

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CAMPUS GOIÂNIA
DEPARTAMENTO DE ÁREAS ACADÊMICAS III
COORDENAÇÃO DE GEOMÁTICA
CURSO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E DE AGRIMENSURA

ALEX HONÓRIO TAVARES DO CANTO
ALLINE MARQUES MOREIRA

**O USO DO GNSS NA DETERMINAÇÃO DE PEQUENOS
DESLOCAMENTOS ESTRUTURAIS**

GOIÂNIA, GO

2019

ALEX HONÓRIO TAVARES DO CANTO
ALLINE MARQUES MOREIRA

O USO DO GNSS NA DETERMINAÇÃO DE PEQUENOS DESLOCAMENTOS ESTRUTURAIS

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à
Coordenação de Geomática, do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus
Goiânia, como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do título de Bacharel em Engenharia Cartográfica
e de Agrimensura.

Orientador: Prof. Dr. Valdeir Francisco de Paula

GOIÂNIA, GO
2019

C232u Canto, Alex Honório Tavares do.
O uso do GNSS na determinação de pequenos deslocamentos estruturais / Alex Honório Tavares do Canto; Alline Marques Moreira. – Goiânia: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia, 2019.
83 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Valdeir Francisco de Paula.

TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso de Bacharelado em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Coordenação de Geomática, Departamento de Áreas Acadêmicas III, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia. Incluem apêndices.

1. Sistema de Posicionamento Global. 2. Sistema Global de Navegação por Satélite. I. Moreira, Alline Marques. II. Paula, Valdeir Francisco de (orientador). III. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia. IV. Título.

CDD 623.893

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Karol Almeida da Silva Abreu CRB1/ 2.740
Biblioteca Professor Jorge Félix de Souza,
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.

TERMO DE APROVAÇÃO

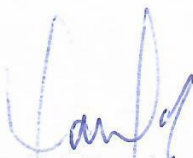
ALEX HONÓRIO TAVARES DO CANTO

ALLINE MARQUES MOREIRA

O USO DO GNSS NA DETERMINAÇÃO DE PEQUENOS DESLOCAMENTOS ESTRUTURAIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação de Geomática, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Bacharelado em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Aprovado em, 12 de dezembro de 2019.



Prof. Dr. Valdeir Francisco de Paula (IFG)
(Orientador)



Prof. Dr. João Batista Ramos Côrtes (IFG)
(Membro da Banca Examinadora)



Prof. Me. Leonardo Sebastião de Souza (IFG)
(Membro da Banca Examinadora)

GOIÂNIA, GO

2019



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Alex Honório Tavares do Canto

Matrícula: 20151011190019

Título do Trabalho: O Uso do GNSS na Determinação de Pequenos Deslocamentos Estruturais

Autorização - Marque uma das opções

1. ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG;
2. ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____;
3. ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG.

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. O documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. Obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. Cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Goiânia, GO
Local

, 20 / 12 / 2019 .
Data

Alex Honório Tavares do Canto

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Alline Marques Moreira

Matrícula: 20151011190043

Título do Trabalho: O Uso do GNSS na Determinação de Pequenos Deslocamentos Estruturais

Autorização - Marque uma das opções

1. (X) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG;
2. () Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____;
3. () Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG.

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- () O documento está sujeito a registro de patente.
() O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
() Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. O documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. Obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. Cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Goiânia, GO., de 20 / 12 / 2019.
Local Data

Alline Marques Moreira

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

DEDICATÓRIA

Eu, Alex, dedico o presente trabalho à toda minha família e amigos. Em especial à minha mãe e ao meu pai, por sempre me apoiarem e por serem a minha base, empenhando-se sempre para que eu chegasse à essa conquista. Ao meu irmão, por já ter conquistado esse objetivo e ser um exemplo para mim. E à minha noiva, por me apoiar, tendo compreensão e paciência sempre.

Eu, Alline, dedico este trabalho à minha família. Ao meu esposo pela compreensão, paciência e apoio. Ao meu pai, que, infelizmente, não conseguiu presenciar o final dessa jornada, mas sonhou essa realização. À minha avó por todo suporte. E, em especial, à minha mãe, a maior responsável por essa conquista.

AGRADECIMENTOS

A concretização deste trabalho ocorreu, principalmente, pelo auxílio, compreensão e dedicação de várias pessoas. Agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão deste estudo e, de uma maneira especial, agradeço:

- A Deus, pelo sustento e provisão nos momentos difíceis;
 - À nossa família por todo amor a nós dedicado, por todo apoio ao longo de nossas vidas e por acreditarem na nossa capacidade, responsáveis por todas as nossas conquistas;
 - Ao nosso orientador Valdeir Francisco de Paula pela confiança em nós depositada e todo auxílio oferecido;
 - Ao Leomar Rufino Alves Júnior por todo o suporte e prontidão oferecidos a nós durante o estudo prático;
 - À Torneadora Guimarães pela prontidão e doação do dispositivo proposto para execução do trabalho;
 - Aos nossos colegas de curso que, por mútuo incentivo, nos ajudaram a finalizar o curso, e também pela força em momentos de desânimo;
 - A todos os professores do curso pela dedicação e preocupação em ensinar da melhor forma; e,
 - Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG), seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram um ambiente propício a nossa evolução e crescimento pessoal e profissional, eivado pela afinada confiança no mérito e ética presentes.
- Enfim, a todos que fazem parte da nossa vida e que foram e são essenciais em nossa formação como seres humanos melhores.

RESUMO

Dentre os diversos métodos utilizados no monitoramento geodésico de estruturas, encontra-se a tecnologia GNSS, ainda pouco explorada e atuante neste mercado. A tecnologia em questão disponibiliza diversos modelos de equipamentos que, por sua vez, podem ser utilizados de formas diferentes. Com a intenção de avaliar a precisão e acurácia de dois receptores GNSS distintos que utilizam as constelações de satélites GPS e GLONASS, sendo eles o GR-3 (Topcon) e o R4 (Trimble), foram realizados posicionamentos para possibilitar essa avaliação visando utilizá-los na determinação de pequenos deslocamentos estruturais. Para isso, foi confeccionado um dispositivo para simular um deslocamento estrutural, estando este graduado em posições pré-estabelecidas e fixado na base de centragem forçada localizada no IFG, Campus Goiânia. Os posicionamentos foram feitos, para cada receptor, em dois dias diferentes, nos turnos matutino e vespertino, objetivando a avaliação nos diferentes períodos propostos. Os dados oriundos destes levantamentos foram processados e avaliados de acordo com as coordenadas e desvios padrão resultantes, bem como suas precisões planimétricas e altimétricas. A partir destes valores, constatou-se uma maior eficácia do R4. Os equipamentos podem ser utilizados em monitoramentos que utilizam da mesma ou menor precisão alcançada pelos receptores. Sugere-se a continuidade do estudo em questão.

Palavras-chave: GNSS. Monitoramento. GPS. GLONASS. Deslocamentos. Acurácia. Precisão. Topcon. Trimble.

ABSTRACT

Among the various methods used in geodetic monitoring of structures, there is GNSS technology, still little explored and active in this market. The technology in question offers several models of equipment that, in turn, can be used in different ways. With the intention of evaluating the precision and accuracy of two distinct GNSS receptors that use the satellite constellations of GPS and GLONASS, which were GR-3 (Topcon) and R4 (Trimble), positioning were performed to enable this evaluation to use them in determining small structural displacements. For this, a device was made to simulate a structural displacement, and it was graduated in pre-established positions and fixed on the forced centering base located in IFG, Campus Goiânia. The positioning were made, for each receiver, on two different days, in the morning and evening shifts, aiming at the evaluation in the different periods proposed. The data from these surveys were processed and evaluated according to the resulting coordinates and standard deviations, as well as their planimetric and altimetric precisions. From these values, a higher effectiveness of R4 was noticed. The equipments can be used in monitoring that uses the same or lower accuracy achieved by the receivers. It is suggested the continuity of the study in question.

Keywords: GNSS. Monitoring. GPS. GLONASS. Displacements. Accuracy. Precision. Topcon. Trimble.

LISTA DE EQUAÇÕES

$PP = \sigma E^2 + \sigma N^2$ (1)	48
--	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação da Pseudodistância.....	25
Figura 2 - Representação da Fase da Onda Portadora.	25
Figura 3 - Representação da Dupla Diferença.	26
Figura 4 - Regiões Geográficas da Ionosfera.	29
Figura 5 - Representação dos Sinais Refletidos ou Multicaminhamento.	29
Figura 6 - Erro do Centro de Fase da Antena do Receptor.....	31
Figura 7 - Posicionamento Absoluto.	33
Figura 8 - Posicionamento Relativo.	35
Figura 9 - Precisão e Acurácia – Tiro ao alvo.	37
Figura 10 - Localização da Área de Estudo – IFG – Campus Goiânia.....	42
Figura 11 - Dispositivo de Simulação de Deslocamento Horizontal e Vertical.	43
Figura 12 - Dispositivo de Simulação de Deslocamento Fixado na Base de Centragem Forçada.	44
Figura 13 - Receptor GNSS – Trimble R4.	44
Figura 14 - Receptor GNSS – Topcon GR-3.....	45
Figura 15 - Origem nas direções 1 e 2 do Dispositivo, Respectivamente.	47

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Gráfico resultante do dia 1 do receptor GR-3 no turno da manhã.	50
Gráfico 2 - Gráfico resultante do dia 1 do receptor GR-3 no turno vespertino.	52
Gráfico 3 - Gráfico resultante do dia 2 do receptor GR-3 no turno da manhã.	53
Gráfico 4 - Gráfico resultante do dia 2 do receptor GR-3 no turno vespertino.	55
Gráfico 5 - Gráfico resultante do dia 1 do receptor R4 no turno da manhã.....	56
Gráfico 6 - Gráfico resultante do dia 1 do receptor R4 no turno vespertino.	58
Gráfico 7 - Gráfico resultante do dia 2 do receptor R4 no turno da manhã.....	59
Gráfico 8- Gráfico resultante do dia 2 do receptor R4 no turno vespertino.	61
Gráfico 9 - Gráfico geral – Topcon GR-3 – Direção 1.....	63
Gráfico 10 - Gráfico geral – Topcon GR-3 – Direção 2.....	64
Gráfico 11 - Gráfico geral – Trimble R4 – Direção 1.	65
Gráfico 12 - Gráfico geral – Trimble R4 – Direção 2.	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Desvios Padrão e Precisão Planimétrica – GR-3 – Dia 1 Matutino.	50
Tabela 2 - Desvios Padrão e Precisão Planimétrica – GR-3 – Dia 1 Vespertino.	51
Tabela 3 - Desvios Padrão e Precisão Planimétrica – GR-3 – Dia 2 Matutino.	53
Tabela 4 - Desvios Padrão e Precisão Planimétrica – GR-3 – Dia 2 Vespertino.	54
Tabela 5 - Desvios Padrão e Precisão Planimétrica – R4 – Dia 1 Matutino.	56
Tabela 6 - Desvios Padrão e Precisão Planimétrica – R4 – Dia 1 Vespertino.....	57
Tabela 7 - Desvios Padrão e Precisão Planimétrica – R4 – Dia 2 Matutino.	59
Tabela 8 - Desvios Padrão e Precisão Planimétrica – R4 – Dia 2 Vespertino.....	60
Tabela 9 - Altitude GR-3	67
Tabela 10 - Altitude R4.....	67
Tabela 11 - Erro Planimétrico – GR-3 - Dia 1.....	68
Tabela 12 - Erro Planimétrico – GR-3 - Dia 2.....	69
Tabela 13 - Erro Planimétrico – R4 - Dia 1.....	70
Tabela 14 - Erro Planimétrico – R4 - Dia 2.....	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ARP	Ponto de Referência da Antena
AS	<i>Anti-Spoofing</i>
BDS	<i>Beidou Navigation Satellite Demonstration System</i>
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>
CGCS	<i>China Geodetic Coordinate System</i>
CIGNET	<i>Cooperative International GPS Network</i>
CS	<i>Commercial Service</i>
DoD	<i>Department of Defense</i>
EUA	Estados Unidos da América
FDMA	<i>Frequency Division Multiple Access</i>
GCS	<i>Ground Control Segment</i>
GEO	<i>Geostationary Orbit</i>
GLONASS	Sistema Global de Navegação por Satélite
GMS	<i>Ground Mission Segment</i>
GNSS	Sistema Global de Navegação por Satélite
GPS	Sistema de Posicionamento Global
GTRF	<i>Galileo Terrestrial Reference Frame</i>
IGR	Órbitas IGS Rápidas
IGS	<i>International GNSS Service</i>
IGU	Órbitas IGS ultrarrápidas
IGSO	<i>Inclined Geosynchronous Orbit</i>
ITRF	<i>International Terrestrial Reference Frame</i>
<i>Laser</i>	<i>Light Amplification by Stimulate Emission of Radiation</i>
MEO	<i>Medium Altitude Earth Orbit</i>
MGEX	<i>The Multi-GNSS Experiment and Pilot Project</i>
NGA	<i>National Geospatial-Intelligence Agency</i>
NTRIP	<i>Networked Transport of RTCM via Internet Protocol</i>
OAE	Obra de Arte Especial
OCS	<i>Operational Control System</i>
OS	<i>Open Service</i>
PCO	<i>Offset do Centro de Fase</i>

PCV	Variação do Centro de Fase
PD	Pseudodistância
PP	Precisão Planimétrica.
PPP	Posicionamento por Ponto Preciso
PPS	<i>Precise Positioning Service</i>
PRN	<i>Pseudo Random Noise</i>
PRS	<i>Public Regulated Service</i>
PZ-90	<i>Parametry Zemli 1990</i>
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RNP	Referência de Nível Profunda
RTK	Posicionamento em Tempo Real
SA	<i>Selective Availability</i>
SiGE	Sistema de Gerenciamento Estrutural
SPS	<i>Standard Positioning Service</i>
UHE	Usina Hidrelétrica
UTM	Universal Transverso de Mercator
WGS	<i>World Geodetic System</i>

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	JUSTIFICATIVA	17
1.2	OBJETIVOS	18
1.2.1	Objetivo geral	18
1.2.2	Objetivos específicos	18
2	REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
2.1.1	Sistemas de posicionamento global por satélite	19
2.1.1.1	GPS – Sistema de Posicionamento Global	20
2.1.1.2	GLONASS – Sistema Global de Navegação por Satélite.....	21
2.1.1.3	Galileo.....	22
2.1.1.4	Beidou.....	23
2.1.2	Órbitas precisas.....	23
2.1.3	Observáveis GNSS	24
2.1.3.1	Erros relacionados aos satélites	26
2.1.3.2	Erros relacionados à propagação do sinal.....	27
2.1.3.3	Erros relacionados com a antena e o receptor.....	30
2.1.3.4	Erros relacionados à estação	32
2.1.4	Classificação dos posicionamentos.....	33
2.1.4.1	Posicionamento absoluto	33
2.1.4.1.1	Posicionamento por ponto simples	34
2.1.4.1.2	Posicionamento por ponto preciso.....	34
2.1.4.2	Posicionamento relativo.....	34
2.1.4.2.1	Posicionamento relativo estático	35
2.1.4.2.2	Posicionamento Relativo Estático Rápido.....	35

2.1.4.2.3 Posicionamento Relativo Semicinemático	36
2.1.4.2.4 Posicionamento Relativo Cinemático	36
2.1.5 Precisão e Acurácia.....	36
2.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	38
3. METODOLOGIA.....	42
3.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo	42
3.2 Materiais	43
3.3 Procedimentos Metodológicos.....	45
3.3.1 Procedimentos de Coleta de Dados	45
3.3.2 Processamento e Análise das Observações.....	47
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	49
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
5.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	74
6. REFERÊNCIAS	75
APENDICE A – CRONOGRAMA DA COLETA DE DADOS DO EQUIPAMENTO TOPCON GR-3, REALIZADO EM 2 DIAS, NAS DATA 20/08/2019 E 29/08/2019, RESPECTIVAMENTE.	78
APENDICE B – CRONOGRAMA DA COLETA DE DADOS DO EQUIPAMENTO TRIMBLE R4, REALIZADO EM 2 DIAS, NAS DATA 25/08/2019 E 22/08/2019, RESPECTIVAMENTE.	79
APENDICE C – COORDENADAS UTM DO RECEPTOR GR-3 DO DIA 1, MATUTINO E VESPERTINO RESPECTIVAMENTE.....	80
APENDICE D – COORDENADAS UTM DO RECEPTOR GR-3 DO DIA 2, MATUTINO E VESPERTINO RESPECTIVAMENTE.....	81
APENDICE E – COORDENADAS UTM DO RECEPTOR R4 DO DIA 1, MATUTINO E VESPERTINO RESPECTIVAMENTE.....	82
APENDICE F – COORDENADAS UTM DO RECEPTOR R4 DO DIA 2, MATUTINO E VESPERTINO RESPECTIVAMENTE.....	83

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Rocha (2017, p.17), “Estruturas podem ser definidas como algo que fornece sustentabilidade a um corpo sendo divididas em: estruturas naturais e artificiais”. No presente trabalho será analisada uma simulação de deslocamento de estrutura artificial.

O monitoramento de uma estrutura é parte fundamental de seu projeto, devendo ser realizada durante e após o término de construções civis. De acordo com Santos (2014, p.1):

O monitoramento do comportamento de uma estrutura é uma forma privilegiada de avaliação do seu desempenho com base em valores diretamente medidos *in situ*, permitindo a verificação das teorias de comportamento estrutural consideradas na modelação e análise dessa estrutura, bem como a detecção precoce de eventuais deficiências estruturais. Consiste na recolha periódica e organizada de informação, seguida de uma análise sistemática dessa informação.

Quando se realiza o monitoramento de alguma estrutura, se visa a segurança, sendo esta a maior utilidade do monitoramento. Com a efetivação do monitoramento se aumenta as chances de detecção prévia de comportamentos anômalos na estrutura, com o intuito de reduzir os riscos de aparição de rachaduras e no pior dos casos uma eventual ruptura desta, contribuindo para a segurança de vidas humanas, do meio ambiente e de bens materiais. Outro fator importante da realização do monitoramento visa uma maior vida útil para a estrutura, minimizando custos diretos com intervenções e diminuindo custos de manutenção da própria estrutura (Santos, 2014).

O monitoramento de estruturas está dividido em duas técnicas, sendo elas o monitoramento geotécnico e o monitoramento geodésico, em que em alguns casos se utilizam as duas técnicas para se ter mais dados e informações na análise de deslocamento e/ou deformação de uma estrutura.

O monitoramento geotécnico consiste no uso de equipamentos como piezômetros, pêndulos, extensômetros, distanciômetros, etc. De acordo com Chrzanowski et al. (1986), a técnica de levantamentos utilizando instrumentos geotécnicos fornecem informações de alta acurácia e são de fácil adaptação para o processo de coleta de dados contínuos e automáticos. Além de serem independentes de condições ambientais e de visibilidade, porém fornecendo apenas informações pontuais.

O monitoramento geodésico consiste no uso de equipamentos como níveis de precisão, estações total, receptores GNSS, etc. De acordo com Chrzanowski et al. (1986), os levantamentos geodésicos também oferecem alta acurácia em suas medidas em posicionamento relativo, fornecendo informações globais e não pontuais em relação ao objeto em questão no monitoramento. Com o passar dos anos a tecnologia e os equipamentos geodésicos evoluíram e se tornaram mais robustos, de fácil manuseio e mais rápidos na coleta de dados.

Dentre as diversas técnicas empregadas no monitoramento geodésico, entre elas a utilização de estações total e o nivelamento geométrico, tem sido utilizado também o método espacial de posicionamento - Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS). Em comparação com o método clássico, este tem como vantagens baixo custo, rapidez, simplicidade operacional e benefícios na precisão.

Entretanto, sabendo-se que o monitoramento de estruturas exige alto nível de precisão, procedimentos adequados devem ser adotados no momento de aquisição e processamento dos dados, bem como a escolha dos equipamentos.

No presente trabalho, será feita uma simulação de pequenos deslocamentos, rastreados por dois modelos diferentes de receptores GNSS, em que os dados obtidos serão processados e analisados, visando a comparação entre os equipamentos e as precisões alcançadas por cada um.

1.1 JUSTIFICATIVA

Sabe-se que há um risco de deslocamento e/ou deformação em qualquer estrutura, ocasionando geralmente a aparição de fissuras e trincas desta, em que se não houver uma manutenção e um cuidado pode ocasionar em uma ruptura da estrutura, causando, assim, um risco de danos materiais, ambientais e sociais elevado.

No âmbito nacional, diversas tragédias relacionadas a este assunto tem se destacado devido à grande proporção dos estragos resultantes, como por exemplo o rompimento das barragens de Fundão e da Barragem 1 da Mina do Córrego do Feijão, localizadas respectivamente nas regiões de Mariana e Brumadinho no estado de Minas Gerais. De acordo com o site G1 (2019), o rompimento da barragem em Mariana causou o maior desastre ambiental do Brasil, além de ocasionar 19 mortes. De acordo com Fiúza (2019), redatora do site G1, a tragédia em Brumadinho ocasionou dezenas de mortes e pessoas desaparecidas.

Visando a detecção destes deslocamentos, mesmo que mínimos, com o intuito de evitar danos à estrutura, entra-se na questão do monitoramento, em que este fornece as informações necessárias para a tomada de decisões acerca da estrutura, tendo que ser conhecidos os possíveis equipamentos a serem utilizados para este fim.

Entre os equipamentos, destaca-se os receptores GNSS por sua facilidade e rapidez na coleta e processamento dos dados. Porém, para utilizá-lo, é necessário conhecer a sua real precisão e acurácia, determinando assim, a sua viabilidade no monitoramento da estrutura analisada. Com isso, o objetivo do presente trabalho é avaliar a precisão e acurácia da tecnologia GNSS.

1.2 OBJETIVOS

Os objetivos geral e específicos do presente trabalho serão apresentados a seguir:

1.2.1 Objetivo geral

Analisar a precisão e a acurácia da tecnologia GNSS objetivando o monitoramento de pequenos deslocamentos estruturais.

1.2.2 Objetivos específicos

- Confeccionar um dispositivo que permita a fixação e o deslocamento dos receptores GNSS;
- Comparar as precisões e acurácias obtidas pelos diferentes modelos de receptores GNSS utilizados;
- Avaliar o comportamento das informações resultantes quando obtidos em diferentes dias e horários; e,
- Analisar a aplicação da tecnologia GNSS para monitoramento de estruturas.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura será composta de duas partes, sendo a primeira a fundamentação teórica e a segunda a revisão bibliográfica.

