posn (m)
Absoluto Instataneo	3° 44' 37,87886" S	38° 34' 33,79303" W	13,0436				
Absoluto SPP	3° 44' 37,26975" S	38° 34' 32,44572" W	122,3034	3,8049	5,0674	12,1329	6,3369
Base curta T (CA)	3° 44' 38,10258" S	38° 34' 33,56793" W	62,5337	0,3691	0,541	1,5614	0,6549
Base curta T (CA + L1)	3° 44' 38,10258" S	38° 34' 33,56793" W	62,5337	0,3691	0,541	1,5614	0,6549
Base curta T (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 38,10258" S	38° 34' 33,56793" W	62,5337	0,3691	0,541	1,5614	0,6549
Base curta CEFT (CA)	3° 44' 36,25472" S	38° 34' 32,97492" W	-171,6365	3,7587	1,9583	11,4709	4,2383
Base curta CEFT (CA + L1)	3° 44' 36,25472" S	38° 34' 32,97492" W	-171,6365	3,7587	1,9583	11,4709	4,2383
Base curta CEFT (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 36,25472" S	38° 34' 32,97492" W	-171,6365	3,7587	1,9583	11,4709	4,2383
Base longa CESB (CA + L1)	3° 44' 36,28406" S	38° 34' 32,94707" W	-173,2584	3,5492	1,9069	11,0423	4,029
Base longa CESB (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 36,28406" S	38° 34' 32,94707" W	-173,2584	3,5492	1,9069	11,0423	4,029

PONTO B2							
TOPCON	LAT	LONG	ALT (m)	Sd Lat (m)	Sd Long (m)	Sd Hgt (m)	Posn (m)
Absoluto Instataneo	3° 44' 39,10023" S	38° 34' 33,16132" W	13,9196				
Absoluto SPP	3° 44' 39,03388" S	38° 34' 33,03914" W	32,1379	0,2483	0,3309	0,9532	0,4137
Base curta (CA)	3° 44' 39,08928" S	38° 34' 32,96431" W	18,584	0,3229	0,3689	1,0172	0,4903
Base curta (CA + L1)	3° 44' 39,14923" S	38° 34' 33,02548" W	25,4107	0,0841	0,0761	0,3788	0,1135
Base curta (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 39,14923" S	38° 34' 33,02548" W	25,4107	0,0841	0,0761	0,3788	0,1135
TOPCON + CEFT + CESB	LAT	LONG	ALT (m)	Sd Lat (m)	Sd Long (m)	Sd Hgt (m)	Posn (m)
Absoluto Instataneo	3° 44' 39,10023" S	38° 34' 33,16132" W	13,9196				
Absoluto SPP	3° 44' 38,25012" S	38° 34' 31,94254" W	163,2483	2,0282	2,7104	7,0781	3,3853
Base curta T (CA)	3° 44' 39,08591" S	38° 34' 32,96298" W	18,7861	0,3098	0,3621	0,9834	0,4765
Base curta T (CA + L1)	3° 44' 39,20976" S	38° 34' 32,99697" W	30,0597	0,0023	0,0029	0,0113	0,0037
Base curta T (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 39,20976" S	38° 34' 32,99697" W	30,0597	0,0023	0,0029	0,0113	0,0037
Base curta CEFT (CA)	3° 44' 39,31854" S	38° 34' 32,97806" W	17,6581	0,808	0,8327	2,3704	1,1602
Base curta CEFT (CA + L1)	3° 44' 39,15812" S	38° 34' 33,06092" W	18,1159	0,5677	0,6302	1,7346	0,8482
Base curta CEFT (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 39,15812" S	38° 34' 33,06092" W	18,1159	0,5677	0,6302	1,7346	0,8482
Base longa CESB (CA + L1)	3° 44' 39,15352" S	38° 34' 33,06645" W	18,0223	0,5677	0,6302	1,7346	0,8482
Base longa CESB (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 39,15352" S	38° 34' 33,06645" W	18,0223	0,5677	0,6302	1,7346	0,8482