2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Sabe-se que posicionamento nada mais é do que atribuir coordenadas a um ponto ou objeto. Este assunto sempre foi de muito interesse para o homem, seja para saber o território a se conquistar, ou qual o melhor lugar para estabelecer esconderijos, ou ainda, para saber qual o mercado mais próximo de casa. Sendo assim, este foi um dos primeiros problemas que o homem procurou solucionar (Monico, 2008).

Junto ao termo posicionamento, encontra-se a navegação, que significa, além de determinar a posição geográfica de um local, saber ir e voltar de um lugar a outro. Inicialmente, o Sol, os planetas e as estrelas eram tidos como fontes de orientação, apesar dos inúmeros fatores que dificultavam essas observações. Surge, então, a bússola, também com suas limitações. No entanto, a navegação celeste sempre resultou em um posicionamento com valores não muito precisos, apenas aproximados (Santiago e Salviano, 2005).

Alguns sistemas começaram a ser desenvolvidos com o avanço da eletrônica, baseados em ondas de rádio. Porém, assim como a navegação celeste, apresentavam bastantes limitações, seguindo-se com o desenvolvimento de sistemas baseados em satélites artificiais. Surgiram, então, a partir da década de 70, os sistemas pioneiros, o Sistema de Posicionamento Global (GPS) e o Sistema Global de Navegação por Satélites (GLONASS), seguidos do Galileo e do Beidou (BDS), também chamado de Compass, ainda em desenvolvimento, em que todos estes constituem o GNSS (Monico, 2008).

2.1.1 Sistemas de posicionamento global por satélite

A seguir é apresentado um resumo das principais características e propriedades dos sistemas de posicionamento globais.

2.1.1.1 GPS – Sistema de Posicionamento Global

O GPS, entre os quatro sistemas, é o mais conhecido no globo, e trouxe consigo a facilidade de posicionar-se. Este sistema de radionavegação foi criado pelo Departamento de defesa dos Estados Unidos (DoD) com o intuito de ser utilizado pelas Forças Armadas norte-americanas como seu principal sistema de navegação, tendo como vantagem a falta de necessidade de intervisibilidade entre as estações (Lago, Ferreira e Krueger, 2002).

O princípio do sistema GPS baseia-se no conhecimento das coordenadas de três satélites, desde que estes não estejam no mesmo plano, e suas respectivas distâncias com o receptor utilizado pelo usuário para se determinar as coordenadas da mesma. É necessária a medida de um quarto satélite devido ao não sincronismo entre os relógios dos satélites e o do usuário. Portanto, são necessários no mínimo quatro satélites para a definição da posição da antena do usuário (Seeber, 1993, *apud* Monico, 2008).

Os serviços proporcionados pelo sistema são o Serviço de Posicionamento Padrão (SPS) e o Serviço de Posicionamento Preciso (PPS), em que o primeiro era o único disponibilizado para todos os usuários devido sua maior limitação em relação ao segundo, que possuía os processos *Anti-Spoofing* (AS) e o *Selective Availability* (SA) que limitavam a acurácia. No entanto, no ano 2000, o processo SA foi desativado. Em relação aos sinais, o sistema é composto pelas portadoras L1 e L2, inicialmente, e, a partir de 2010, a L5 (Monico, 2008).

De acordo com o site GLONASS-IAC (2019), a constelação GPS conta com 33 satélites em órbita, sendo que 30 satélites estão em operação atualmente. Todos os satélites transmitem na mesma frequência, com a tecnologia *Code Division Multiple Access* (CDMA), e além disso obtêm o código *Pseudo Random Noise* (PRN) que é responsável pela identificação de cada satélite. É importante também o acesso às efemérides, dadas sob o *datum World Geodetic System* (WGS84), que trazem consigo, em elementos keplerianos, as coordenadas dos satélites e os coeficientes para correção do atraso ionosférico. As efemérides precisas são disponibilizadas pelo Serviço Internacional de GNSS (IGS) (Setti Júnior, 2019).

Quanto ao segmento de controle, há uma rede global formada por estações de monitoramento e antenas terrestres, com uma estação central localizada no Colorado, Estados Unidos da América (EUA). Esta estação central recebe os sinais GPS coletados pelas estações de monitoramento, realizando todo o processamento dos dados recebidos, dados estes que são transmitidos, diariamente, para os satélites (Monico, 2008).

2.1.1.2 GLONASS – Sistema Global de Navegação por Satélite

Semelhante ao GPS, o GLONASS foi criado com a intenção de obter dados de posicionamento global em tempo real, independente das condições climáticas. Este sistema, criado pela antiga União Soviética, na década de 70, também tinha como finalidade o uso militar, porém, após várias declarações do governo, foi expandido para todos os usuários. Atualmente, o GLONASS é de responsabilidade da Rússia (Monico, 2008).

Este sistema apresenta uma inclinação, em relação ao Equador, maior que a do GPS, fornecendo uma melhor cobertura para altas latitudes, diferenciando-se um pouco da cobertura global do sistema anterior, apresentando serviço similar ao posicionamento simples no SPS do GPS. Em relação as frequências, este sistema utiliza a tecnologia *Frequency Division Multiple Access* (FDMA), em que cada satélite funciona em uma frequência diferente, utilizando as portadoras L1 e L2, e, alguns satélites, passaram a transmitir, também, a portadora L3, baseada na tecnologia CDMA (Seeber, 2003, *apud* Monico, 2008, Setti Júnior, 2019).

As informações de posição e tempo dos satélites (causadas por perturbações gravitacionais do Sol e da Lua) são fornecidas pelas efemérides transmitidas - *Parametry Zemli 1990* (PZ-90), estando estas informações contidas em intervalões de 30 minutos, necessitando de interpolação para o restante. As efemérides precisas são disponibilizadas no mesmo formato das efemérides precisas do GPS (Monico, 2008).

De acordo com Setti Júnior (2019), após este sistema alcançar sua constelação completa em 1995, houve uma época de decadência, em que poucos destes satélites, sete, ficaram ativos. Atualmente, a constelação GLONASS conta com 27 satélites em órbita, sendo que 21 satélites estão em operação atualmente (GLONASS-IAC, 2019).

O segmento de controle do GLONASS é formado pela central responsável pela sincronização do tempo GLONASS, o sistema de controle central — localizada em Krasnoznamensk, 40 km ao sul de Moscou, responsável pela coordenação de todo o trabalho — e pelas estações de monitoramento, em que estas estão sendo expandidas, desde 2013, por diversos países (Monico, 2008).

2.1.1.3 Galileo

A União Europeia foi responsável pela criação do sistema de navegação Galileo, visto que o governo dos EUA tomou a decisão de não autorizar que outras nações tivessem acesso ao controle das configurações do GPS. O Galileo foi iniciado de fato em 2005, sendo um sistema de controle civil, compatível com o GPS, sendo ele aberto e global (Monico, 2008)..

Cada satélite da constelação utiliza da tecnologia CDMA, transmitindo, cada um, sinais em três frequências, sinais esses divididos em E1, — mesma frequência que a portadora L1 do GPS — E5 (sub-banda E5a), — mesma frequência da portadora L5 do GPS — e E6 (criptografado). O Galileo oferece três tipos de serviços: *Open Service* (OS), acessível ao público; *Public Regulated Service* (PRS), restrito a usuários autorizados pelo governo; e *Commercial Service* (CS), também criptografado. Além destes serviços, o sistema dá suporte a um serviço de busca e resgate internacional, liderado pelos EUA, Rússia, Canadá e França (Setti Júnior, 2019).

A constelação conta com 21 satélites operacionais, dos 26 que estão em órbita (GSC-EUROPA, 2019), com intenção de inteirar 30 satélites em órbita em 2020. Assim como no sistema GPS, as informações de posição dos satélites são fornecidas nas efemérides transmitidas, porém, estas são disponibilizadas pelo *The Multi-GNSS Experiment and Pilot Project* (MGEX). Alinhado ao *International Terrestrial Reference Frame* (ITRF), sistema de referência do GPS, o Galileo estabeleceu o *Galileo Terrestrial Reference Frame* (GTRF), seu próprio sistema de referência para as efemérides (Monico, 2008).

O segmento de controle deste sistema é composto pelo *Ground Control Segment* (GCS) — controle dos satélites, incluindo uma rede de estações que proporcionam cobertura global — e pelo *Ground Mission Segment* (GMS) — monitora os sinais Galileo, gera as mensagens de navegação e as transmite aos satélites. O GCS possui seu centro localizado em Oberpfaffenhofen, na Alemanha, e o centro do GMS está em Fucino, na Itália (Setti Júnior, 2019).

2.1.1.4 Beidou

O sistema de posicionamento Beidou foi criado pela China, país este que optou por construí-lo em três fases, nas quais a primeira fase (BDS-1) se concretizou entre os anos de 2000 e 2003, com três satélites geoestacionários. Em 2012 foi declarada operacional a segunda fase (BDS-2), com 5 satélites geoestacionários, 5 satélites de órbita geossíncrona e 4 de órbita MEO. A última fase (BDS-3) tem previsão de estar completa em 2020, então com uma constelação global, totalizando 35 satélites (Setti Júnior, 2019). De acordo com o site GLONASS-IAC (2019), atualmente a constelação Beidou conta com 43 satélites em órbita, sendo que 34 desses estão ativos e 9 não ativos. Dos satélites ativos na constelação, 21 deles são MEO, 5 são *Geostationary Orbit* (GEO) e 8 são *Inclined Geosynchronous Orbit* (IGSO).

O segmento de controle desta constelação é denominado *Operational Control System* (OCS), que tem como principais funções estabelecer e manter o sistema de referência – *China Geodetic Coordinate System* (CGCS2000), entre outras, até transmitir as mensagens de navegação para os satélites. É composto por uma estação central e estações de monitoramento, localizadas, em sua maioria, no território chinês. Semelhantemente ao Galileo, as informações de posição dos satélites são fornecidas por efemérides transmitidas keplerianas, também disponibilizadas pelo MGEX (Monico, 2008).

Em publicação no site GPS World, Cozzens (2019) escreve que, de acordo com o pesquisador da Academia de Ciências Chinesa, Jin Shuanggen, o conjunto da constelação Beidou fornecerá, quando completo, uma melhor acurácia em locais como no interior de edifícios, locais subterrâneos e subaquáticos, entre outros.

2.1.2 Órbitas precisas

Como visto, há a disponibilização, por cada sistema de posicionamento, das efemérides transmitidas. Porém, para um posicionamento de melhor precisão, desenvolveu-se a produção de efemérides pós-processadas, mais conhecidas como efemérides precisas. Despertou-se, então, o interesse em várias instituições civis para organizar uma rede civil (*Cooperative International GPS Network* — CIGNET), bem como

o *International GNSS Service* (IGS), pois o National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) era o único a disponibilizar este tipo de serviço, inicialmente (Monico, 2008).

O IGS compreende uma rede, constituída por centenas de estações distribuídas pelo mundo, tendo sido incorporada também a rede CIGNET. A identificação das efemérides precisas, sabendo-se que cada arquivo corresponde a 24 horas, é dada pela sigla do centro que a produz, seguida da semana GPS, finalizando com o dia da semana (Monico, 2008).

Segundo Monico (2008) são realizadas combinações a partir das órbitas geradas nos vários centros, resultando nas seguintes efemérides: IGS (disponível treze dias após a coleta dos dados – combinação das órbitas), IGR (disponível 17 horas após a coleta de dados – órbitas IGS rápidas) e IGU (disponível em tempo real ou 3 horas após a coleta de dados – órbitas IGS ultrarrápidas). Tem-se, ainda, a efeméride anterior à IGU na semana GPS, denominada predita.

Em relação à acurácia das posições dos satélites, corresponde a 5 cm as efemérides IGS, IGR e IGU, enquanto que a predita está na ordem de 10 cm. Em relação ao erro dos relógios, as efemérides IGS e IGR tem acurácia de 2,5 cm e 0,1 ns, a IGU de 5 cm e 0,3 ns e a predita de 5ns (Marques, 2012).

2.1.3 Observáveis GNSS

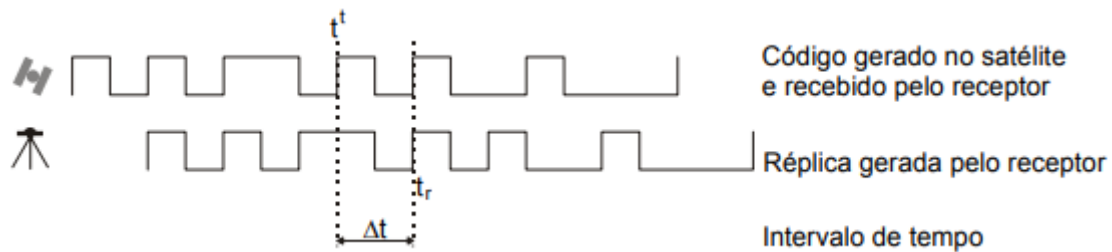
Segundo Monico (2008), para se determinar posição, tempo e velocidade, tem-se as observáveis básicas do GNSS, sendo elas a pseudodistância a partir do código e a fase da onda portadora.

A primeira delas, a pseudodistância, nada mais é do que a distância entre o satélite e o receptor baseada nos códigos formados nos satélites e nos receptores. A justificativa desta observável não ser denominada simplesmente distância na literatura, baseia-se no fato do não sincronismo entre os relógios que geram os códigos no satélite e suas réplicas, que geram os códigos no receptor, sabendo-se que os osciladores (relógios) nos satélites dispõem de alta precisão, enquanto que os osciladores presentes nos receptores são, em geral, de menor qualidade (Monico, 2008 *apud* Marques, 2012). A representação dessa diferença de ondas se encontra na Figura 1.

A pseudodistância é igual à diferença entre o tempo registrado no receptor, assim que este recebe o sinal, e o tempo registrado no satélite, assim que o sinal é transmitido,

multiplicado pela velocidade da luz no vácuo. É importante citar, que além do resultado obtido por meio da relação, tem-se que adicionar o efeito da ionosfera (Marques, 2012).

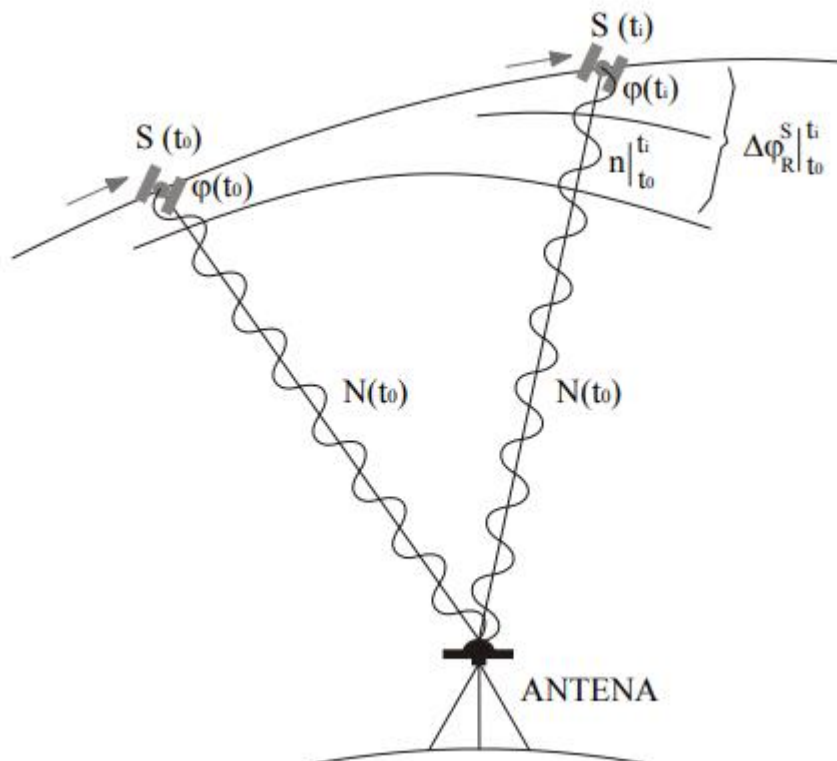
Figura 1 – Representação da Pseudodistância.



Fonte: Teunissen e Kleusberg (1998, *apud* Sejas, 2005).

A fase da onda portadora é mais precisa do que a pseudodistância, sendo igual à diferença entre a fase do sinal gerado no satélite e recebida na estação e a fase do sinal gerado no receptor, ambos no instante de recepção, conforme a Figura 2. Na determinação desta observável é utilizada a ambiguidade – número de ciclos inteiros entre o receptor e o satélite no instante da primeira observação – e, diferente da primeira observável, o efeito ionosférico é subtrativo (Monico, 2008 *apud* Marques, 2012).

Figura 2 - Representação da Fase da Onda Portadora.



Fonte: Garnés (2001, *apud* Sejas, 2005).

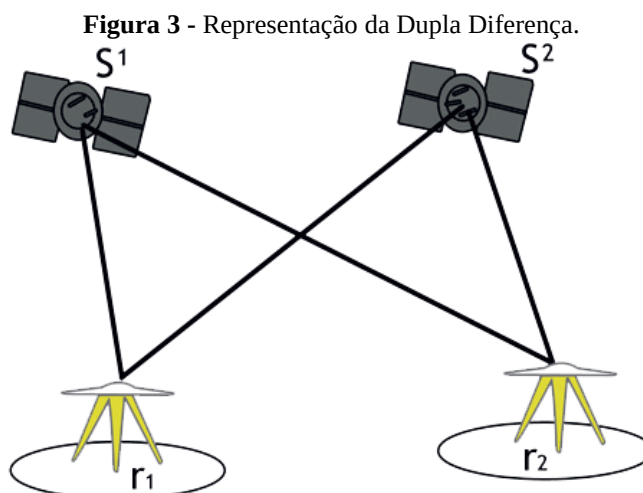
Estas observáveis possuem erros sistemáticos, considerando a ausência de erros grosseiros e os erros aleatórios como uma propriedade inerente da observação, pois são considerados inevitáveis (Monico, 2008).

2.1.3.1 Erros relacionados aos satélites

De acordo com Monico (2008), são por meio das efemérides precisas que são obtidas as informações orbitais utilizadas no cálculo das coordenadas dos satélites, coordenadas essas que são consideradas fixas no processo de ajustamento dos dados. Sendo assim, os erros, denominados orbitais, presentes nas coordenadas, serão propagados para as coordenadas do usuário quase que diretamente, se feito o posicionamento por ponto, ou serão praticamente eliminados no caso da execução do posicionamento relativo.

É importante salientar que, independente do posicionamento, podem existir erros remanescentes, degradando, à medida que a linha de base se torna mais longa, a acurácia das componentes das mesmas.

Os relógios atômicos dos satélites, monitorados pelo segmento de controle, não conseguem acompanhar exatamente, mesmo sendo muito precisos, o tempo associado aos satélites, apresentando um erro a eles associados. Esse erro pode ser corrigido a partir da dupla diferença, por meio do posicionamento relativo (Monico, 2010). A dupla diferença é determinada pela diferença de duas simples – sabendo-se que dois receptores diferentes rastreiam o mesmo satélite, faz-se a diferença das pseudodistâncias calculadas – conforme ilustra a Figura 3.



Fonte: Monico (2010).

Segundo Monico (2008), há também os efeitos da relatividade, causando uma aparente alteração na frequência dos relógios dos satélites em relação aos terrestres, pois se deslocam com diferentes velocidades, e estão em diferentes campos gravitacionais. Mesmo que compensados antes dos satélites serem lançados, alguns efeitos permanecem, porém, no caso do método relativo, esses efeitos são considerados desprezíveis.

A diferença entre o caminho percorrido pelas ondas portadoras e o hardware do satélite, e essa diferença de caminho das portadoras e o receptor, também é outro erro relacionado ao satélite. No primeiro caso, esse atraso é definido e introduzido nas mensagens de navegação durante a fase de calibração do satélite. No outro caso, este atraso deve ser estimado na calibração dos receptores de dupla frequência (Monico, 2008).

O último erro relacionado ao satélite é o erro de centro de fase da antena, em que as coordenadas referenciam-se pelo centro de massa do satélite, enquanto que o ponto de referência da emissão dos sinais é o centro de fase da sua antena, prejudicando a precisão da determinação das órbitas. No entanto, os valores desses deslocamentos são calculados e disponibilizados no IGS, por exemplo, em relação a várias antenas diferentes de receptores GNSS (Monico, 2008).

2.1.3.2 Erros relacionados à propagação do sinal

Tem-se, primeiramente, a refração troposférica, em que seus efeitos variam de poucos metros até 30 metros, dependendo do ângulo de elevação do satélite e da atmosfera, sendo uma oscilação na amplitude da onda eletromagnética (Matsuoka, 2003). Essas ondas são influenciadas pelo meio em que elas se propagam, e seus efeitos podem ser classificados em três.

O primeiro efeito é a atenuação atmosférica que provoca a diminuição da potência da onda eletromagnética devido os elementos constituintes da atmosfera, daí surge a não recomendação da máscara de elevação menor do que 15°. O segundo efeito é a cintilação troposférica que varia a amplitude da onda, nos primeiros quilômetros acima da Terra, devido o índice de refatividade atmosférica e suas irregularidades. O último efeito é o atraso troposférico, provocado pela influência da atmosfera seca (hidrostática) – razoável precisão e varia com a pressão atmosférica e a temperatura – e a úmida (vapor d'água atmosférica) – menor atraso, porém maior variação, portanto, precisão ruim (Monico, 2008).

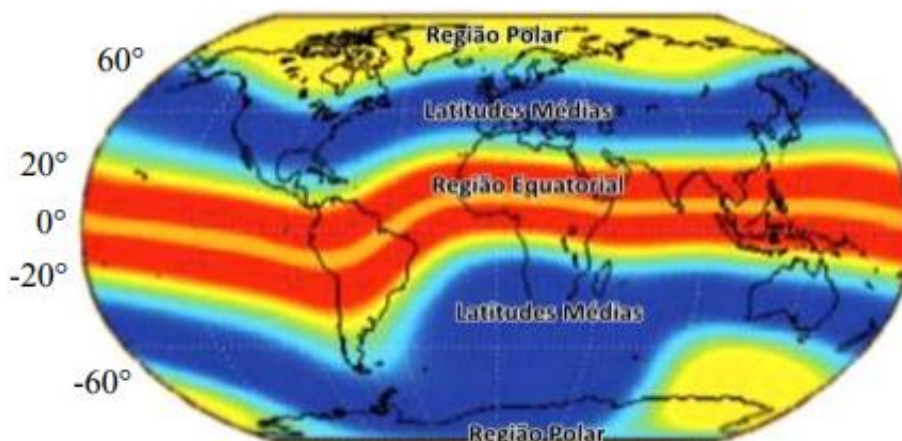
São definidos modelos para as variáveis citadas, com o intuito de realizar correções iniciais na refração troposférica e determinar parâmetros a serem introduzidos no ajustamento, sendo estes parâmetros adicionais da troposfera.

O segundo erro desta seção é a refração ionosférica, dependente da frequência e do índice de refração, em que o efeito da refração é proporcional ao total de elétrons que se encontram no caminho percorrido pelo sinal entre o receptor e a antena. O problema é que esse número de elétrons muda de acordo com algumas variáveis (Monico, 2008), podendo ser corrigido na utilização de receptores de dupla frequência e a partir da modelagem dos efeitos citados posteriormente para receptores de frequência simples.

A primeira variável corresponde ao tempo e espaço influenciando na densidade de elétrons na atmosfera, essa variação ocorre devido à radiação solar (diurnas) e as estações do ano (mudança da intensidade do fluxo de ionização e do ângulo zenital do Sol). Outras variáveis correspondem à localização e ao campo geomagnético, a primeira pelo fato de sua estrutura global não ser homogênea, varia-se a densidade de elétrons na ionosfera. A segunda, também resultando na variação dessa densidade, ocorre pelo fato deste campo controlar a movimentação das partículas isoladas, em que estas dependem das perturbações ocorridas na Terra, no seu campo magnético.

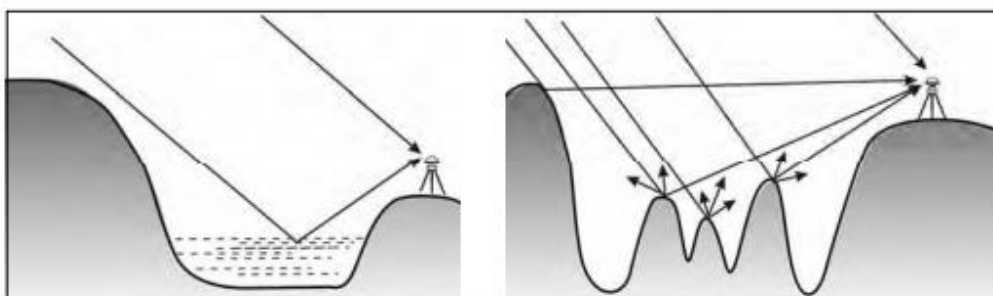
A quarta variável corresponde ao movimento do plasma que sofre uma elevação ao longo do campo geomagnético (suas linhas) e posterior descida, formando dois picos nas regiões subtropicais do equador, ao norte e sul. Essa distribuição latitudinal é chamada anomalia equatorial, em que os valores máximos de elétrons correm nas latitudes de aproximadamente 15°.

A última variável relacionada à refração ionosférica tem o nome de cintilação ionosférica, em que, após o sinal percorrer um caminho com irregularidades na densidade de elétrons e do índice de refração, há flutuações da fase ou amplitude da onda de rádio, enfraquecendo seu sinal e, geralmente a perda do sinal. Uma ilustração das regiões geográficas da ionosfera está presente na Figura 4.

Figura 4 - Regiões Geográficas da Ionosfera.

Fonte: Caldeira (2016).

Os multicaminhos (sinais refletidos) são o terceiro erro da seção. Ele, como o próprio nome submete, refere-se ao rastreo, pela antena do receptor, de sinais vindos diretamente do satélite, ou indiretamente (desviados por outros alvos no caminho) como mostra a Figura 5. Há a dificuldade de se estabelecer um modelo para tratar este efeito devido a arbitrariedade das situações geométricas dos locais onde isso ocorre. Portanto, muitas vezes, a qualidade do posicionamento é afetado devido a degradação da fase da onda portadora e da pseudodistância (Monico, 2008)

Figura 5 -Representação dos Sinais Refletidos ou Multicaminhamento.

Fonte: Ribeiro (2004 *apud* Souza, 2008).

Segundo Monico (2008), na primeira observável, os impactos do erro produzido pelo multicaminho são: a fase da onda (sem o efeito da ionosfera) comporta-se complexadamente, a frequência do erro é função da elevação o satélite e inversamente proporcional ao comprimento de onda, e o erro máximo é aproximadamente um quarto do comprimento de onda. A segunda observável se comporta similarmente à primeira, porém com magnitude várias vezes maior.

Visto isso, recomenda-se evitar levantamentos em locais propícios ao multicaminhamento e a utilização de antenas especiais com o intuito de minimizar os sinais que chegam por baixo da antena. Além destes, tem-se a coleta de dados por um intervalo de tempo longo, em que este auxilia na determinação das reflexões secundárias, e a calibração da estação utilizando movimentos controlados de um robô. (Leandro, 2009)

O quarto erro são as perdas de ciclo, perdas essas relacionadas ao ciclo da onda do sinal, podendo ser ocasionadas por obstruções no caminho, impedindo-o de chegar até o receptor ou provocando uma descontinuidade no sinal. Além dessas obstruções, bruscas variações na atmosfera e a aceleração da antena podem provocar este efeito, bem como problemas com o receptor, além de interferência de outras fontes de rádio.

De acordo com Monico (2008), espera-se que, nesse erro, apenas os ciclos inteiros mudem, permanecendo correta a parte fracionária. Portanto, para corrigi-lo, localiza-se o instante da descontinuidade do sinal e corrige-se a medida da fase da portadora dos ciclos inteiros.

O último erro refere-se à rotação da Terra. Sabendo-se que em um sistema de coordenadas da Terra (fixo) e no instante de transmissão do sinal são calculadas as coordenadas do satélite, e que essas coordenadas são alteradas à medida que as coordenadas do sistema terrestre rotacionam com o satélite, há a necessidade de se corrigir a rotação da Terra (Monico, 2008).

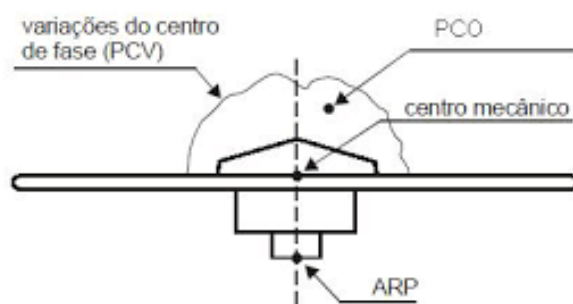
2.1.3.3 Erros relacionados com a antena e o receptor

Enquadra-se nesta seção o erro do relógio em relação ao sistema de tempo, similar à seção dos erros referentes aos satélites, em que este erro deve ser conhecido ao nível 10^{-6} do segundo no posicionamento relativo em relação ao sistema de tempo envolvido para ser considerado de alta precisão (Monico, 2008).

O segundo erro refere-se aos erros entre os canais, em que há um caminho eletrônico diferente para cada sinal e a utilização de canais múltiplos, podendo ocorrer erro sistemático entre estes canais. Segundo Monico (2008), esse é um erro comum dos atuais receptores geodésicos devido suas multiplicidades de canais. Corrige-se este efeito, a partir de um dispositivo constituinte do receptor, com uma calibração no início de cada levantamento, onde cada canal rastreia, ao mesmo tempo, um satélite em particular, determinando os erros em relação a um canal designado padrão.

O erro do centro de fase da antenna do receptor é o terceiro erro desta seção, em que, assim como o erro do centro de fase da antenna do satélite, as medidas dos sinais referenciam-se pelo centro de fase, desta vez eletrônico, da antenna do receptor, não coincidindo, geralmente, com o centro mecânico da antenna, conforme mostra a Figura 6. O maior problema é o fato deste centro de fase ser instável, sendo diferente para cada portadora e variando de acordo com a direção e intensidade dos sinais (Marques, 2012).

Figura 6 - Erro do Centro de Fase da Antena do Receptor.



Fonte: Huinca e Krueger (2010).

Visto que o centro de fase eletrônico não pode ser medido, foi estabelecido um ponto de referência, chamado Ponto de Referência da Antena (ARP), em que este é condicionado por uma parte mecânica (offset de centro de fase – PCO) e por uma parte eletrônica (variação de centro de fase – PCV) (Marques, 2012).

Para levantamentos de alta precisão, há a necessidade de calibração de todas as antenas envolvidas, em que os parâmetros dessa calibração estabelecem uma relação entre o centro de fase e o ARP, ou, melhor ainda, a realização da calibração absoluta que pode ser feita em tempo real a partir da utilização do arquivo referente à antena (disponibilizado no IGS). Além disso, o uso de antenas do mesmo fabricante e modelo deve reduzir este problema por apresentarem igualdade nas discrepâncias, além de orientar as antenas envolvidas numa mesma direção (Monico, 2008 e Marques, 2012).

Por último tem-se a fase *wind-up*, relacionada com a orientação relativa entre as antenas receptoras e transmissoras do sinal, além da direção de visada entre elas, de modo que, se ocorrer a mudança na orientação da primeira antena, muda-se a fase medida, e no caso da segunda antena, muda-se o campo elétrico da mesma e da receptora, conseqüentemente.

O erro *wind-up*, no posicionamento relativo com linhas de base curtas, não afeta o resultado. Porém, para o posicionamento por ponto preciso (PPP) com alta precisão, este efeito não pode ser desprezado. Além destes, ao se realizar o posicionamento em tempo real (RTK,) quando há uma mudança acentuada na trajetória do veículo, verificou-se que há a ocorrência de valores significativos do erro. No entanto, a maioria dos centros de análises do IGS aplicam essa correção (Monico, 2008).

2.1.3.4 Erros relacionados à estação

Entre estes erros estão as coordenadas da estação. Sabe-se que as coordenadas obtidas no posicionamento relativo possuem diferenças não referenciadas a um *datum*, portanto, são determinadas coordenadas a partir de um ponto de partida, em que, se esse ponto for incerto, todos os outros serão. Um objeto importante no caso deste erro é a utilização da estação-base, pois suas coordenadas possibilitam a obtenção das coordenadas geodésicas. Além disso, segundo Monico (2008), esse erro é eliminado a partir da utilização de estações de redes implantadas com GPS, como por exemplo a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC).

O segundo erro, as marés terrestres, nada mais é do que uma deformação da crosta terrestre em virtude da maré – Sol e Lua – que só podem ser medidas por gravímetros e a partir da observação de sistema de satélites. O posicionamento relativo tem como desprezível este erro, enquanto que no PPP deve ser considerado. As marés são classificadas como permanentes e variáveis, porém, são quantizadas apenas as marés totais. No entanto, vários *softwares*, bem como no SIRGAS2000 (*datum* adotado no Brasil), tem como resultantes coordenadas livres do efeito das marés (Monico, 2008).

O movimento do polo, terceiro erro da seção, causa a variação das coordenadas por causa de seu movimento, podendo atingir até 25 mm, variação essa eliminada no posicionamento relativo. Assim como o erro inerente à rotação da Terra, esse também resulta numa correção das observações do movimento do polo, julgadas fixas anteriormente (Monico, 2008).

Por último, de acordo com Monico (2008), tem-se os efeitos de carga oceânica e carga da atmosfera, que produzem deslocamentos periódicos sobre a superfície terrestre. O primeiro efeito citado depende das posições do local da estação, do Sol e da Lua e das características elásticas da crosta, tendo seu maior efeito próximo a costa. Quanto ao

segundo, é dependente das variações de pressão, e, as maiores deformações, estão relacionadas com tempestades na atmosfera (brusca modificação em sua massa). Esses efeitos devem ser considerados para levantamentos de alta precisão.

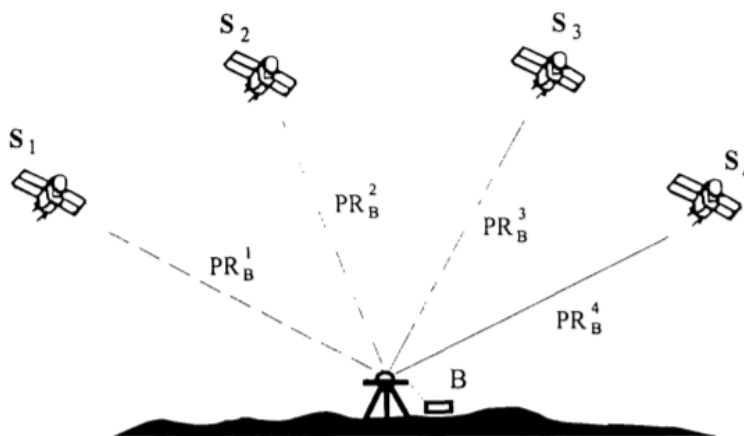
2.1.4 Classificação dos posicionamentos

Quando se diz respeito a classificação ou métodos de posicionamento GNSS, essas são divididas em duas partes que também se ramificam entre si. Podem ser classificadas em posicionamento absoluto e posicionamento relativo. Há também outro fator que interfere na classificação dos métodos de posicionamento, sendo que o objeto a ser posicionado pode estar em repouso ou em movimento, classificando assim os métodos estáticos e cinemáticos (Monico, 2008).

2.1.4.1 Posicionamento absoluto

Na realização do posicionamento absoluto ou também chamado de posicionamento por ponto, é necessário a utilização de apenas um receptor, em que este por meio da pseudodistância derivada do código C/A presente na portadora L1, recebe sinal dos satélites, conforme Figura 7. As coordenadas obtidas por este método estão diretamente associadas ao geocentro (Monico, 2008). O posicionamento absoluto se divide em posicionamento por ponto simples e posicionamento por ponto preciso (PPP).

Figura 7 - Posicionamento Absoluto.



Fonte: Leick (1995, p.260, *apud* Freiburger Junior, 2002).

2.1.4.1.1 Posicionamento por ponto simples

O posicionamento por ponto simples é a determinação instantânea e aproximada das coordenadas de uma estação com base em observações de pseudodistância, código civil, baseando-se nas efemérides transmitidas para o cálculo dos valores utilizados para fixar as órbitas e demais parâmetros dos satélites. Por esse método ter como base apenas observações de pseudodistâncias, possui menor precisão e acurácia em relação aos outros métodos existentes (Monico, 2008).

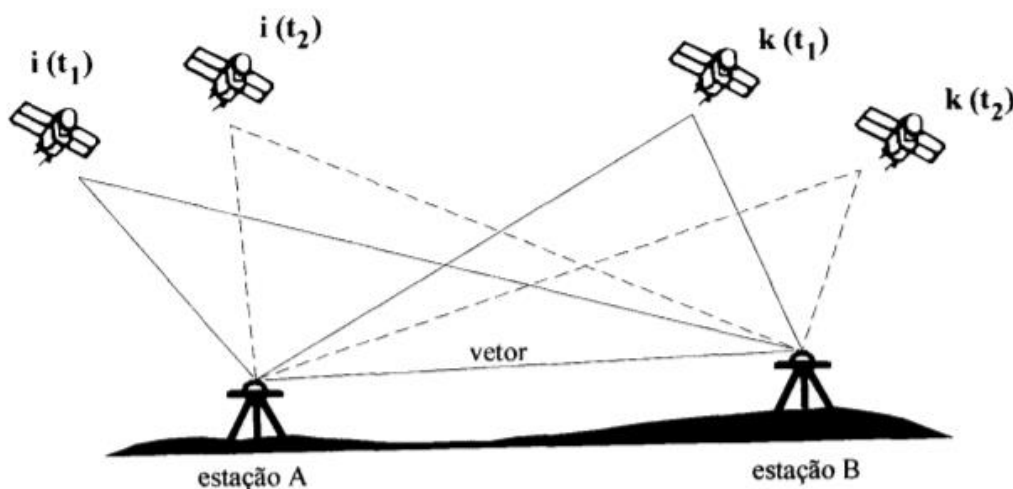
2.1.4.1.2 Posicionamento por ponto preciso

O posicionamento por ponto preciso, também conhecido como PPP, é a determinação das coordenadas pós-processadas de uma estação com base em observações de pseudodistância, ou fase da onda portadora, ou ambos, utilizando receptores de simples ou dupla frequência, baseando-se nas efemérides precisas, de alta precisão. Com a utilização das efemérides precisas além de correções para o relógio dos satélites, o método PPP fornece uma melhor precisão e acurácia em relação ao posicionamento por ponto simples (Monico, 2008).

2.1.4.2 Posicionamento relativo

De acordo com Monico (2008), o posicionamento relativo é baseado no princípio de que dois ou mais receptores envolvidos rastreiem, no mínimo, dois satélites em comum, ao mesmo tempo, sendo que ao menos um dos receptores no processo deve estar posicionado em local de coordenadas conhecidas, conforme Figura 8. Este posicionamento se divide de acordo com o tempo de rastreamento para obtenção dos dados, sendo eles o posicionamento relativo estático, estático rápido, semicinemático e o cinemático.

Figura 8 – Posicionamento Relativo.



Fonte: Leick (1995, p.262, *apud* Freiburger Junior, 2002).

2.1.4.2.1 Posicionamento relativo estático

Este posicionamento consiste na coleta de dados por dois ou mais receptores que rastreiam simultaneamente os satélites visíveis por um período de tempo de 20 minutos até algumas horas, dependendo da geometria local e do comprimento do vetor linha base formado entre a base e o ponto rastreado. Não há necessidade de continuar rastreando durante o deslocamento entre as bases neste posicionamento. É o método que possui melhores precisões e acurácias, sendo utilizado tanto para bases curtas (até 20 km), quanto para bases longas (maiores que 100 km) (Pinto e Chuerubim, 2015).

2.1.4.2.2 Posicionamento Relativo Estático Rápido

No posicionamento estático rápido, segue o mesmo princípio do posicionamento estático, tendo a diferença de tempo de ocupação como maior distinção. Neste posicionamento o tempo de coleta de dados em cada ponto varia de 5 a 20 minutos, sendo indicado para levantamentos de base curta, até 10 km. Este tipo de posicionamento permite que se desligue o equipamento durante o deslocamento entre as estações, assim como no posicionamento estático (Monico, 2008).

2.1.4.2.3 Posicionamento Relativo Semicinemático

Segundo Pinto e Chuerubim (2015), o posicionamento semicinemático é semelhante ao posicionamento estático rápido porém com tempo de coleta de apenas alguns segundos em cada ponto. Para resolução de sua ambiguidade, deve-se manter o equipamento ligado a todo momento durante os deslocamentos de uma estação para outra.

2.1.4.2.4 Posicionamento Relativo Cinemático

No posicionamento cinemático a coleta de dados se dá por meio de uma base que se mantém fixa e o outro receptor que se mantém em constante movimento realizando uma trajetória. Sendo assim, a obtenção de dados neste método consiste em uma trajetória de pontos, também chamada de nuvem de pontos (Pinto e Chuerubim, 2015). De acordo com Tanajura *et al* (2011), o posicionamento cinemático possui precisão de 10 cm, podendo chegar a poucos centímetros caso as condições sejam favoráveis. O posicionamento relativo cinemático pode ser dividido em duas partes, sendo o posicionamento relativo cinemático pós-processado e em tempo real.

Enquanto o posicionamento pós-processado deve ser realizado após o levantamento, obtendo assim sua exatidão e resolvendo a ambiguidade, o posicionamento em tempo real (RTK), realiza todo processamento e resolução da ambiguidade durante o levantamento. Para que isso seja possível é necessária que os receptores de base e *rover* tenham conexão via ondas de rádio ou internet para a transferência de correções e observações, e também possua *software* interno que realize o processamento.

2.1.5 Precisão e Acurácia

O termo precisão pode ser definido como o grau de dispersão de amostras em relação ao seu valor de média, o quanto as amostras tem de variabilidade entre si. A precisão está relacionada apenas com os erros aleatórios (Mikhail e Ackermann, 1976, *apud* Monico *et al*, 2009).

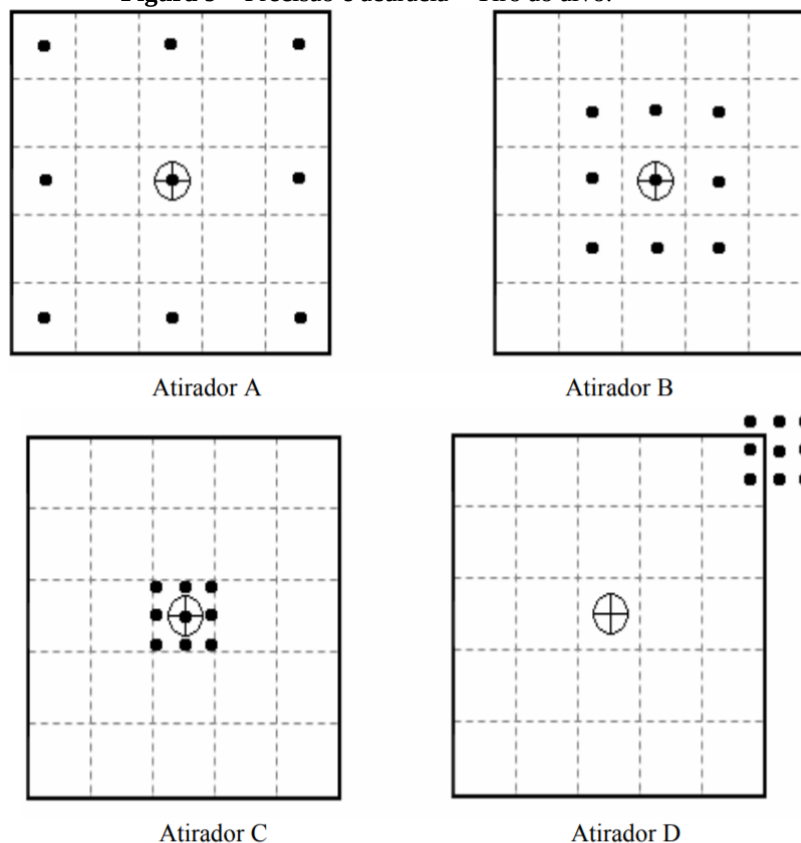
O termo acurácia é definido como a distância das amostras para um valor real ou tido como referência, o quanto as amostras se aproximam do seu parâmetro. A acurácia

envolve tanto os erros sistemáticos quanto os erros aleatórios (Mikhail e Ackermann, 1976, *apud* Monico *et al*, 2009).