PONTO C2							
TOPCON	LAT	LONG	ALT (m)	Sd Lat (m)	Sd Long (m)	Sd Hgt (m)	Posn (m)
Absoluto Instataneo	3° 44' 39,71306" S	38° 34' 34,8546" W	16,7491				
Absoluto SPP	3° 44' 39,59833" S	38° 34' 35,00779" W	40,678	0,3394	0,363	1,0472	0,4970
Base curta (CA)	3° 44' 39,42958" S	38° 34' 35,14725" W	53,1901	0,4101	0,3795	1,2474	0,5587
Base curta (CA + L1)	3° 44' 39,71430" S	38° 34' 35,04822" W	40,3544	6,9703	10,7237	47,6731	12,7899
Base curta (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 39,71430" S	38° 34' 35,04822" W	40,3544	6,9703	10,7237	47,6731	12,7899
TOPCON + CEFT + CESB	LAT	LONG	ALT (m)	Sd,Lat (m)	Sd Long (m)	Sd Hgt (m)	Posn (m)
Absoluto Instataneo	3° 44' 39,71306" S	38° 34' 34,8546" W	16,7491				
Absoluto SPP	3° 44' 39,85392" S	38° 34' 35,77381" W	114,9988	2,4544	2,4146	6,8409	3,443
Base curta T (CA)	3° 44' 39,42958" S	38° 34' 35,14725" W	53,1901	0,4101	0,3795	1,2474	0,5587
Base curta T (CA + L1)	3° 44' 39,63062" S	38° 34' 35,01871" W	44,9519	0,0057	0,0063	0,0239	0,0084
Base curta T (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 39,63062" S	38° 34' 35,01871" W	44,9519	0,0057	0,0063	0,0239	0,0084
Base curta CEFT (CA)	3° 44' 39,55725" S	38° 34' 35,40655" W	6,6073	0,7483	0,9869	2,6257	1,2385
Base curta CEFT (CA + L1)	3° 44' 39,61932" S	38° 34' 34,95607" W	31,9469	0,0001	0,0001	0,0003	0,0001
Base curta CEFT (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 39,61932" S	38° 34' 34,95607" W	31,9469	0,0001	0,0001	0,0003	0,0001
Base longa CESB (CA + L1)	3° 44' 39,62362" S	38° 34' 34,94276" W	32,6154	0,0004	0,0004	0,0013	0,0005
Base longa CESB (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 39,62362" S	38° 34' 34,94276" W	32,6154	0,0004	0,0004	0,0013	0,0005

PONTO D2							
TOPCON	LAT	LONG	ALT (m)	Sd Lat (m)	Sd Long (m)	Sd Hgt (m)	Posn (m)
Absoluto Instataneo	3° 44' 38,39298" S	38° 34' 35,23499" W	12,8693				
Absoluto SPP	3° 44' 38,35696" S	38° 34' 35,18598" W	22,6979	0,191	0,2676	0,6773	0,3288
Base curta (CA)	3° 44' 38,39659" S	38° 34' 35,23849" W	14,4498	0,2772	0,3041	0,7834	0,4115
Base curta (CA + L1)	3° 44' 38,30561" S	38° 34' 35,27218" W	16,106	0,0161	0,0109	0,0592	0,0194
Base curta (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 38,30561" S	38° 34' 35,27218" W	16,106	0,0161	0,0109	0,0592	0,0194
TOPCON + CEFT + CESB	LAT	LONG	ALT (m)	Sd Lat (m)	Sd Long (m)	Sd Hgt (m)	Posn (m)
Absoluto Instataneo	3° 44' 38,39298" S	38° 34' 35,23499" W	12,8693				
Absoluto SPP	3° 44' 38,26843" S	38° 34' 34,65162" W	42,5238	1,1654	1,6075	3,8187	1,9855
Base curta T (CA)	3° 44' 38,39659" S	38° 34' 35,23849" W	14,4498	0,2772	0,3041	0,7834	0,4115
Base curta T (CA + L1)	3° 44' 38,30561" S	38° 34' 35,27216" W	16,1025	0,0097	0,0066	0,0356	0,0117
Base curta T (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 38,30561" S	38° 34' 35,27216" W	16,1025	0,0097	0,0066	0,0356	0,0117
Base curta CEFT (CA)	3° 44' 38,38424" S	38° 34' 35,09498" W	0,8581	0,6508	0,7194	1,7977	0,9701
Base curta CEFT (CA + L1)	3° 44' 38,35571" S	38° 34' 35,07920" W	8,3448	0,1911	0,0825	0,5529	0,2082
Base curta CEFT (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 38,35571" S	38° 34' 35,07920" W	8,3448	0,1911	0,0825	0,5529	0,2082
Base longa CESB (CA + L1)	3° 44' 38,36693" S	38° 34' 35,08836" W	9,7025	0,1911	0,0825	0,5529	0,2082
Base longa CESB (CA + L1 + P1 + L2 + P2)	3° 44' 38,36693" S	38° 34' 35,08836" W	9,7025	0,1911	0,0825	0,5529	0,2082