De acordo com Monico *et al* (2009), a acurácia por si só já engloba a medida de precisão, por envolver tanto o erro sistemático (tendência) quanto o erro aleatório (precisão). Tem-se então que acurácia é definida pelos efeitos de tendência e dispersão.

A Figura 9 a seguir apresenta um exemplo para melhor compreensão das definições de precisão e acurácia. O atirador A apresenta baixa precisão e também baixa acurácia, devido esta levar em consideração também os erros aleatórios. O atirador B apresenta tendência nula, assim como o atirador A, porém sendo um pouco mais preciso e consequentemente um pouco mais acurado. O atirador C apresenta alta precisão e alta acurácia, por não apresentar tendência e ter baixa dispersão de seus tiros. O atirador D apresenta alta precisão, porém apresenta tendência, fazendo com que seus tiros estejam distantes do alvo, consequentemente tendo uma baixa acurácia.

Figura 9 – Precisão e acurácia – Tiro ao alvo.



Fonte: Monico *et al* (2009).

2.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Procurando apresentar trabalhos relacionados ao tema proposto e também adquirir conhecimentos sobre o assunto, realizou-se uma pesquisa de vários trabalhos que são direcionados para o mesmo tema.

Poleto (2010), realizou um experimento para análise da precisão e acurácia de pequenos deslocamentos realizados por um receptor GNSS. O trabalho foi executado no Campus da Universidade Federal de Viçosa, onde foi constituído por duas bases de referência, sendo uma delas uma estação da RBMC (VICO) e a outra base denominada DERH. O receptor GNSS que sofre o deslocamento se localiza na Estação Meteorológica (META). O trabalho consiste em realizar um pequeno deslocamento no receptor GNSS por meio de uma barra confeccionada para este fim, em que permite que o receptor acoplado a ela se movimente em uma única direção. Foram realizados posicionamentos de aproximadamente uma hora por seis vezes consecutivas durante cinco dias, em que cada dia representa a observação de uma posição diferente, sendo estas 0 mm (origem), 5 mm, 15 mm, 35 mm e 60 mm. Para o processamento das observações foi utilizado o software Trimble Geomatics Office. As observações foram obtidas com uma taxa de gravação de 5 segundos, além de ser considerado uma máscara de elevação de 15 graus. Como resultado, Poleto (2010) obteve valores bastante satisfatórios, com dados de precisões na casa dos décimos de milímetros.

Muguio (2012), realizou a implantação e análise de uma estação GNSS para monitoramento contínuo da barragem da Usina Hidrelétrica de Mauá. Nesse trabalho, foi utilizado a antena Leica AS10 e o receptor Leica GR10. O método de posicionamento relativo estático, na qual os dados foram processados no *software* Leica Geo Office versão 8.2, resultou em coordenadas de três bases da RBMC como referência no processamento, sendo elas a base de PRGU de Guarapuava, a base PRMA de Maringá e a base UFPR de Curitiba. Uma observação que se analisa em seus resultados são que quanto menor a linha de base entre a estação de referência e a estação de monitoramento, melhor é o resultado e a precisão do valor obtido, sendo que seus resultados foram na casa dos milímetros e em alguns casos na casa dos centímetros. Pode-se concluir que um receptor GNSS é capaz de realizar o monitoramento de uma barragem e que também é capaz de efetuar um monitoramento contínuo da mesma.

O trabalho realizado por Rocha (2017) teve por objetivo a detecção de deslocamento em barragens pelo posicionamento geodésico por GPS, foi realizado um

monitoramento durante quatro anos em uma usina hidrelétrica a partir de uma rede geodésica local inserida nas redondezas da barragem. A rede geodésica é composta por 48 Marcos de Superfície, 2 Referências de Nível Profunda e 3 estações geodésicas denominadas de Pilares, em que os Pilares e as Referências de Nível Profunda são bases consideradas fixas e os Marcos de Superfície são as bases que se encontram na barragem para verificação do deslocamento. Para realização do processamento dos dados GNSS foram considerados apenas dados da constelação GPS em que foram efetuadas no software Bernese v5.2. Para o processamento da rede geodésica foram utilizadas estações da RBMC e também a rede SIRGAS-COM como bases de referência. Também como parte do processamento foi realizado um teste de congruência utilizando o software TCGunesp. De acordo com Rocha (2017), ao realizar o teste de congruência para verificação dos valores obtidos para as bases de referência que são os Pilares, notou-se que no teste essas não poderiam ser usadas como referências. Assim haveria a necessidade de interromper a continuidade do processo, porém para fins de pesquisa deu-se continuidade. Ao final pode-se notar que os valores encontrados não satisfaziam o que era esperado, justamente por usarem bases de referência que não poderiam ser usadas como tal.

Maciel (2019) realizou uma pesquisa em obras viárias, mais precisamente em Obras de Artes Especiais (OAEs), envolvendo receptores de sinal GNSS, utilizando a técnica RTK e a tecnologia da telefonia celular adequada ao protocolo NTRIP (*Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*). O experimento foi realizado na Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP, dividido em duas campanhas distintas e utilizando uma rede de referência distinta em cada campanha. Foi utilizado o receptor SP80 (*Spectra Position*) e um dispositivo para simulação de deslocamentos. Foram realizadas observações com diferentes linhas de base para análise da acurácia das informações obtidas e, para identificação do comportamento da estrutura em tempo real, foi desenvolvido um *software* chamado de SiGE (Sistema de Gerenciamento Estrutural). Para a aplicação desse sistema notou-se que para uma grande distância entre o ponto monitorado e a linha de base não há uma boa acurácia. Ao finalizar o estudo, constatou-se que os dados obtidos por esta técnica apresentam boa acurácia devido a escala centimétrica/milimétrica na qual se encontraram os erros obtidos e que o monitoramento estrutural por meio da técnica RTK torna-se viável em diversas situações, como em OAEs, barragens e encostas com risco de desabamento. Concluiu-se que o SiGE é uma ferramenta eficaz no monitoramento em tempo real.

Araújo Neto (2017) tem como proposta utilizar o GPS (juntamente com o Método dos Resíduos de Fase e técnica de filtragem) não para substituir as ferramentas tradicionais de monitoramento de pontes, por exemplo, mas para adicionar mais uma no mercado para essa finalidade. Para isso, foi realizado um estudo na Ponte Jaguari, sobre o Rio Jaguari, e a construção e instalação de alguns acessórios geodésicos/topográficos para referência e suporte para as observações. Foram realizadas duas campanhas, sendo a primeira tida como experimental e parâmetro para a segunda, e utilizado o *software Justin JAVAD v.2107*. Na fase de monitoramento, a ponte em questão foi submetida a um tráfego de veículos pesados que passavam pela rodovia de diferentes categorias, sendo os dados GPS coletados pelo modo estático. No processamento dos dados foram utilizados satélites de referência baseados na sua elevação. Concluiu-se que os métodos mencionados são eficazes no monitoramento de deflexões milimétricas de pontes com um nível de confiança de 95%, desde que os receptores possuam dados em abundância.

O trabalho realizado por Silva et al (2015) teve como proposta o uso de receptores GNSS no monitoramento da UHE (Usina Hidrelétrica) Luiz Eduardo Magalhães. Tendo-se como objetivo principal a apresentação da metodologia empregada na implantação de Referências de Nível Profunda (RNP), pilares e alvos (marcos de superfície) utilizados no monitoramento das estruturas, assim como o uso do receptor GNSS para o mesmo. Foram utilizadas 7 antenas para a realização do trabalho, sendo 3 do modelo Zephyr Geodetic e 4 do modelo Zephyr Geodetic 2, com tecnologia para rastrear sinais de GPS, GLONASS e Galileo. As antenas foram conectadas em campo a receptores GNSS da marca Topcon, modelo Hiper GGD. O método de posicionamento adotado foi o relativo estático, em que se iniciou com o rastreamento dos pilares, realizado em 3 dias de coleta para cada um. Para os demais foram utilizados as 7 antenas, em que 2 delas ficaram nas RNP's e as outras 5 nos alvos, onde foi adotado o rastreamento com três passagens independentes de cada alvo, sendo assim cada alvo foi ocupado três vezes em dias e horários diferentes. Na primeira passagem ao menos uma das antenas foi mantida fixa enquanto as outras quatro se movimentavam de um alvo para o outro, trocando assim a antena fixa a cada sessão, já nas outras duas passagens todas as 5 antenas se movimentavam juntas a cada sessão. O tempo de rastreamento para os alvos fixos foram de 4 horas enquanto que os alvos que se movimentam rastreamento por 2 horas.

Para o processamento dos pilares e das RNP's no trabalho de Silva et al (2015), foram utilizadas estações da RBMC mais próximas, sendo elas, IMPZ, MTSF, TOGU e TOPL. Os alvos foram processados a partir das RNP's como definido na metodologia. Para

os pilares observou-se que os resíduos foram abaixo de 9,82 mm na componente altimétrica e 7 mm nas componentes planimétricas. Nas RNP's observou-se resíduo máximo de 4,54 mm na componente altimétrica e 2,87 mm nas componentes planimétricas. Para os alvos, nas componentes planimétricas observou-se resíduos inferiores a 5 mm na maioria dos pontos, com exceção de alguns pontos, tendo resíduo máximo de 9,48 mm, e na componente altimétrica os mesmos não passaram de 8,77 mm. Conclui-se que a média das discrepâncias são próximas de 0, o que indica um comportamento praticamente aleatório e caracteriza a presença mínima de efeitos sistemáticos. Além disso, os deslocamentos entre as componentes planimétricas também possuem desvio padrão pequeno, assim sendo, as diferenças planimétricas são muito próximas à acurácia das coordenadas, não podendo afirmar que há deslocamentos planimétricos na UHE.

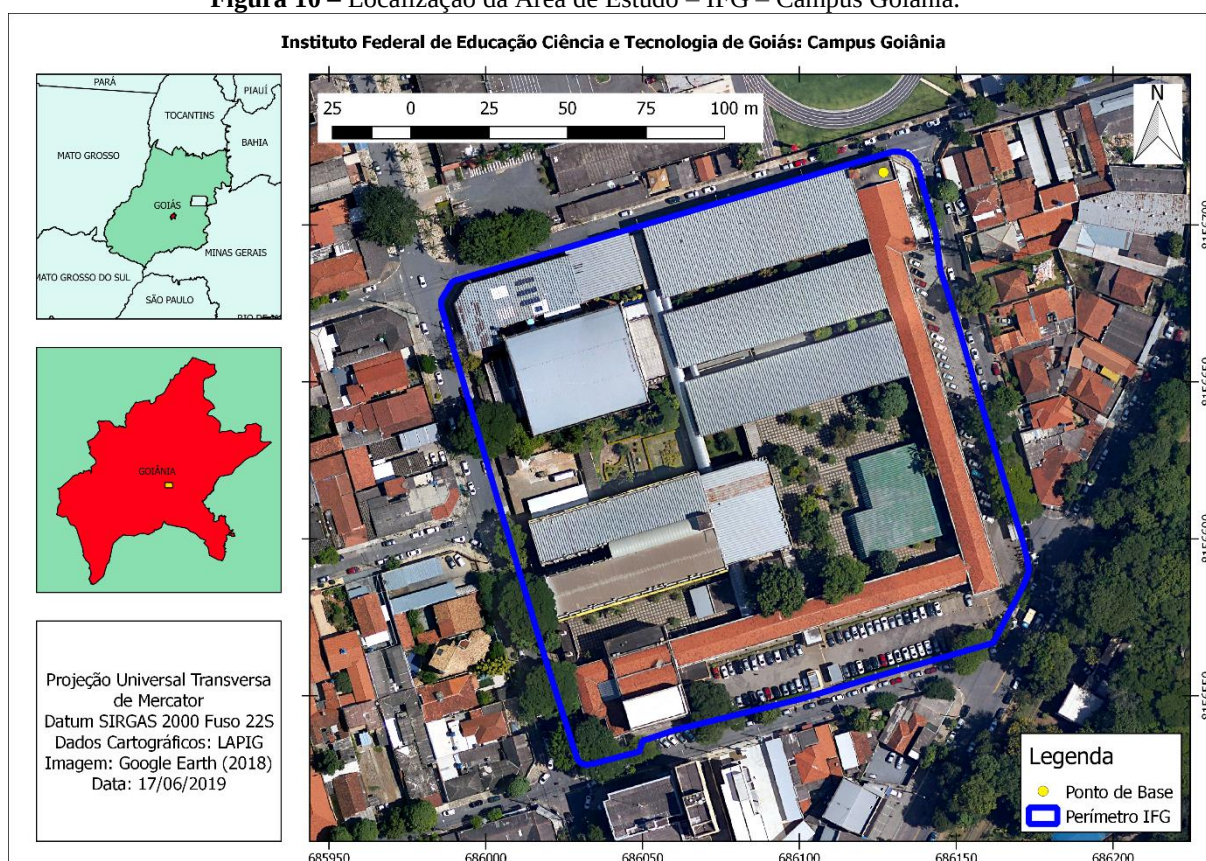
3. METODOLOGIA

Na metodologia são apresentadas a localização e a caracterização da área de estudo, bem como os materiais utilizados e os procedimentos metodológicos para a realização do trabalho.

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Todo o trabalho foi realizado numa base de centragem forçada situada nas dependências do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG), Campus Goiânia, conforme mostra a Figura 10 – Localização da Área de Estudo – IFG – Campus Goiânia.10.

Figura 10 – Localização da Área de Estudo – IFG – Campus Goiânia.



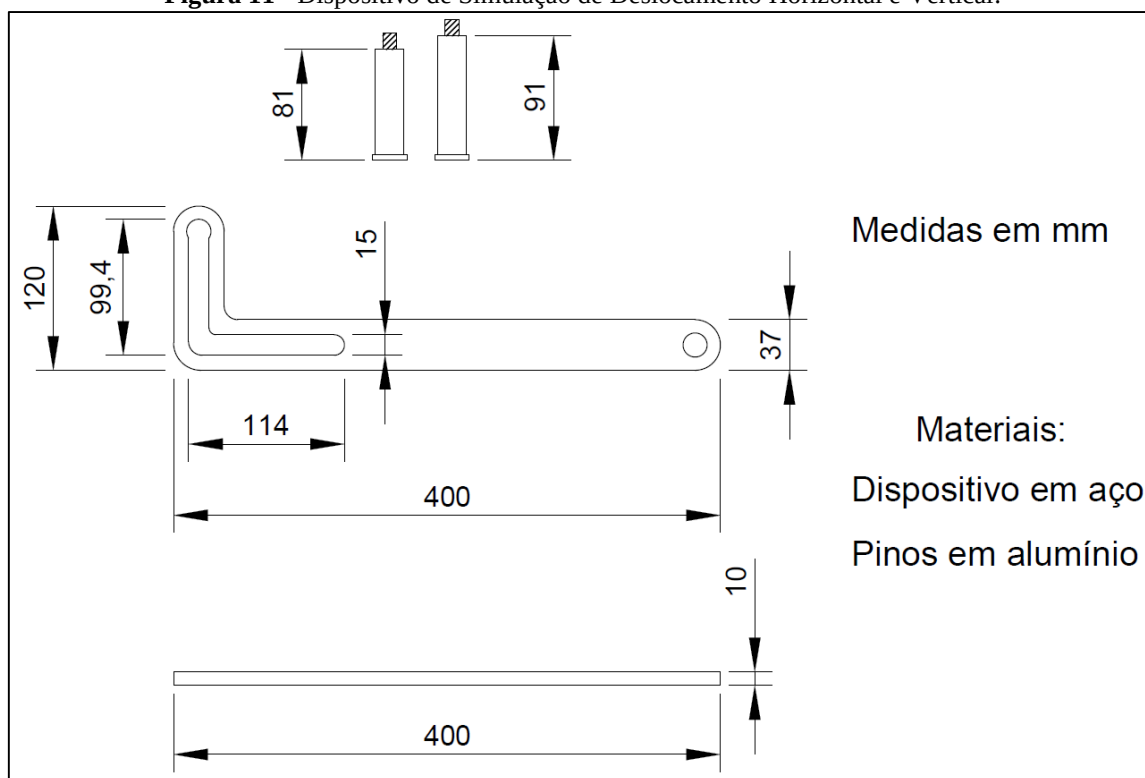
Fonte: Os Autores.

3.2 MATERIAIS

Para a realização desse estudo fez-se necessária a utilização dos seguintes materiais:

- Barra de deslocamento confeccionada para a realização deste trabalho. Ela é composta por uma rosca de centragem forçada, que permite o deslocamento do equipamento em dois sentidos horizontais e perpendiculares entre si e no sentido vertical, conforme mostram as Figuras 11 e 12;

Figura 11 - Dispositivo de Simulação de Deslocamento Horizontal e Vertical.



Fonte: Os Autores.

Figura 12 - Dispositivo de Simulação de Deslocamento Fixado na Base de Centragem Forçada.



Fonte: Os Autores.

- Paquímetro para a determinação das posições no dispositivo de deslocamento;
- Receptor GNSS Trimble R4 (Figura 13), com 220 canais para captura de sinais de satélites e precisão horizontal e vertical, no método estático rápido de 3,0 mm + 0,5 ppm e 5,0 mm + 0,5 ppm respectivamente, de acordo com a ficha técnica do mesmo;
- e,

Figura 13 – Receptor GNSS – Trimble R4.



Fonte: Os Autores.

- Receptor GNSS Topcon GR-3 (Figura 14), com 72 canais para captura de sinais de satélites e de precisão horizontal e vertical no método estático rápido de 3,0 mm + 0,5 ppm e 5,0 mm + 0,5 ppm respectivamente, de acordo com a ficha técnica do mesmo.

Figura 14 – Receptor GNSS – Topcon GR-3.



Fonte: Os Autores.

3.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos realizados para a execução do presente estudo foram subdivididos em duas etapas, sendo elas os procedimentos de coleta de dados e o processamento e análise das observações:

3.3.1 Procedimentos de Coleta de Dados

Inicialmente foi realizada a fixação do dispositivo de deslocamento na base de centragem forçada localizada no campus do IFG, utilizado com o objetivo de simular um deslocamento estrutural. Neste dispositivo foram fixados a base do receptor GNSS, que se manteve fixa, e o *rover* do receptor, o qual foi submetido a deslocamentos pré-determinados.

A coleta de dados foi realizada em quatro dias distribuídos em três semanas. Em cada um dos dias de coleta de dados, os rastreamentos foram realizados nos turnos matutino e vespertino, respectivamente. Esse procedimento foi realizado com o intuito de se obter uma variação de tempo entre os posicionamentos do mesmo modelo de receptor de sinal GNSS, utilizando, por turno, um único modelo. Sendo assim, cada receptor realizou a coleta de dados por dois dias, em semanas diferentes, nos turnos matutino e vespertino. Os cronogramas dos posicionamentos encontram-se nos Apêndices A e B.

Na coleta de dados foram utilizados dois modelos de receptores de sinal GNSS diferentes, sendo eles o receptor R4 (Trimble) e o receptor GR-3 (Topcon). Deve-se frisar que ambos os receptores rastreiam as constelações GPS e GLONASS. Além disso, os dados foram coletados com uma taxa de gravação de 1 segundo.

A utilização dos modelos de receptores diferentes, bem como o cronograma de coleta de dados, tiveram como objetivo a avaliação da precisão e da acurácia dos deslocamentos obtidos entre os receptores. O erro de centro de fase da antena não foi considerado devido ao alinhamento dos receptores no momento do posicionamento, reduzindo, assim, este erro.

Para cada deslocamento realizado, os dados foram coletados com uma ocupação de 20 minutos, em média. As observações foram compostas por dados obtidos por meio do deslocamento do receptor em três direções, sendo elas: as direções 1 e 2, horizontais e perpendiculares entre si, e em relação à direção vertical Z (da altitude).

Foram efetuados deslocamentos a partir de uma posição pré-determinada no dispositivo de deslocamento considerada posição 0 (zero) mm em cada direção horizontal (Figura 15). Os deslocamentos foram de 5 mm, 15 mm e 30 mm a partir dessa posição 0 (zero) mm em cada direção horizontal (1 e 2) e, para a direção vertical, um único deslocamento de 10 mm.

Figura 15 – Origem nas direções 1 e 2 do Dispositivo, Respectivamente.



Fonte: Os Autores.

3.3.2 Processamento e Análise das Observações

Os dados dos receptores de base foram processados pelo método PPP, efetuado no *site* do IBGE, seguido do processamento dos dados coletados pelo *rover*. O processamento destas observações, em relação à base, foi realizado no *software TopconTools v8.2.3*, resultando nas coordenadas corrigidas, bem como nos desvios padrões das observações. É importante citar que, para cada levantamento, foi realizado o processamento da base correspondente.

A seguir os resultados foram convertidos para o Sistema Universal Transverso de Mercator (UTM) e calculados os desvios padrão (σ) resultantes de cada posicionamento realizado pelos receptores utilizados nas posições: 0 (zero) mm, 5 mm, 15 mm e 30 mm nas direções 1 e 2, e para a direção vertical. Em todas as posições consideraram-se as coordenadas E, N e altitude.

Para se obter a precisão adequada no processamento das observações realizadas foram utilizadas as efemérides precisas finais. Ademais, as observações foram processadas com um intervalo de gravação de 1" (um segundo) determinada na configuração dos

dispositivos antes da realização dos posicionamentos, e uma máscara de elevação de 15 graus.

Os desvios padrão foram adotados como precisão pontual, e, a partir deles, foram calculadas as precisões planimétricas (PP) e altimétricas, bem como suas médias, sendo a PP calculada a partir da Equação (1).

$$PP = \sqrt{\sigma E^2 + \sigma N^2} \quad (1)$$

A análise dos resultados da tecnologia GNSS para monitoramento de estruturas foi realizada por comparação visual, em tabelas, entre os resultados obtidos nas posições e direções estabelecidas.

Tendo em vista a elevada quantidade de dados e para facilitar a avaliação dos resultados foram confeccionados gráficos do tipo alvo, por turno (matutino e vespertino) para cada dia de coleta e por equipamento, agregando todos os dados. Para tanto foi utilizado o *software AutoCAD 2019* (versão estudantil).

Ademais, os resultados foram analisados por subtração, utilizando o valor real dos deslocamentos em relação aos valores obtidos nos levantamentos, resultando num erro planimétrico/altimétrico. Estes foram organizados em tabelas.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados provenientes do processamento dos dados foram organizados nos Apêndices de C a F de acordo com o equipamento, dia e turno em que foram realizados os levantamentos. Os desvios padrão resultantes estão nas Tabelas de 1 a 8, bem como suas médias e precisões planimétricas.

A partir dos resultados, optou-se também pela utilização de gráficos para uma melhor visualização da distribuição espacial dos pontos a partir das coordenadas, bem como facilitar a análise dos dados. A realização dos gráficos se deu por meio do *software AutoCAD 2019* (versão estudantil), tomando como referencial a posição 0 mm de cada levantamento.

Foram adicionados os pontos a partir de suas coordenadas e, assim, desenhado três circunferências com raios de 5 mm, 15 mm e 30 mm a partir da posição 0 (zero) mm, tomada como referência.

É importante citar que a altitude a qual se referem as tabelas é a altitude geométrica, que tem como referencial o elipsoide. Ademais, ressalta-se que os desvios padrão ditos nas tabelas foram considerados como precisão pontual dos dados. Portanto, quanto maior o desvio padrão, menor a precisão. O contrário também é verdadeiro. Para obter a precisão planimétrica foi utilizada a Equação (1).

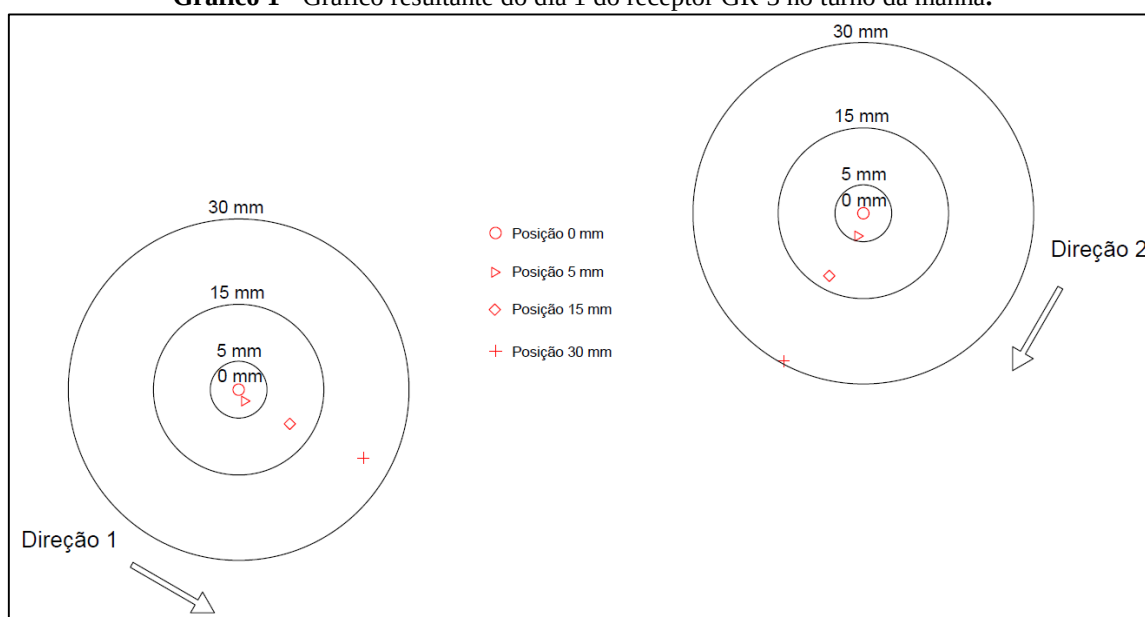
As Tabelas 1 a 8 e os Gráficos 1 a 8 ilustram os resultados pós processados comentados anteriormente.

Tabela 1 - Desvios Padrão e Precisão Planimétrica – GR-3 – Dia 1 Matutino.

Direção	Posição	Desv. Padrão E (mm)	Desv. Padrão N (mm)	Desv. Padrão Altitude (mm)	Precisão Planimétrica (mm)
1	0 mm	2,1	1,1	4,2	2,4
	5 mm	2,1	1,1	4,3	2,4
	15 mm	0,5	0,5	1,6	0,7
	30 mm	2,1	1,1	4,3	2,4
	Média	1,7	1,0	3,6	2,0
2	0 mm	2,0	1,1	4,2	2,3
	5 mm	2,0	1,1	4,2	2,3
	15 mm	2,0	1,1	4,1	2,3
	30 mm	2,0	1,1	4,2	2,3
	Média	2,0	1,1	4,2	2,3
Vertical	10 mm	2,1	1,1	4,4	2,4
Média Desv. Padrão Planimétrico					
1,5					
Média Desv. Padrão Altitude					
3,9					

Fonte: Os Autores.

Da Tabela 1, obtém-se que a média dos desvios padrão na planimetria é de 1,5 mm e na altimetria é de 3,9 mm.

Gráfico 1 - Gráfico resultante do dia 1 do receptor GR-3 no turno da manhã.

Fonte: Os Autores.

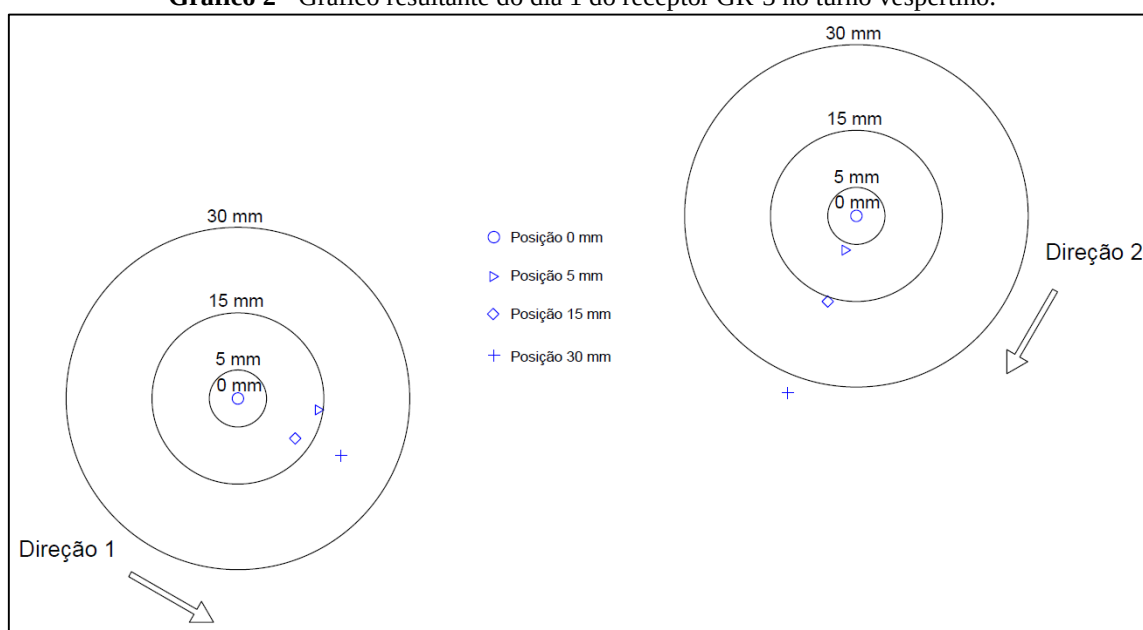
Analisando-se a Tabela 1 e o Gráfico 1, pode-se dizer que, no turno matutino do primeiro dia, o receptor GR-3 forneceu média de precisão planimétrica igual à 2,0 mm na direção 1, igual a 2,3 mm na direção 2 e, na direção vertical, igual a 2,4 mm. Sendo assim, a média total de precisão planimétrica (em todas as direções) obtida foi de 2,2 mm. Considerando que os desvios padrão da altitude representam sua precisão, obteve-se médias de precisão igual a 3,6 mm na direção 1, 4,2 mm na direção 2 e 4,4 mm na direção vertical, resultando numa média total (em todas as direções) de 3,9 mm para a precisão na componente altimétrica.

Tabela 2 – Desvios Padrão e Precisão Planimétrica – GR-3 – Dia 1 Vespertino.

Direção	Posição	Desv. Padrão E (mm)	Desv. Padrão N (mm)	Desv. Padrão Altitude (mm)	Precisão Planimétrica (mm)
1	0 mm	0,9	0,5	1,5	1,0
	5 mm	3,1	1,2	4,3	3,3
	15 mm	3,2	1,3	4,5	3,5
	30 mm	3,1	1,3	4,4	3,4
	Média	2,6	1,1	3,7	2,8
2	0 mm	3,1	1,1	4,4	3,3
	5 mm	3,0	1,1	4,3	3,2
	15 mm	3,0	1,1	4,4	3,2
	30 mm	3,1	1,1	4,5	3,3
	Média	3,1	1,1	4,4	3,2
Vertical	10 mm	3,1	1,2	5,1	3,3
Média Desv. Padrão Planimétrico					
2,0					
Média Desv. Padrão Altitude					
4,2					

Fonte: Os Autores

Da Tabela 2, obtém-se que a média dos desvios padrão na planimetria é de 2,0 mm e na altimetria é de 4,2 mm.

Gráfico 2 - Gráfico resultante do dia 1 do receptor GR-3 no turno vespertino.

Fonte: Os Autores.

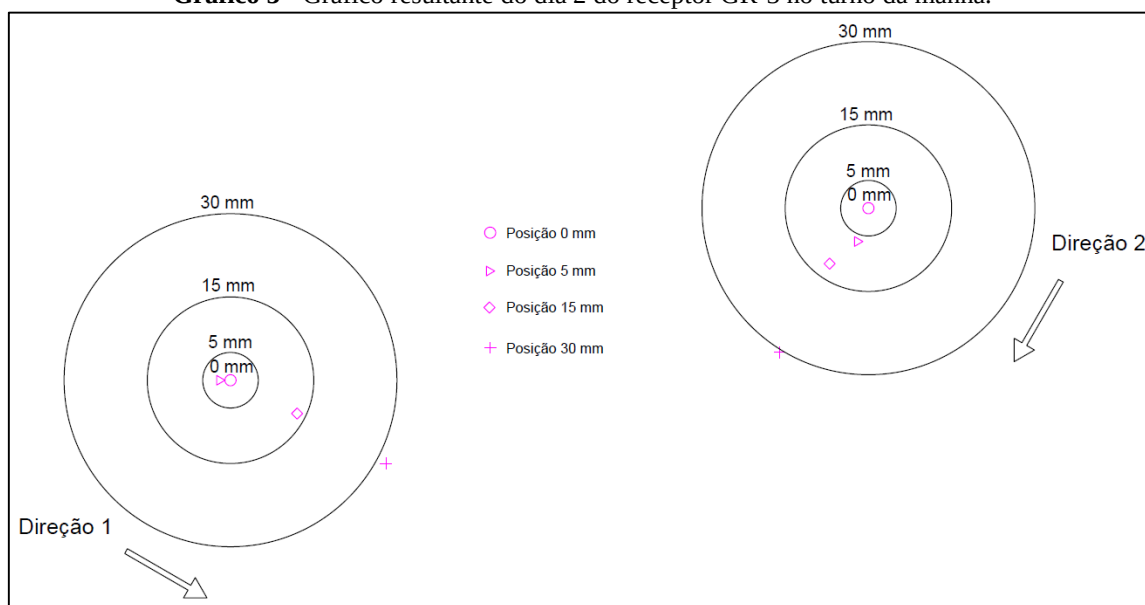
A partir da Tabela 2 e do Gráfico 2, pode-se dizer que o GR-3, no turno vespertino do primeiro dia, teve uma média de precisão planimétrica na direção 1 de 2,8 mm, na direção 2 de 3,2 mm e, na direção vertical, de 3,3 mm. Sendo assim, a média total de precisão planimétrica obtida foi de 3,1 mm (em todas as direções). Considerando que os desvios padrão da altitude representam sua precisão, obtiveram-se médias de precisão igual a 3,7 mm na direção 1, 4,4 mm na direção 2 e 5,1 mm na direção vertical. A precisão média total foi de 4,2 mm na altitude (em todas as direções).

Tabela 3 – Desvios Padrão e Precisão Planimétrica – GR-3 – Dia 2 Matutino.

Direção	Posição	Desv. Padrão E (mm)	Desv. Padrão N (mm)	Desv. Padrão Altitude (mm)	Precisão Planimétrica (mm)
1	0 mm	5,2	2,3	8,6	5,7
	5 mm	0,9	0,8	2,9	1,2
	15 mm	5,0	2,1	8,3	5,4
	30 mm	5,1	2,1	8,3	5,5
	Média	4,1	1,8	7,0	4,5
2	0 mm	5,0	2,1	8,1	5,4
	5 mm	5,0	2,1	8,2	5,4
	15 mm	5,1	2,2	8,8	5,6
	30 mm	5,1	2,3	8,4	5,6
	Média	5,1	2,2	8,4	5,5
Vertical	10 mm	5,1	2,2	8,3	5,6
Média Desv. Padrão Planimétrico					
3,3					
Média Desv. Padrão Altitude					
7,8					

Fonte: Os Autores.

Da Tabela 3, obtém-se que a média dos desvios padrão na planimetria é de 3,3 mm e na altimetria é de 7,8 mm.

Gráfico 3 - Gráfico resultante do dia 2 do receptor GR-3 no turno da manhã.

Fonte: Os Autores.

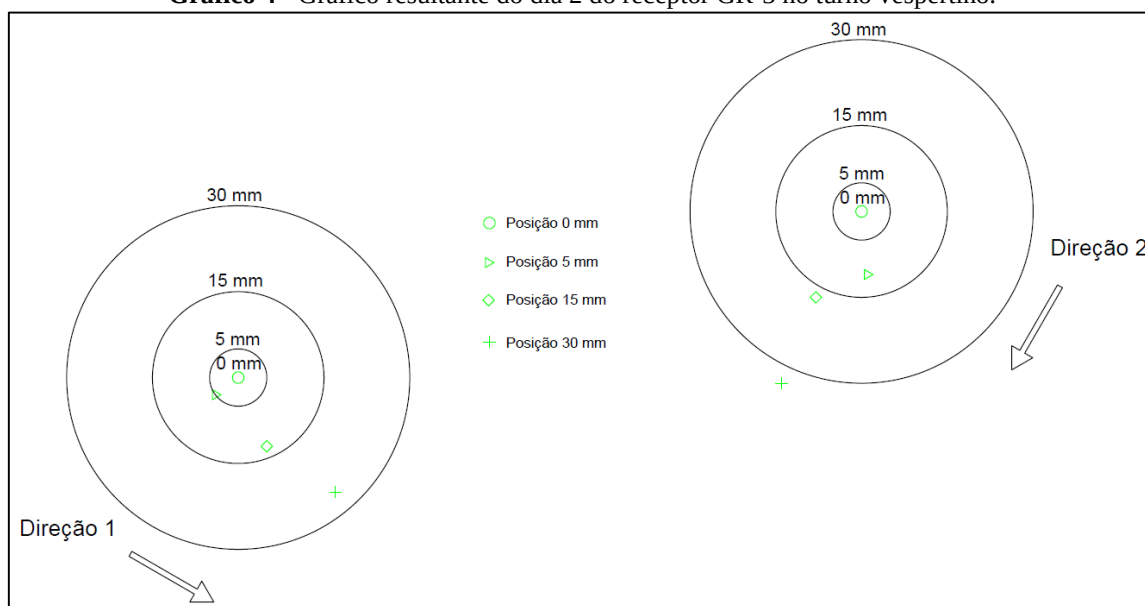
Nota-se na Tabela 3 e no Gráfico 3, no turno matutino do segundo dia, que o receptor GR-3 resultou numa média de precisão planimétrica de 4,5 mm na direção 1, de 5,5 mm na direção 2 e de 5,6 mm na direção vertical. Sendo assim, a média total (em todas as direções) de precisão planimétrica obtida foi de 5,0 mm. Considerando que os desvios padrão da altitude representam sua precisão, as médias de precisão foram iguais a 7,0 mm na direção 1, 8,4 mm na direção 2 e 8,3 mm na direção vertical, resultando na média total (em todas as direções) de 7,8 mm de precisão na componente altimétrica.

Tabela 4 – Desvios Padrão e Precisão Planimétrica – GR-3 – Dia 2 Vespertino.

Direção	Posição	Desv. Padrão E (mm)	Desv. Padrão N (mm)	Desv. Padrão Altitude (mm)	Precisão Planimétrica (mm)
1	0 mm	1,5	1,2	2,8	1,9
	5 mm	4,5	2,5	7,2	5,1
	15 mm	4,1	2,3	6,9	4,7
	30 mm	4,3	2,5	9,8	5,0
	Média	3,6	2,1	6,7	4,2
2	0 mm	4,5	2,4	22,5	5,1
	5 mm	4,1	2,1	7,7	4,6
	15 mm	4,1	2,1	6,7	4,6
	30 mm	4,1	2,2	7,2	4,7
	Média	4,2	2,2	11,0	4,7
Vertical	10 mm	4,4	3,1	9,9	5,4
Média Desv. Padrão Planimétrico					
3,1					
Média Desv. Padrão Altitude					
9,0					

Fonte: Os Autores.

Da Tabela 4, obtém-se que a média dos desvios padrão na planimetria é de 3,1 mm e na altimetria é de 9,0 mm.

Gráfico 4 - Gráfico resultante do dia 2 do receptor GR-3 no turno vespertino.

Fonte: Os Autores.

A partir da Tabela 4 e do Gráfico 4 pode-se dizer que o GR-3, no turno vespertino do segundo dia, teve uma média de precisão planimétrica na direção 1 de 4,2 mm, na direção 2 de 4,7 mm e, na direção vertical, de 5,4 mm. Sendo assim, a média total de precisão planimétrica obtida (em todas as direções) foi de 4,6 mm. Considerando que os desvios padrão da altitude representam sua precisão, obtiveram-se médias de precisão igual a 6,7 mm na direção 1, 11,0 mm na direção 2 e 9,9 mm na direção vertical. A precisão média total (em todas as direções) na componente altimétrica foi de 9,0 mm.

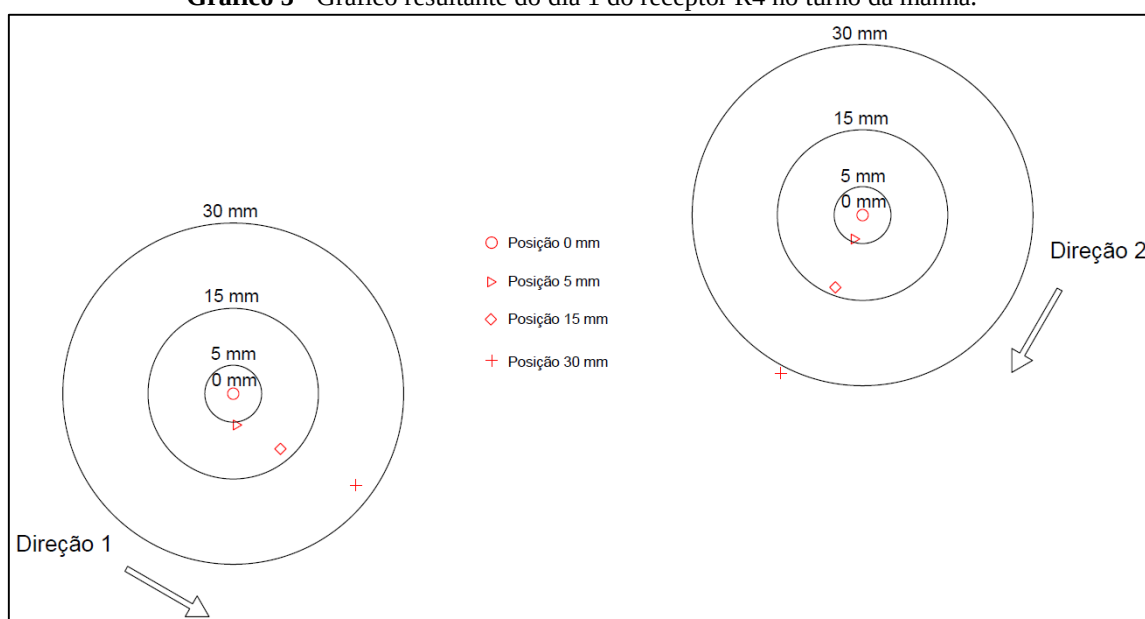
Neste momento, observa-se que há o pior valor do desvio padrão da altitude, na posição 0 (zero) mm da direção 2, que ultrapassou 2 cm, o que não havia ocorrido antes.

Tabela 5 – Desvios Padrão e Precisão Planimétrica – R4 – Dia 1 Matutino.

Direção	Posição	Desv. Padrão E (mm)	Desv. Padrão N (mm)	Desv. Padrão Altitude (mm)	Precisão Planimétrica (mm)
1	0 mm	2,0	1,1	4,1	2,3
	5 mm	2,0	1,1	4,2	2,3
	15 mm	2,0	1,1	4,2	2,3
	30 mm	2,0	1,1	4,2	2,3
	Média	2,0	1,1	4,2	2,3
2	0 mm	2,0	1,1	4,1	2,3
	5 mm	2,0	1,1	4,2	2,3
	15 mm	2,0	1,1	4,2	2,3
	30 mm	2,0	1,1	4,2	2,3
	Média	2	1,1	4,2	2,3
Vertical	10 mm	0,4	0,4	1,1	0,6
Média Desv. Padrão Planimétrico					
1,4					
Média Desv. Padrão Altitude					
3,8					

Fonte: Os Autores.

Da Tabela 5, obtém-se que a média dos desvios padrão na planimetria é de 1,4 mm e na altimetria é de 3,8 mm.

Gráfico 5 - Gráfico resultante do dia 1 do receptor R4 no turno da manhã.

Fonte: Os Autores.

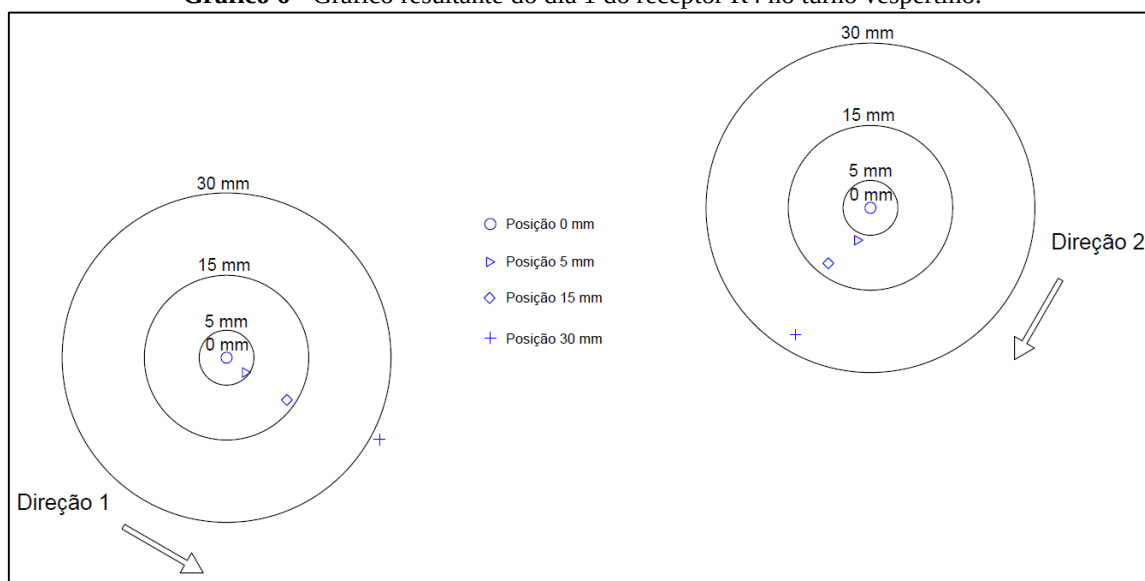
Analisando-se a Tabela 5 e o Gráfico 5, pode-se dizer que o R4, no turno matutino do primeiro dia, teve uma média de precisão planimétrica nas direções 1 e 2 iguais a 2,3 mm cada e, na direção vertical, de 0,6 mm. Sendo assim, a média total de precisão planimétrica obtida foi de 2,1 mm (em todas as direções). Considerando que os desvios padrão da altitude representam sua precisão, obtiveram-se médias de precisão iguais a 4,2 mm nas direções 1 e 2 e 1,1 mm na direção vertical, resultando na precisão média total de 3,8 mm na componente altimétrica (em todas as direções).

Tabela 6 – Desvios Padrão e Precisão Planimétrica – R4 – Dia 1 Vespertino.

Direção	Posição	Desv. Padrão E (mm)	Desv. Padrão N (mm)	Desv. Padrão Altitude (mm)	Precisão Planimétrica (mm)
1	0 mm	0,4	0,4	1,2	0,6
	5 mm	2,0	1,1	4,1	2,3
	15 mm	2,0	1,1	4,2	2,3
	30 mm	2,0	1,1	4,2	2,3
	Média	1,6	0,9	3,4	1,9
2	0 mm	2,1	1,1	4,2	2,4
	5 mm	2,1	1,1	4,2	2,4
	15 mm	2,1	1,1	4,1	2,4
	30 mm	2,0	1,1	4,1	2,3
	Média	2,1	1,1	4,2	2,3
Vertical	10 mm	2,0	1,1	4,1	2,3
Média Desv. Padrão Planimétrico					
1,4					
Média Desv. Padrão Altitude					
3,8					

Fonte: Os Autores.

Da Tabela 6, obtém-se que a média dos desvios padrão na planimetria é de 1,4 mm e na altimetria é de 3,8 mm, assim como a Tabela 5.

Gráfico 6 - Gráfico resultante do dia 1 do receptor R4 no turno vespertino.

Fonte: Os Autores.

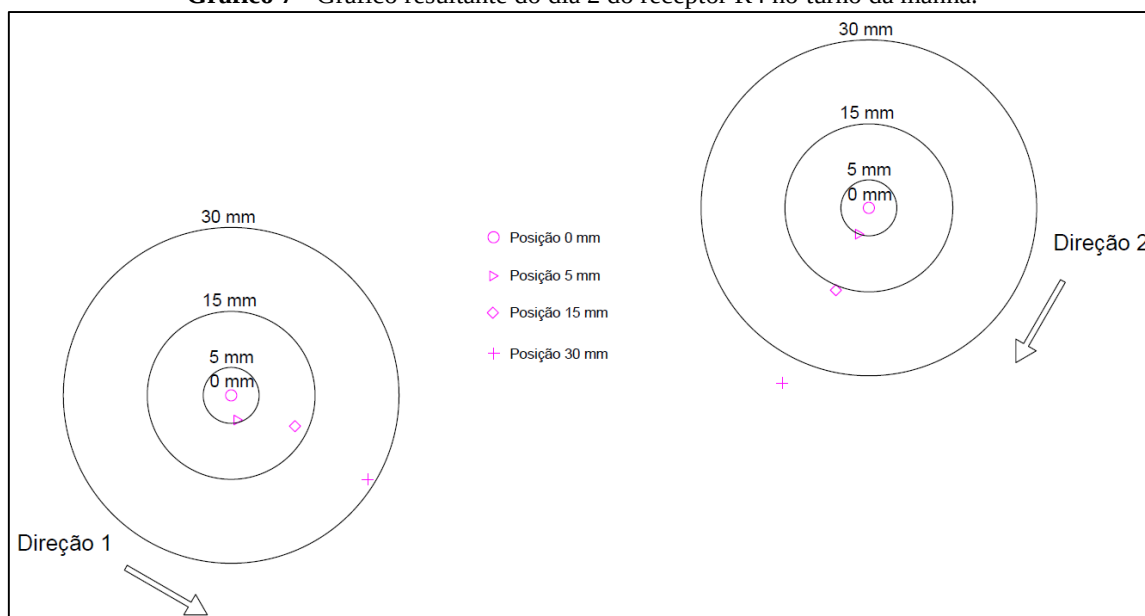
A partir da Tabela 6 e do Gráfico 6, pode-se dizer que o R4, no turno vespertino do primeiro dia, forneceu uma média de precisão planimétrica na direção 1 de 1,8 mm, na direção 2 de 2,4 mm e, na direção vertical, de 2,3 mm. Sendo assim, a média total (em todas as direções) de precisão planimétrica obtida foi de 2,1 mm, bem como na Tabela 5. Considerando que os desvios padrão da altitude representam sua precisão, obtiveram-se médias de precisão igual a 3,4 mm na direção 1, 4,2 mm na direção 2 e 4,1 mm na direção vertical. A precisão média total (em todas as direções) na componente altimétrica de 3,8 mm.

Tabela 7 – Desvios Padrão e Precisão Planimétrica – R4 – Dia 2 Matutino.

Direção	Posição	Desv. Padrão E (mm)	Desv. Padrão N (mm)	Desv. Padrão Altitude (mm)	Precisão Planimétrica (mm)
1	0 mm	2,0	1,1	5,1	2,3
	5 mm	2,0	1,1	5,2	2,3
	15 mm	2,0	1,1	5,1	2,3
	30 mm	2,0	1,1	5,1	2,3
	Média	2,0	1,1	5,1	2,3
2	0 mm	2,0	1,1	5,2	2,3
	5 mm	2,0	1,1	5,2	2,3
	15 mm	2,0	1,1	5,2	2,3
	30 mm	0,4	0,3	1,2	0,5
	Média	1,6	0,9	4,2	1,8
Vertical	10 mm	2,0	1,1	5,1	2
Média Desv. Padrão Planimétrico					
1,4					
Média Desv. Padrão Altitude					
4,7					

Fonte: Os Autores.

Da Tabela 7, obtém-se que a média dos desvios padrão na planimetria é de 1,4 mm e na altimetria é de 4,7 mm.

Gráfico 7 - Gráfico resultante do dia 2 do receptor R4 no turno da manhã.

Fonte: Os Autores.

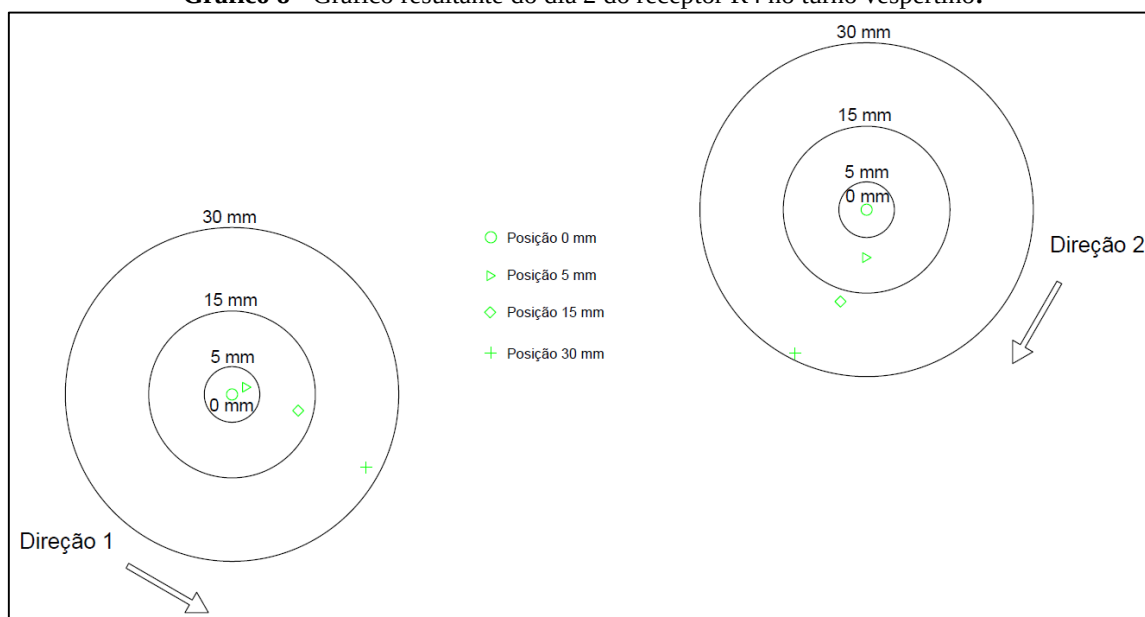
Analisando-se a Tabela 7 e o Gráfico 7, pode-se dizer que, no turno matutino do segundo dia, o receptor R4 forneceu uma média de precisão planimétrica na direção 1 de 2,3 mm, na direção 2 de 1,8 mm e, na direção vertical, de 2,0 mm. Sendo assim, a média total de precisão planimétrica (em todas as direções) obtida foi de 2,1 mm, bem como nas Tabelas 5 e 6. na componente altimétrica sua precisão, obtiveram-se médias de precisão iguais a 5,1 mm nas direções 1 e vertical e igual a 4,2 mm na direção 2, resultando na precisão média total de 4,7 mm na componente altimétrica (em todas as direções).

Tabela 8 – Desvios Padrão e Precisão Planimétrica – R4 – Dia 2 Vespertino.

Direção	Posição	Desv. Padrão E (mm)	Desv. Padrão N (mm)	Desv. Padrão Altitude (mm)	Precisão Planimétrica (mm)
1	0 mm	0,4	0,4	1,1	0,6
	5 mm	2,0	1,1	4,1	2,3
	15 mm	2,0	1,0	4,1	2,2
	30 mm	2,0	1,0	4,2	2,2
	Média	1,6	0,9	3,4	1,8
2	0 mm	2,0	1,1	4,2	2,3
	5 mm	2,1	1,1	4,2	2,4
	15 mm	2,1	1,1	4,2	2,4
	30 mm	2,1	1,1	4,1	2,4
	Média	2,1	1,1	4,2	2,3
Vertical	10 mm	2,0	1,1	4,1	2,3
Média Desv. Padrão Planimétrico					
1,4					
Média Desv. Padrão Altitude					
3,8					

Fonte: Os Autores

Da Tabela 8, obtém-se que a média dos desvios padrão na planimetria é de 1,4 mm e na altimetria é de 3,8 mm.

Gráfico 8 - Gráfico resultante do dia 2 do receptor R4 no turno vespertino.

Fonte: Os Autores.

Nota-se na Tabela 8 e no Gráfico 8 que, no turno vespertino do segundo dia, o receptor R4 forneceu uma média de precisão planimétrica na direção 1 de 1,8 mm, na direção 2 de 2,4 mm e, na direção vertical, de 2,3 mm. Sendo assim, a média total de precisão planimétrica obtida foi de 2,1 mm (em todas as direções), bem como nas Tabelas 5 a 7. Na componente altimétrica, obtiveram-se médias de precisão iguais a 3,4 mm na direção 1, 4,2 mm na direção 2 e 4,1 mm na direção vertical. A precisão média total (em todas as direções) foi de 3,8 mm na componente altimétrica.

De forma geral, a partir das Tabelas 1 a 8 de desvios padrão, pode-se concluir que os posicionamentos obtiveram precisão na casa dos milímetros, com exceção do receptor GR-3, no turno vespertino do segundo dia. Este apresentou o pior desvio padrão do levantamento de 2,25 cm na componente altimétrica, sendo um valor que destoa do restante das observações.

Para o receptor GR-3 a medida de pior precisão planimétrica foi a de 5,7 mm e, a de melhor, 0,7 mm. Como média total da precisão planimétrica para o receptor GR-3 obteve-se 3,7 mm, sendo o desvio padrão desta média calculada, de 1,5 mm. Em relação à altitude, a pior precisão, como já citado anteriormente, foi de 22,5 mm, enquanto que a melhor foi de 1,5 mm, sendo sua precisão média 6,2 mm para o receptor GR-3 e como desvio padrão desta média calculada, obteve-se 3,6 mm. Quando se trata dos desvios padrão em si dos dados planimétricos, na coordenada E os valores foram de 0,5 mm até 5,2

mm, tendo como média 3,3 mm. Na coordenada N, os valores de desvio padrão foram de 0,5 mm até 3,1 mm, sendo sua média de valores 1,6 mm.

Para os valores referentes ao receptor R4, observa-se como a pior precisão planimétrica, o valor de 2,4 mm, enquanto que a melhor foi de 0,5 mm, tendo como média total da precisão planimétrica para o receptor R4 de 2,1 mm e desvio padrão desta média calculada de 0,0 mm, ou seja, nos resultados gerais e finais referentes a cada levantamento não houve variação. Para a altitude, a pior precisão foi de 5,2 mm, enquanto que a melhor foi de 1,1 mm, sendo 4,0 mm seu valor de precisão média total, com desvio padrão da referida média calculada de 0,4 mm. Com relação aos desvios padrão das componente planimétricas, pode-se observar que os valores vão de 0,4 mm até 2,1 mm na coordenada E, apresentando como média 1,8 mm. Para a coordenada N, os desvios padrão vão de 0,3 mm até 1,1 mm, sendo sua média 1,0 mm.

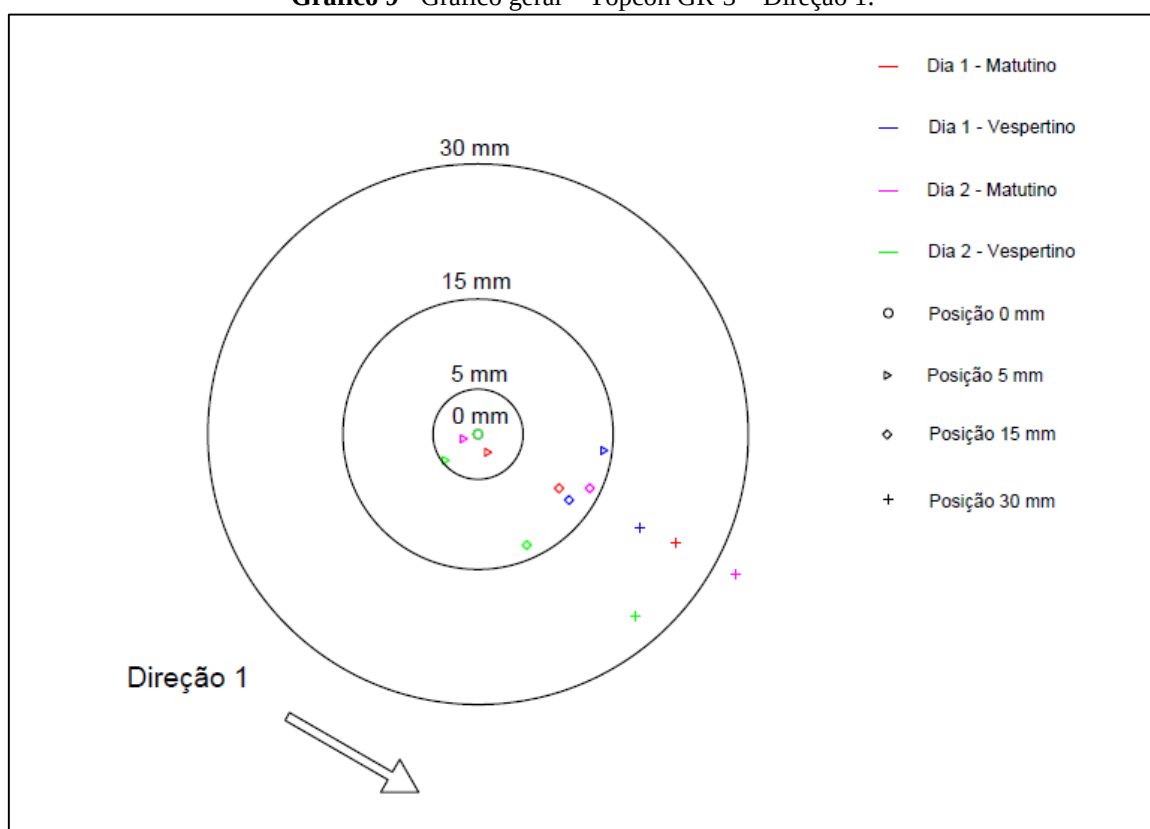
Notou-se que as precisões referentes as coordenadas N são maiores do que as das coordenadas E, embora não sejam diferenças tão abruptas. Ademais, pode-se afirmar que a precisão altimétrica do sistema de receptor de sinal GNSS é inferior às precisões horizontais (E e N).

Quanto as diferenças de turnos, referentes ao mesmo dia, notou-se uma média das precisões planimétricas no turno vespertino inferior as do turno matutino, do primeiro dia utilizando o GR-3. Porém, é válido ressaltar que no segundo dia esta informação não é verdadeira. Em relação ao R4, sua precisão planimétrica se manteve igual a 2,1 mm em todos os levantamentos. A partir destas informações, não pode ser feita a afirmação de que a diferença entre turnos influencia no resultado.

Assim como nas tabelas de desvio padrão, os gráficos mostram que os dados do receptor R4 apresentam uma distribuição espacial mais satisfatória e uma proximidade maior com o valor real do que os dados do receptor GR-3, aproximando-se mais dos valores considerados reais. Pode-se afirmar que os dados do R4 são mais acurados e precisos que do GR-3, por apresentarem melhor dispersão dos dados e maior proximidade com o parâmetro em questão.

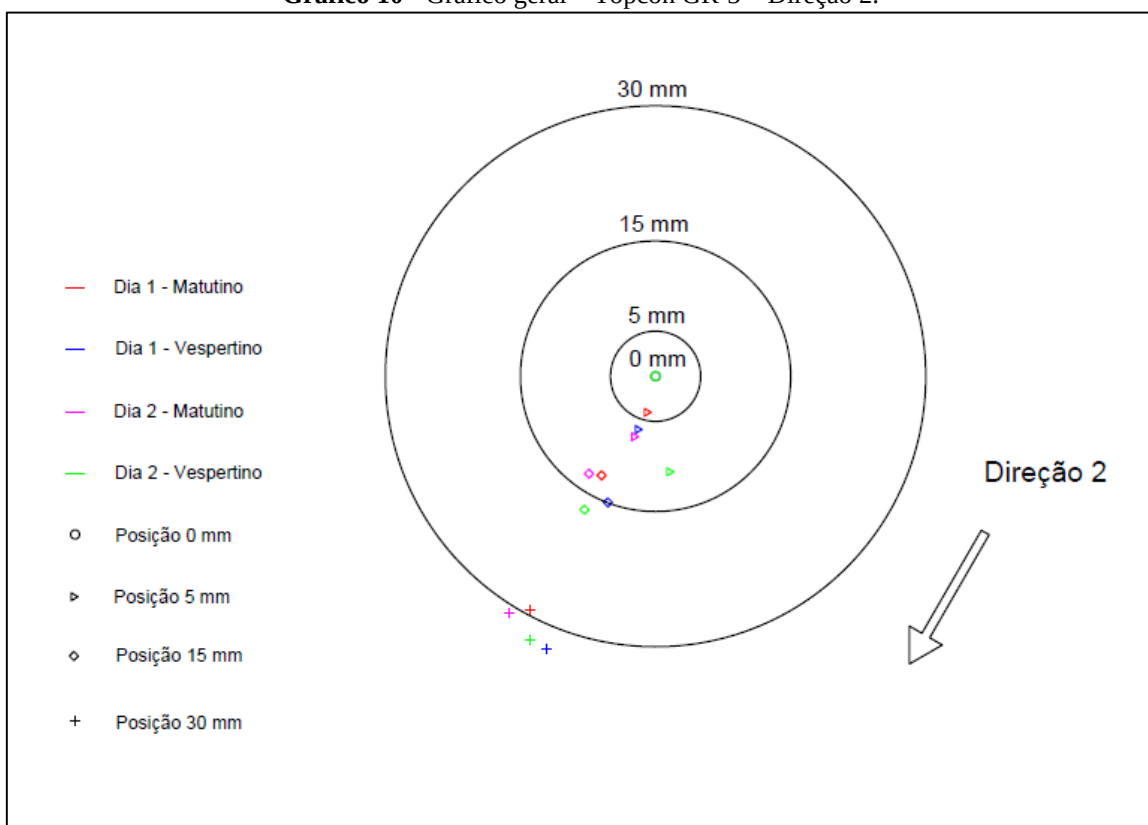
Avaliou-se numericamente cada receptor a partir da média de suas precisões planimétricas e concluiu-se, que o receptor R4 apresenta uma maior precisão em seus dados.

Para uma melhor avaliação dos receptores, foram confeccionados gráficos com os dados referentes a cada um, conforme os Gráficos 9 a 12. Utilizou-se o mesmo referencial: a posição 0 (zero) mm.

Gráfico 9 - Gráfico geral – Topcon GR-3 – Direção 1.

Fonte: Os Autores.

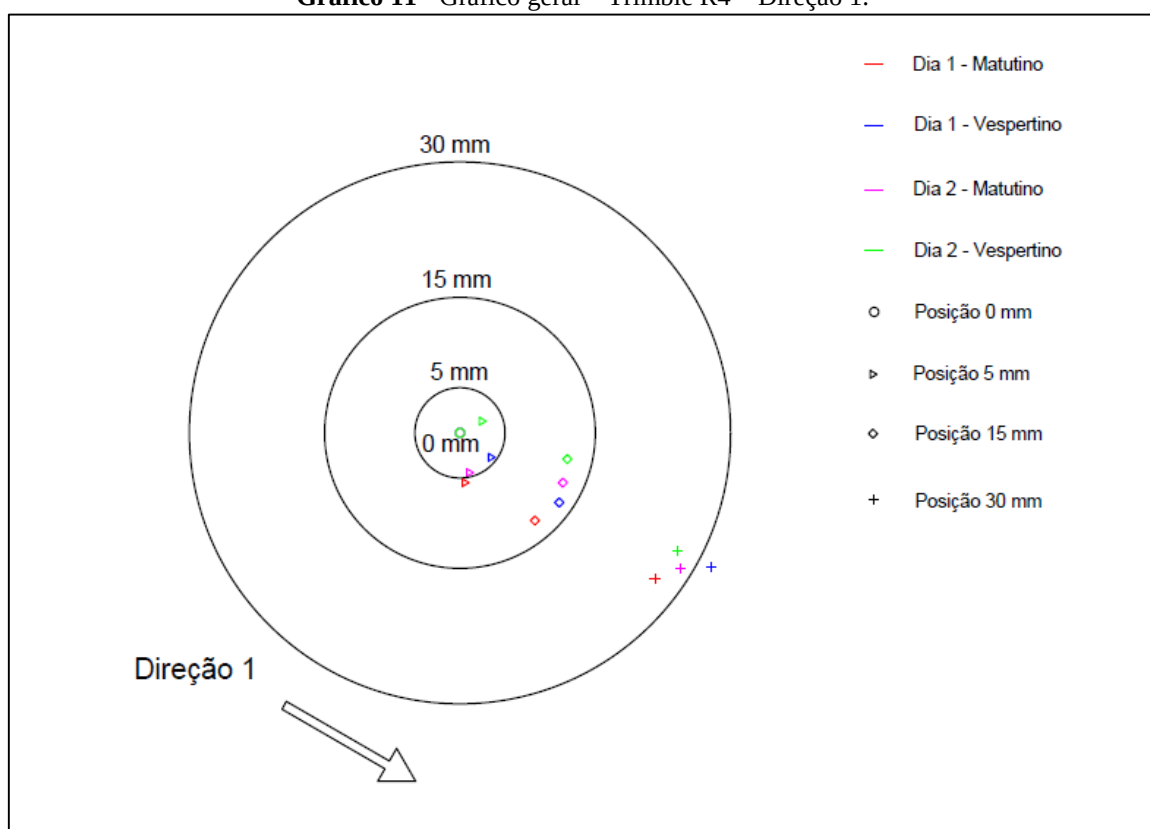
No Gráfico 9 há um exemplo de maior dispersão dos dados, referente a posição 5 mm do Dia 1 - Vespertino, no gráfico referente à direção 1, que se encontra quase que alinhada ao raio da posição 15 mm.

Gráfico 10 - Gráfico geral – Topcon GR-3 – Direção 2.

Fonte: Os Autores.

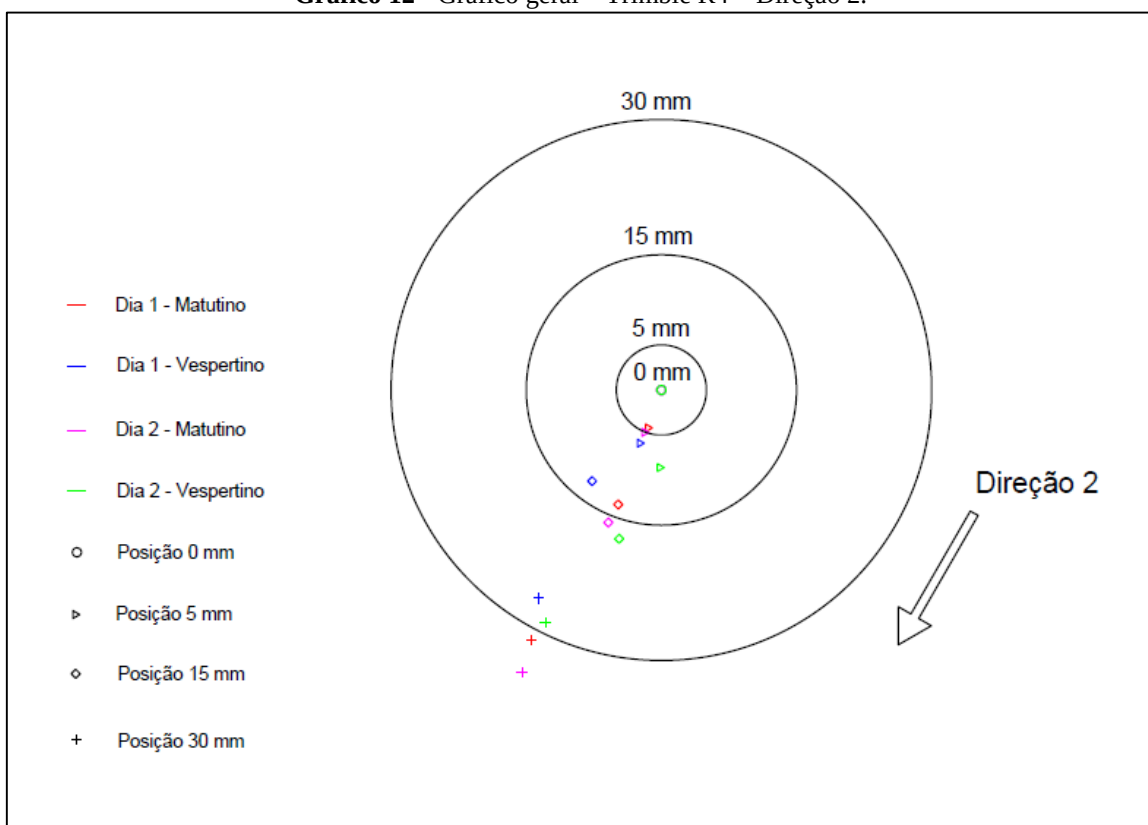
Conforme os Gráficos 9 e 10, as posições rastreadas pelo receptor GR-3 apresentam uma certa dispersão dos seus dados. No gráfico da direção 2, há um outro destaque referente à posição 5 mm do Dia 2 – Vespertino, em que, ao invés de estar localizado próximo aos outros pontos da posição de 5 mm, ele se distancia do segmento que os pontos das outras posições se encontram.

Destaca-se a distribuição dos pontos na direção 2 melhor do que na direção 1, sendo estes dados mais consistentes e em um local mais próximo ao seu parâmetro. Implica-se, então, que na direção 2 obteve-se melhor precisão e acurácia do que na direção 1.

Gráfico 11 - Gráfico geral – Trimble R4 – Direção 1.

Fonte: Os Autores.

Bem como o Gráfico 9, o Gráfico 11 também apresenta um exemplo de maior dispersão referente a um único dado, visto que os outros encontram-se bastante constantes. Esse exemplo é a posição 5 mm do turno vespertino, em que encontra-se entre as linhas de referência das posições 0 mm e 5 mm.

Gráfico 12 - Gráfico geral – Trimble R4 – Direção 2.

Fonte: Os Autores.

Analisando-se os Gráficos 11 e 12, os rastreios realizados pelo receptor R4 apresentam uma melhor dispersão dos seus dados quando comparado com os gráficos do receptor GR-3. Os pontos do R4 amostrados nos gráficos, demonstram uma disposição espacial mais consistente, tendo seus dados próximos uns aos outros, de mesma posição, e se aproximando dos parâmetros de cada posição. Com relação às direções distintas, não se pode analisar uma diferença significativa de resultado, sendo o receptor R4 constante nas duas direções.

Novamente pode-se observar a melhor distribuição espacial dos dados do receptor Trimble R4 em relação aos dados do receptor Topcon GR-3, apresentando maior continuidade em seus dados, principalmente nos períodos matutinos de seus dois dias de levantamento. Este mostra-se mais acurado e preciso do que o receptor GR-3.

Outro fato importante a se destacar é o de que o valor de altitude dos dados, em geral, para a direção vertical não se demonstram maiores do que nas outras direções, sendo que, na maioria dos casos, tem valor inferior. Porém, na realidade, deveriam apresentar sempre valores maiores por terem sido obtidos com 10 mm a mais na altitude. Essas coordenadas podem ser observadas nas Tabelas 9 e 10.

Tabela 9 – Altitude GR-3.

TOPCON GR-3					
Direção	Posição	Dia 1 Matutino	Dia 1 Vespertino	Dia 2 Matutino	Dia 2 Vespertino
1	0 mm	734,0027	733,9817	734,0110	734,0053
	5 mm	734,0130	733,9907	733,9904	733,9996
	15 mm	734,0033	733,9753	734,0038	734,0229
	30 mm	734,0047	733,9797	733,9958	734,0151
2	0 mm	734,0060	733,9853	734,0074	734,0094
	5 mm	734,0049	733,9838	734,0110	733,9789
	15 mm	734,0126	734,0043	733,9909	733,9996
	30 mm	734,0140	733,9777	734,0167	734,0132
Vertical	10 mm	733,9938	733,9714	734,0014	734,0185

Fonte: Os Autores.

Tabela 10 – Altitude R4.

TRIMBLE R4					
Direção	Posição	Dia 1 Matutino	Dia 1 Vespertino	Dia 2 Matutino	Dia 2 Vespertino
1	0 mm	734,0327	734,0196	734,0423	734,0441
	5 mm	734,0318	734,0205	734,0377	734,0373
	15 mm	734,0349	734,0165	734,0370	734,0426
	30 mm	734,0364	734,0278	734,0312	734,0258
2	0 mm	734,0368	734,0283	734,0490	734,0411
	5 mm	734,0413	734,0273	734,0585	734,0381
	15 mm	734,0408	734,0308	734,0353	734,0374
	30 mm	734,0231	734,0332	734,0401	734,0418
Vertical	10 mm	734,0292	734,0320	734,0401	734,0457

Fonte: Os Autores.

A partir das coordenadas resultantes do processamento, gerou-se também um quadro de distâncias, em que se pode observar a diferença da distância real e a distância medida em campo. A distância real são as medidas de deslocamentos impostas ao receptor, sendo assim a medida verdadeira, em que, teoricamente, o resultado da coleta seria igual. A distância medida em campo é o valor que foi obtido na prática, o que foi coletado nos posicionamentos realizados. O erro planimétrico / altimétrico é o resultado da distância real

menos a distância medida, sendo o erro altimétrico somente para a direção vertical, nas posições Z0 – Z10. Pode-se observar melhor nas Tabelas 11 a 14.

Tabela 11 - Erro Planimétrico – GR-3 - Dia 1.

		Matutino			Vespertino		
Posições (mm)		Distância Real (mm)	Distância Obtida (mm)	Erro Planimétrico /Altimétrico (mm)	Distância Real (mm)	Distância Obtida (mm)	Erro Planimétrico /Altimétrico (mm)
Direção 1	0 - 5	5	1,3	3,7	5	14,0	-9,0
	0 - 15	15	10,5	4,5	15	12,5	2,5
	0 - 30	30	24,7	5,3	30	20,8	9,2
	5 - 15	10	9,5	0,5	10	6,7	3,3
	5 - 30	25	23,7	1,3	25	9,5	15,5
	15 - 30	15	14,2	0,8	15	8,5	6,5
Direção 2	0 - 5	5	4,9	0,1	5	6,3	-1,3
	0 - 15	15	12,9	2,1	15	15,0	0,0
	0 - 30	30	30,0	0,0	30	32,6	-2,6
	5 - 15	10	8,3	1,7	10	8,7	1,3
	5 - 30	25	25,4	-0,4	25	26,4	-1,4
	15 - 30	15	17,1	-2,1	15	17,6	-2,6
Vertical	0	0	1,0	-1,0	0	4,4	-4,4
	Z0 - Z10	10	-8,9	18,9	10	-10,3	20,3

Fonte: Os Autores.

Pode-se observar na Tabela 11 que a maior diferença da distância real para a obtida nas medidas planimétricas, em módulo, foi 15,5 mm, enquanto que a menor diferença foi 0,0 mm. Destaca-se o fato de que, na altitude, a diferença entre as distâncias aproximaram-se de 2 cm.

Tabela 12 - Erro Planimétrico - GR-3 - Dia 2.

		Matutino			Vespertino		
Posições (mm)		Distância Real (mm)	Distância Obtida (mm)	Erro Planimétrico /Altimétrico (mm)	Distância Real (mm)	Distância Obtida (mm)	Erro Planimétrico /Altimétrico (mm)
Direção 1	0 - 5	5	1,8	3,2	5	4,7	0,3
	0 - 15	15	13,7	1,3	15	13,4	1,6
	0 - 30	30	32,5	-2,5	30	26,6	3,4
	5 - 15	10	15,1	-5,1	10	13,1	-3,1
	5 - 30	25	33,8	-8,8	25	27,3	-2,3
	15 - 30	15	18,8	-3,8	15	14,4	0,6
Direção 2	0 - 5	5	7,1	-2,1	5	10,8	-5,8
	0 - 15	15	13,1	1,9	15	16,7	-1,7
	0 - 30	30	30,9	-0,9	30	32,4	-2,4
	5 - 15	10	6,5	3,5	10	10,2	-0,2
	5 - 30	25	24,0	1,0	25	24,1	0,9
	15 - 30	15	17,8	-2,8	15	15,6	-0,6
Vertical							
	0	0	1,5	-1,5	0	6,7	-6,7
	Z0 - Z10	10	-9,7	19,7	10	13,3	-3,3

Fonte: Os Autores.

A partir da Tabela 12, observa-se que a maior diferença da distância real para a obtida nas medidas planimétricas, em módulo, foi 8,8 mm, enquanto que a menor diferença foi 0,2 mm. Na altitude, a diferença entre as distâncias foram 19,7 mm e 3,3 mm nos turnos matutino e vespertino respectivamente.

Neste momento, é importante ressaltar que a diferença entre dias de levantamento alteraram as distâncias, visto que no segundo dia, em sua maioria, as diferenças entre elas aumentaram. Em relação aos turnos, no primeiro dia, grande parte das diferenças encontram-se maiores no período da tarde do que no da manhã.

Tabela 13 - Erro Planimétrico - R4 - Dia 1.

		Matutino			Vespertino		
Posições (mm)		Distância Real (mm)	Distância Obtida (mm)	Erro Planimétrico /Altimétrico (mm)	Distância Real (mm)	Distância Obtida (mm)	Erro Planimétrico /Altimétrico (mm)
Direção 1	0 - 5	5	5,5	-0,5	5	4,3	0,7
	0 - 15	15	12,7	2,3	15	13,4	1,6
	0 - 30	30	26,9	3,1	30	31,6	-1,6
	5 - 15	10	8,8	1,2	10	9,1	0,9
	5 - 30	25	23,6	1,4	25	27,4	-2,4
	15 - 30	15	14,7	0,3	15	18,4	-3,4
Direção 2	0 - 5	5	4,5	0,5	5	6,3	-1,3
	0 - 15	15	14,7	0,3	15	12,6	2,4
	0 - 30	30	31,3	-1,3	30	26,8	3,2
	5 - 15	10	9,1	0,9	10	6,8	3,2
	5 - 30	25	26,9	-1,9	25	20,6	4,4
	15 - 30	15	17,9	-2,9	15	14,3	0,7
Vertical	0	0	4,4	-4,4	0	2,4	-2,4
	Z0 - Z10	10	-3,5	13,5	10	12,4	-2,4

Fonte: Os Autores.

Na Tabela 13, observa-se que a maior diferença da distância real para a obtida nas medidas planimétricas, em módulo, foi 4,4 mm, enquanto que a menor diferença foi 0,3 mm. Na altitude, a diferença entre as distâncias foram 13,5 mm e 2,4 mm nos turnos matutino e vespertino respectivamente.

Tabela 14 – Erro Planimétrico - R4 - Dia 2.

		Matutino			Vespertino		
Posições (mm)		Distância Real (mm)	Distância Obtida (mm)	Erro Planimétrico /Altimétrico (mm)	Distância Real (mm)	Distância Obtida (mm)	Erro Planimétrico /Altimétrico (mm)
Direção 1	0 - 5	5	4,5	0,5	5	2,8	2,2
	0 - 15	15	12,6	2,4	15	12,3	2,7
	0 - 30	30	28,6	1,4	30	27,5	2,5
	5 - 15	10	10,4	-0,4	10	10,4	-0,4
	5 - 30	25	25,7	-0,7	25	26,1	-1,1
	15 - 30	15	16,1	-1,1	15	15,9	-0,9
Direção 2	0 - 5	5	5,1	-0,1	5	8,6	-3,6
	0 - 15	15	15,8	-0,8	15	17,2	-2,2
	0 - 30	30	35,0	-5,0	30	28,9	1,1
	5 - 15	10	10,7	-0,7	10	9,1	0,9
	5 - 30	25	29,9	-4,9	25	21,4	3,6
	15 - 30	15	19,3	-4,3	15	12,4	2,6
Vertical	0	0	0,4	-0,4	0	4,7	-4,7
	Z0 - Z10	10	-2,2	12,2	10	1,6	8,4

Fonte: Os Autores.

Nota-se na Tabela 14 que a maior diferença da distância real para a obtida nas medidas planimétricas, em módulo, foi 5,0 mm, enquanto que a menor diferença foi 0,1 mm. Na altitude, a diferença entre as distâncias foram 12,2 mm e 8,4 mm nos turnos matutino e vespertino respectivamente.

Com as informações obtidas nas tabelas, calculou-se a média global do erro planimétrico, em que engloba todas as leituras, de todos os dias e dos dois receptores, tendo como resultado uma média de 2,4 mm com desvio padrão de 2,3 mm.

Estas tabelas são de grande importância pois demonstram os deslocamentos ocorridos de um ponto à outro, sem ter um ponto de referência único. Representam os deslocamentos relativos de uma posição à outra.

Após todas as análises e observações das tabelas e dos gráficos apresentados, concluiu-se que o receptor Trimble R4 mostrou-se mais preciso e acurado em relação ao receptor Topcon GR-3, apresentando melhor dispersão dos pontos visto nos gráficos, dados mais consistentes e mais próximos do valor real.

As mudanças em horários das coletas de dados mostram uma certa diferença nos resultados, principalmente do GR-3, porém não significativas, assim como a coleta em duas direções perpendiculares. A análise entre diferentes dias, quanto ao GR-3, constatou-se uma variação que não seguiu um padrão, enquanto que no R4, constatou-se uma continuidade nas observações, sem variações perceptíveis.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi desenvolvido um dispositivo para simular um deslocamento estrutural no qual foram fixados a base e o *rover* de 2 modelos de receptores de sinal GNSS diferentes. Foram realizados posicionamentos no método estático rápido, e, a partir do processamento dos dados, obtenção dos resultados e a análise dos mesmos, foram considerados os seguintes pontos:

- Considerou-se os dois equipamentos utilizados acurados, visto que os dois apresentam dispersões milimétricas, unidade de medida utilizada como referência neste trabalho a fim de qualificar a acurácia. No entanto, a partir de uma comparação apenas entre os dois receptores, o GR-3 é considerado menos acurado do que o R4, devido uma maior descontinuidade de seus dados quando comparados aos dados do outro receptor;
- Ao analisar os resultados planimétricos, observa-se que a precisão média fornecida pelo receptor R4 (2,1 mm) foi superior à precisão fornecida pelo receptor GR-3 (3,7 mm).
- É válido ressaltar que o receptor R4, de precisão média altimétrica obtida de 4,0 mm, apresenta melhores resultados quanto à altitude do que o receptor GR-3, o qual obteve 6,2 mm;
- Ao analisar a precisão dos resultados da altitude fornecidos pelos posicionamentos, pode-se constatar que os mesmos foram sempre inferiores quando comparados aos resultados planimétricos.
- Destaca-se também o fato de que as coordenadas, em ambos os receptores, apresentaram uma melhor precisão nas componentes da direção Norte, quando comparadas com a direção Este;
- O desvio padrão da média da precisão planimétrica apresentado pelo receptor R4 é igual a 0,0 mm e para o receptor GR-3 esse desvio padrão é igual a 1,5 mm. Visto isso, o GR-3 apresentou uma variação nas precisões dos posicionamentos, quando comparados os diferentes períodos deste, superior à do R4;
- Em todas as análises o R4 foi considerado melhor do que o GR-3. Uma justificativa que pode ser considerada é o fato de o R4 possuir uma maior quantidade de canais para o rastreamento dos sinais de satélites, sendo 220 canais, enquanto que o GR-3 possui apenas 72 canais.

A partir dos resultados obtidos neste trabalho, concluiu-se que a tecnologia GNSS pode ser utilizada no monitoramento de deslocamentos e/ou deformações estruturais, especialmente no plano horizontal, visto que apresentou um erro planimétrico médio global de 2,4 mm com desvio padrão de 2,3 mm, estando sujeito à avaliação das exigências estabelecidas para cada tipo de estrutura.

5.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

A partir das considerações finais, algumas sugestões de trabalhos futuros podem ser apresentadas, de modo a ampliar a abrangência e profundidade da pesquisa, ou ainda esclarecer dúvidas surgidas no desenvolvimento desse trabalho:

- Seja realizado o monitoramento em tempo real de uma estrutura, visto que esta não tem hora marcada para se deslocar ou deformar. É importante não considerar apenas uma medida e sim uma série, pois, como visto, há medidas isoladas que se destoam das outras aleatoriamente;
- Realização do estudo com a tecnologia GNSS em um maior intervalo de tempo, objetivando a realização de uma quantidade maior de posicionamentos;
- A avaliação de posicionamentos cinemáticos utilizando diferentes modelos de receptores GNSS;
- Um estudo sobre monitoramento de estrutura utilizando receptores de sinal GNSS que faça o rastreo de um número maior de constelações – Galileo e Beidou, por exemplo.

6. REFERÊNCIAS

- CALDEIRA, M. C. O. *Análise do Impacto do Efeito Ionosférico e Cintilação Ionosférica no Posicionamento Baseado em Redes e Por Ponto*. 122f. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual Paulista, Campus de Presidente Prudente, SP, 2016.
- COZZENS, T. *China Plans to Complete BeiDou-3 by 2020*. Cleveland, OH, 2019. Disponível em: <https://www.gpsworld.com/china-plans-to-complete-beidou-3-by-2020/>. Acesso em 12 Jun. 2019.
- CHYZANOWSKI, A., CHEN, Y. Q., ROMERO, P., SECORD, J. M.. *Integration of Geodetic and Geotechnical Deformation Surveys in the Geosciences*. 1986. Departamento de Engenharia de Agrimensura, Universidade de New Brunswick, Canada.
- FIÚZA, P. *Tragédia de Brumadinho Completa 4 Meses e Maior Operação de Resgate do Brasil Segue Ininterrupta*. Belo Horizonte, MG, 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2019/05/25/tragedia-de-brumadinho-completa-4-meses-e-maior-operacao-de-resgate-do-brasil-segue-ininterrupta.ghtml>. Acesso em 13 Jun. 2019.
- FREIBERGER JUNIOR, J. *Análise da Degradação do Posicionamento em Tempo Real com o Emprego do GNRT*. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2002.
- G1. *Há 3 Anos, Rompimento de Barragem de Mariana Causou Maior Desastre Ambiental do País e Matou 19 Pessoas*. São Paulo, SP, 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2019/01/25/ha-3-anos-rompimento-de-barragem-de-mariana-causou-maior-desastre-ambiental-do-pais-e-matou-19-pessoas.ghtml>. Acesso em 13 Jun. 2019.
- GLONASS-IAC. *Beidou Constellation Status*. 2019. Disponível em: <https://www.glonass-iac.ru/en/BEIDOU/index.php>. Acesso em 26 Nov. 2019.
- GSC-EUROPA. *Constellation Information*. 2019. Disponível em: <https://www.gsc-europa.eu/system-service-status/constellation-information>. Acesso em 26 Nov. 2019.
- HUINCA, S. C. M.; KRUEGER, C. P. “*Determinação de Parâmetros de Calibração de Antenas GNSS na BCAL/UFPR*”, III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Jul. 2010, Recife, PE, Brasil.
- LAGO, I. F.; FERREIRA, L. D. D.; KRUEGER, C. P. “*GPS e GLONASS: Aspectos Teóricos e Aplicações Práticas*.” Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos, Curitiba, v. 8, no 2, p.37-53, 2002.
- LEANDRO, D. *Investigação do Posicionamento GPS em Ambientes Internos com o Auxílio do Efeito de Multicaminho*. 99f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2009.

MACIEL, F. F. *Monitoramento Estrutural em Obras Viárias Utilizando a Técnica RTK/NTRIP: Análise dos Dados, Desenvolvimento e Implementação de um Sistema de Alerta Posicional*. 94f. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2019.

MARQUES, H. A. *PPP em Tempo Real com Estimativa das Correções dos Relógios dos Satélites no Contexto de Rede GNSS*. 228f. Tese de Doutorado – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, SP, 2012.

MATSUOKA, M. T. *Avaliação de Funções para Modelagem do Efeito da Refração Ionosférica na Propagação dos Sinais GPS*. 164f. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, SP, 2003.

MONICO, J. F. G. *Posicionamento Pelo GNSS: Descrição, Fundamentos e Aplicações*. 2ª Edição. São Paulo: Editora Unesp, 2008.

MONICO, J. F. G. *Pseudodistância e Fase da Onda Portadora*. 2010. MundoGEO. Disponível em: <https://mundogeo.com/blog/2010/05/05/pseudodistancia-e-fase-da-onda-portadora/>. Acesso em 15 Jun. 2019.

MONICO, J. F. G., PÓZ, A. P. D., GALO, M., SANTOS, M. C., OLIVEIRA, L. C.. *Acurácia e Precisão: Revendo os Conceitos de Forma Acurada*. 2009. Boletim de Ciências Geodésicas, vol. 15. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2009.

MUGUIO, M. R. *Implantação e Análise da Estação GNSS Para o Monitoramento Contínuo da Barragem da Usina Hidrelétrica de Mauá*. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2012.

ARAÚJO NETO, J. O. *Uso do GPS no Monitoramento Dinâmico da Infraestrutura de Transportes: Pontes Rodoviárias em Concreto*. 201f. Tese de Doutorado - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2017.

PINTO, E. B., CHUERUBIM, M. L. *Discrepâncias existentes entre as coordenadas estimadas pelos métodos de posicionamento relativo e absoluto utilizando receptores de simples frequência: estudo de caso rede GNSS local da universidade federal de Uberlândia (UFU)*. In: Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, 2015.

POLETO, L. J. C. *Estudo da Aplicação do GPS no Monitoramento de Deslocamentos em Estruturas*. 96f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

ROCHA, R. S. M. *Posicionamento Geodésico com GPS no Suporte a Detecção de Deslocamento em Barragens*. 147f. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista, Campus de Presidente Prudente. Presidente Prudente, SP, 2017.

SANTIAGO, B.; SALVIANO, A. *Astronomia Geodésica-Posicionamento pelas Estrelas*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2005.

SANTOS, L. O. *Monitoramento e Ensaio de Pontes*. In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS, 21 a 23 de Maio de 2014, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2014.

SEJAS, M. I. *Suavização da Pseudodistância pela Fase da Onda Portadora: Análise da Técnica*. 105f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2005.

SETTI JUNIOR, P. T. *Posicionamento por Ponto Multi-GNSS: Análise dos Sistemas, Sinais e Modelos Ionosféricos*. 107f. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, SP, 2019.

SILVA, E. F., MIRANDA, C. D. M., MONICO, J. F. G. *O Uso de Receptores GPS no Monitoramento Planimétrico na UHE Luiz Eduardo Magalhães*. XXX – Seminário Nacional de Grandes Barragens, Foz do Iguaçu, PR, 2015.

SOUZA, E. M. *Análise de Wavelets para Detecção e Correção do Multicaminho no Posicionamento Relativo GNSS Estático e Cinemático*. 166f. Tese de Doutorado - Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, SP, 2008.

TANAJURA, E. L. X., KRUEGER, C. P., GONÇALVES, R. M. *Análise da Acurácia dos Métodos Cinemáticos de Posicionamento GPS em Aplicações Costeiras*. Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos, Curitiba, v. 17, no 1, p.23-36, jan-mar, 2011.

**APENDICE A – CRONOGRAMA DA COLETA DE DADOS DO EQUIPAMENTO
TOPCON GR-3, REALIZADO EM 2 DIAS, NAS DATA 20/08/2019 E 29/08/2019,
RESPECTIVAMENTE.**

Coleta de dados do Topcon GR-3 referente ao dia 20/08/2019.

Turno	Posição	Horário de Início	Horário de Término	Duração
Matutino	X00	08h 34min 31s	08h 55min 49s	21min 18s
	X05	08h 57min 21s	09h 18min 27s	21min 06s
	X15	09h 19min 49s	09h 42min 02s	22min 13s
	X30	09h 43min 42s	10h 04min 23s	20min 41s
	Y00	10h 05min 24s	10h 26min 35s	21min 11s
	Y05	10h 28min 02s	10h 48min 23s	20min 21s
	Y15	10h 50min 00s	11h 10min 26s	20min 26s
	Y30	11h 11min 26s	11h 32min 24s	20min 58s
	Z10	11h 34min 09s	11h 54min 29s	20min 20s
Vespertino	X00	12h 11min 07s	12h 30min 05s	19min 58s
	X05	12h 30min 30s	12h 51min 41s	21min 11s
	X15	12h 52min 32s	13h 12min 48s	20min 16s
	X30	13h 13min 12s	13h 33min 45s	20min 33s
	Y00	13h 34min 12s	13h 54min 21s	20min 09s
	Y05	13h 54min 45s	14h 15min 18s	20min 33s
	Y15	14h 15min 42s	14h 36min 10s	20min 28s
	Y30	14h 36min 35s	14h 57min 13s	20min 38s
	Z10	14h 58min 21s	15h 19min 41s	21min 20s

Coleta de dados do Topcon GR-3 referente ao dia 29/08/2019.

Turno	Posição	Horário de Início	Horário de Término	Duração
Matutino	X00	08h 40min 06s	09h 00min 35s	20min 29s
	X05	09h 01min 15s	09h 22min 30s	21min 15s
	X15	09h 23min 01s	09h 43min 24s	20min 23s
	X30	09h 44min 40s	10h 05min 31s	20min 51s
	Y00	10h 06min 20s	10h 27min 27s	21min 07s
	Y05	10h 28min 48s	10h 49min 26s	20min 38s
	Y15	10h 50min 32s	11h 11min 28s	20min 56s
	Y30	11h 12min 37s	11h 33min 27s	20min 50s
	Z10	11h 35min 09s	11h 55min 25s	20min 16s
Vespertino	X00	12h 02min 37s	12h 22min 37s	20min 00s
	X05	12h 23min 03s	12h 43min 48s	20min 45s
	X15	12h 44min 25s	13h 05min 18s	20min 53s
	X30	13h 05min 46s	13h 26min 34s	20min 48s
	Y00	13h 27min 01s	13h 47min 40s	20min 39s
	Y05	13h 48min 04s	14h 08min 57s	20min 53s
	Y15	14h 09min 21s	14h 30min 59s	21min 38s
	Y30	14h 31min 23s	14h 51min 33s	20min 10s
	Z10	14h 53min 03s	15h 21min 23s	28min 20s

**APENDICE B – CRONOGRAMA DA COLETA DE DADOS DO EQUIPAMENTO
TRIMBLE R4, REALIZADO EM 2 DIAS, NAS DATA 15/08/2019 E 22/08/2019,
RESPECTIVAMENTE.**

Coleta de dados do Trimble R4 referente ao dia 15/08/2019.

Turno	Posição	Horário de Início	Horário de Término	Duração
Matutino	X00	08h 54min 35s	09h 14min 46s	20min 11s
	X05	09h 16min 09s	09h 36min 16s	20min 07s
	X15	09h 37min 35s	09h 58min 10s	20min 35s
	X30	10h 00min 36s	10h 20min 46s	20min 10s
	Y00	10h 23min 07s	10h 43min 15s	20min 08s
	Y05	10h 45min 07s	11h 05min 14s	20min 07s
	Y15	11h 06min 13s	11h 26min 21s	20min 08s
	Y30	11h 27min 24s	11h 47min 32s	20min 08s
	Z10	11h 51min 00s	12h 11min 09s	20min 09s
Vespertino	X00	12h 59min 16s	13h 19min 22s	20min 06s
	X05	13h 20min 12s	13h 42min 55s	22min 43s
	X15	13h 44min 10s	14h 04min 18s	20min 08s
	X30	14h 06min 24s	14h 26min 44s	20min 20s
	Y00	14h 28min 02s	14h 48min 17s	20min 15s
	Y05	14h 48min 50s	15h 08min 59s	20min 09s
	Y15	15h 09min 32s	15h 29min 42s	20min 10s
	Y30	15h 30min 11s	15h 50min 18s	20min 07s
	Z10	15h 52min 29s	16h 12min 38s	20min 09s

Coleta de dados do Trimble R4 referente ao dia 22/08/2019.

Turno	Posição	Horário de Início	Horário de Término	Duração
Matutino	X00	08h 43min 48s	09h 03min 59s	20min 11s
	X05	09h 04min 55s	09h 25min 03s	20min 08s
	X15	09h 26min 51s	09h 47min 29s	20min 38s
	X30	09h 49min 24s	10h 09min 33s	20min 09s
	Y00	10h 11min 03s	10h 31min 16s	20min 13s
	Y05	10h 33min 05s	10h 53min 32s	20min 27s
	Y15	10h 54min 24s	11h 14min 37s	20min 13s
	Y30	11h 15min 48s	11h 35min 57s	20min 09s
	Z10	11h 38min 01s	12h 00min 23s	22min 22s
Vespertino	X00	12h 14min 42s	12h 35min 19s	20min 37s
	X05	12h 36min 14s	12h 56min 21s	20min 07s
	X15	12h 57min 08s	13h 17min 20s	20min 12s
	X30	13h 18min 09s	13h 38min 27s	20min 18s
	Y00	13h 39min 26s	13h 59min 51s	20min 25s
	Y05	14h 00min 28s	14h 20min 39s	20min 11s
	Y15	14h 21min 17s	14h 41min 25s	20min 08s
	Y30	14h 42min 04s	15h 02min 12s	20min 08s
	Z10	15h 03min 50s	15h 26min 05s	22min 15s

**APENDICE C – COORDENADAS UTM DO RECEPTOR GR-3 DO DIA 1,
MATUTINO E VESPERTINO RESPECTIVAMENTE.**

Coordenadas do Topcon GR-3 – Dia 1 - Matutino.

Direção	Posição	Coordenada E (m)	Coordenada N (m)	Altitude (m)	Desv. Padrão E (mm)	Desv. Padrão N (mm)	Desv. Padrão Altitude (mm)
1	0 mm	686.127,5504	8.156.716,5347	734,0027	2,1	1,1	4,2
	5 mm	686.127,5508	8.156.716,5334	734,0130	2,1	1,1	4,3
	15 mm	686.127,5589	8.156.716,5286	734,0033	0,5	0,5	1,6
	30 mm	686.127,5719	8.156.716,5226	734,0047	2,1	1,1	4,3
2	0 mm	686.127,6596	8.156.716,5664	734,0060	2,0	1,1	4,2
	5 mm	686.127,6587	8.156.716,5617	734,0049	2,0	1,1	4,2
	15 mm	686.127,6542	8.156.716,5547	734,0126	2,0	1,1	4,1
	30 mm	686.127,6456	8.156.716,5399	734,0140	2,0	1,1	4,2
Vertical	10 mm	686.127,5495	8.156.716,5352	733,9938	2,1	1,1	4,4

Coordenadas do Topcon GR-3 – Dia 1 – Vespertino.

Direção	Posição	Coordenada E (m)	Coordenada N (m)	Altitude (m)	Desv. Padrão E (mm)	Desv. Padrão N (mm)	Desv. Padrão Altitude (mm)
1	0 mm	686.127,5858	8.156.716,5330	733,9817	0,9	0,5	1,5
	5 mm	686.127,5997	8.156.716,5312	733,9907	3,1	1,2	4,3
	15 mm	686.127,5959	8.156.716,5257	733,9753	3,2	1,3	4,5
	30 mm	686.127,6038	8.156.716,5226	733,9797	3,1	1,3	4,4
2	0 mm	686.127,6941	8.156.716,5645	733,9853	3,1	1,1	4,4
	5 mm	686.127,6921	8.156.716,5586	733,9838	3,0	1,1	4,3
	15 mm	686.127,6888	8.156.716,5505	734,0043	3,0	1,1	4,4
	30 mm	686.127,6820	8.156.716,5342	733,9777	3,1	1,1	4,5
Vertical	10 mm	686.127,5826	8.156.716,5300	733,9714	3,1	1,2	5,1

**APENDICE D – COORDENADAS UTM DO RECEPTOR GR-3 DO DIA 2,
MATUTINO E VESPERTINO RESPECTIVAMENTE.**

Coordenadas do Topcon GR-3 – Dia 2 - Matutino.

Direção	Posição	Coordenada E (m)	Coordenada N (m)	Altitude (m)	Desv. Padrão E (mm)	Desv. Padrão N (mm)	Desv. Padrão Altitude (mm)
1	0 mm	686.127,5368	8.156.716,5275	734,0110	5,2	2,3	8,6
	5 mm	686.127,5351	8.156.716,5270	733,9904	0,9	0,8	2,9
	15 mm	686.127,5492	8.156.716,5215	734,0038	5,0	2,1	8,3
	30 mm	686.127,5654	8.156.716,5120	733,9958	5,1	2,1	8,3
2	0 mm	686.127,6524	8.156.716,5584	734,0074	5,0	2,1	8,1
	5 mm	686.127,6500	8.156.716,5517	734,0110	5,0	2,1	8,2
	15 mm	686.127,6450	8.156.716,5476	733,9909	5,1	2,2	8,8
	30 mm	686.127,6361	8.156.716,5322	734,0167	5,1	2,3	8,4
Vertical	10 mm	686.127,5382	8.156.716,5269	734,0014	5,1	2,2	8,3

Coordenadas do Topcon GR-3 – Dia 2 – Vespertino.

Direção	Posição	Coordenada E (m)	Coordenada N (m)	Altitude (m)	Desv. Padrão E (mm)	Desv. Padrão N (mm)	Desv. Padrão Altitude (mm)
1	0 mm	686.127,5607	8.156.716,5362	734,0053	1,5	1,2	2,8
	5 mm	686.127,5570	8.156.716,5333	733,9996	4,5	2,5	7,2
	15 mm	686.127,5661	8.156.716,5239	734,0229	4,1	2,3	6,9
	30 mm	686.127,5781	8.156.716,5160	734,0151	4,3	2,5	9,8
2	0 mm	686.127,6698	8.156.716,5645	734,0094	4,5	2,4	22,5
	5 mm	686.127,6713	8.156.716,5539	733,9789	4,1	2,1	7,7
	15 mm	686.127,6619	8.156.716,5497	733,9996	4,1	2,1	6,7
	30 mm	686.127,6559	8.156.716,5353	734,0132	4,1	2,2	7,2
Vertical	10 mm	686.127,5653	8.156.716,5312	734,0185	4,4	3,1	9,9

**APENDICE E – COORDENADAS UTM DO RECEPTOR R4 DO DIA 1, MATUTINO
E VESPERTINO RESPECTIVAMENTE.**

Coordenadas do Trimble R4 – Dia 1 - Matutino.

Direção	Posição	Coordenada E (m)	Coordenada N (m)	Altitude (m)	Desv. Padrão E (mm)	Desv. Padrão N (mm)	Desv. Padrão Altitude (mm)
1	0 mm	686.127,5463	8.156.716,5252	734,0327	2,0	1,1	4,1
	5 mm	686.127,5468	8.156.716,5197	734,0318	2,0	1,1	4,2
	15 mm	686.127,5546	8.156.716,5155	734,0349	2,0	1,1	4,2
	30 mm	686.127,5679	8.156.716,5091	734,0364	2,0	1,1	4,2
2	0 mm	686.127,6571	8.156.716,5566	734,0368	2,0	1,1	4,1
	5 mm	686.127,6556	8.156.716,5524	734,0413	2,0	1,1	4,2
	15 mm	686.127,6523	8.156.716,5439	734,0408	2,0	1,1	4,2
	30 mm	686.127,6427	8.156.716,5288	734,0231	2,0	1,1	4,2
Vertical	10 mm	686.127,5419	8.156.716,5256	734,0292	0,4	0,4	1,1

Coordenadas do Trimble R4 – Dia 1 – Vespertino.

Direção	Posição	Coordenada E (m)	Coordenada N (m)	Altitude (m)	Desv. Padrão E (mm)	Desv. Padrão N (mm)	Desv. Padrão Altitude (mm)
1	0 mm	686.127,5403	8.156.716,5271	734,0196	0,4	0,4	1,2
	5 mm	686.127,5437	8.156.716,5244	734,0205	2,0	1,1	4,1
	15 mm	686.127,5513	8.156.716,5194	734,0165	2,0	1,1	4,2
	30 mm	686.127,5682	8.156.716,5122	734,0278	2,0	1,1	4,2
2	0 mm	686.127,6578	8.156.716,5544	734,0283	2,1	1,1	4,2
	5 mm	686.127,6554	8.156.716,5485	734,0273	2,1	1,1	4,2
	15 mm	686.127,6501	8.156.716,5443	734,0308	2,1	1,1	4,1
	30 mm	686.127,6441	8.156.716,5313	734,0332	2,0	1,1	4,1
Vertical	10 mm	686.127,5419	8.156.716,5289	734,0320	2,0	1,1	4,1

**APENDICE F – COORDENADAS UTM DO RECEPTOR R4 DO DIA 2, MATUTINO
E VESPERTINO RESPECTIVAMENTE.**

Coordenadas do Trimble R4 – Dia 2 - Matutino.

Direção	Posição	Coordenada E (m)	Coordenada N (m)	Altitude (m)	Desv. Padrão E (mm)	Desv. Padrão N (mm)	Desv. Padrão Altitude (mm)
1	0 mm	686.127,5497	8.156.716,5298	734,0423	2,0	1,1	5,1
	5 mm	686.127,5507	8.156.716,5254	734,0377	2,0	1,1	5,2
	15 mm	686.127,5611	8.156.716,5243	734,0370	2,0	1,1	5,1
	30 mm	686.127,5741	8.156.716,5148	734,0312	2,0	1,1	5,1
2	0 mm	686.127,6637	8.156.716,5633	734,0490	2,0	1,1	5,2
	5 mm	686.127,6618	8.156.716,5586	734,0585	2,0	1,1	5,2
	15 mm	686.127,6578	8.156.716,5486	734,0353	2,0	1,1	5,2
	30 mm	686.127,6482	8.156.716,5320	734,0401	0,4	0,3	1,2
Vertical	10 mm	686.127,5500	8.156.716,5301	734,0401	2,0	1,1	5,1

Coordenadas do Trimble R4 – Dia 2 – Vespertino.

Direção	Posição	Coordenada E (m)	Coordenada N (m)	Altitude (m)	Desv. Padrão E (mm)	Desv. Padrão N (mm)	Desv. Padrão Altitude (mm)
1	0 mm	686.127,5504	8.156.716,5361	734,0441	0,4	0,4	1,1
	5 mm	686.127,5528	8.156.716,5374	734,0373	2,0	1,1	4,1
	15 mm	686.127,5623	8.156.716,5332	734,0426	2,0	1,0	4,1
	30 mm	686.127,5745	8.156.716,5230	734,0258	2,0	1,0	4,2
2	0 mm	686.127,6646	8.156.716,5693	734,0411	2,0	1,1	4,2
	5 mm	686.127,6644	8.156.716,5607	734,0381	2,1	1,1	4,2
	15 mm	686.127,6599	8.156.716,5528	734,0374	2,1	1,1	4,2
	30 mm	686.127,6517	8.156.716,5435	734,0418	2,1	1,1	4,1
Vertical	10 mm	686.127,5532	8.156.716,5399	734,0457	2,0	1,1	4,1