

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DA ÁREA III – CÂMPUS GOIÂNIA
COORDENAÇÃO DE GEOMÁTICA
CURSO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E DE AGRIMENSURA**

**BRISA MARIA TOBIAS CARVALHO
JOÃO VICTOR COSTA NETO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
ANÁLISE COMPARATIVA DAS ALTITUDES NORMAIS OBTIDAS
POR NIVELAMENTO GEOMÉTRICO E POSICIONAMENTO GNSS
EM UM TRECHO DE RODOVIA**

Goiânia, GO

2019

BRISA MARIA TOBIAS CARVALHO

JOÃO VICTOR COSTA NETO

**ANÁLISE COMPARATIVA DAS ALTITUDES NORMAIS OBTIDAS
POR NIVELAMENTO GEOMÉTRICO E POSICIONAMENTO GNSS
EM UM TRECHO DE RODOVIA**

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. Me. Leonardo Sebastião de Souza

Goiânia, GO

2019

FICHA CATALOGRÁFICA

C2532a Carvalho, Brisa Maria Tobias.

Análise comparativa das altitudes normais obtidas por nivelamento geométrico e posicionamento GNSS em um trecho de rodovia / Brisa Maria Tobias Carvalho; João Victor Costa Neto. – Goiânia : Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2019.

65f. : il.

Orientador: Prof. Me. Leonardo Sebastião de Souza.

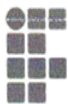
TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso Bacharelado de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Coordenação do Bacharelado em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Departamento de Áreas Acadêmicas III, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Inclui anexos e apêndices.

1. Altimetria. 2. Nivelamento geométrico. 3. Sistema Global de Navegação por Satélite. I. Costa Neto, João Victor. II. Souza, Leonardo Sebastião de (orientador). III. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. IV. Título.

CDD 526.1

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Lana Cristina Dias Oliveira CRB1/ 2.631
Biblioteca Professor Jorge Félix de Souza,
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.



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: Briza Maria Tobias Carvalho

Matrícula: 20151011190191

Título do Trabalho: Análise comparativa das altitudes normais obtidas por nivelamento geométrico e posicionamento GNSS em um trecho de rodovia.

Autorização - Marque uma das opções

- ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
- ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
- ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

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:

- 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;
- 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;
- 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, 30/12/19.
Local Data

Briza Maria Tobias Carvalho

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: João Victor Costa Neto

Matrícula: 20131011190094

Título do Trabalho: Análise comparativa das altitudes normais obtidas por nívelamento geométrico e posicionamento GNSS em um trecho de rodovia

Autorização - Marque uma das opções

- ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
- ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
- ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

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:

- 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;
- 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;
- 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, 30 / 12 / 19
Local Data

João Victor Costa Neto

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

TERMO DE APROVAÇÃO

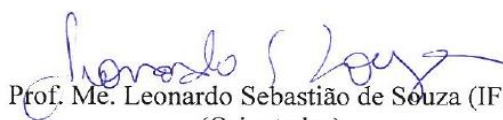
BRISA MARIA TOBIAS CARVALHO

JOÃO VICTOR COSTA NETO

ANÁLISE DAS ALTITUDES NORMAIS OBTIDAS POR NIVELAMENTO GEOMÉTRICO E POSICIONAMENTO GNSS EM UM TRECHO DE RODOVIA

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, 19 de dezembro de 2019.


Prof. Me. Leonardo Sebastião de Souza (IFG)
(Orientador)


Prof. Me. Leomar Rufino Alves Junior (UNIP)
(Membro da Banca Examinadora - Convidado)


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


Prof. Dr. Max Well de Oliveira Rabelo (IFG)
(Membro da Banca Examinadora)

GOIÂNIA, GO

2019

DEDICATÓRIA

*A Natalino Alves da Costa e Tiago Tobias
Carvalho, que infelizmente não estão mais
entre nós, mas que dedicamos este trabalho.*

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus pela vida e saúde, sendo possível a realização deste trabalho e conclusão de mais uma etapa em nossa vida acadêmica.

Aos nossos pais pela educação, carinho e amor recebidos. Por nos incentivarem e acreditarem na nossa capacidade, sendo nossos exemplos de seres humanos e profissionais.

Aos nossos familiares e amigos pelo apoio e companheirismo contínuo durante os anos de faculdade, em especial a nossa colega de classe Tainara Gomes Santos pelos auxílios prestados.

Ao nosso orientador Me. Leonardo Sebastião de Souza, pela orientação e auxílio neste trabalho, compartilhando seus saberes.

Ao professor Dr. João Paulo Magna Júnior, pelo empenho e esclarecimento de dúvidas, sempre receptivo e disposto a nos ajudar.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG), seu corpo docente, direção e administração que contribuíram para a nossa evolução e crescimento pessoal e profissional.

Enfim a todos aqueles que nos apoiaram e colaboraram com a realização desta etapa, compartilhando seus conhecimentos e contribuindo para traçarmos o caminho que queremos seguir na profissão.

RESUMO

A utilização de métodos de posicionamento relacionados ao Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS), vem ganhando espaço em aplicações altimétricas, substituindo os métodos tradicionais de nivelamento. O uso do método de posicionamento usando o GNSS proporciona altitude geométrica que é diferente das utilizadas em obras de rodovias, mas com cálculos posteriores é possível obter as altitudes relacionadas a uma superfície física. O presente trabalho teve como objetivo comparar as altitudes normais obtidas pelo método de posicionamento estático usando receptores de sinais GNSS, com as obtidas por nivelamento geométrico. Em um trecho de aproximadamente 12 km da GO-020, sendo implantados pontos de segurança (PS) de 2 em 2 km. No nivelamento geométrico utilizou-se de Referência de Nível (RN) para o apoio do levantamento, enquanto que, no posicionamento GNSS/Nivelamento foi utilizado uma estação da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC). Ao comparar as altitudes normais, não foi possível identificar um padrão na discrepância ponto a ponto de acordo com a linha de base, verificando uma discrepância máxima de 0,1532 m. Para o conhecimento da altitude normal de um ou mais pontos, o posicionamento GNSS/Nivelamento torna o procedimento em campo mais ágil quando comparado ao nivelamento geométrico, entretanto exige um conhecimento maior na área de geodesia. Devido a estes fatores, a realização desta pesquisa é de fundamental importância para aplicações em topografia e geodesia, podendo contribuir para o conhecimento das superfícies de referência. Por falta de normativas que regularizem o levantamento altimétrico realizado por posicionamento GNSS, não é possível determinar a qualidade dos dados advindos deste método, sendo recomendado ainda hoje que para este tipo de levantamento se utilize o nivelamento geométrico. Nesta pesquisa os dados advindos do posicionamento GNSS/Nivelamento foram qualificados de acordo com o padrão de exatidão cartográfica para produtos cartográficos digitais, sendo classe A, com escala de 1:1.000.

Palavras-chave: Superfície de referência. Pontos de Segurança. Discrepância. Altimetria.

ABSTRACT

The use of methods related to the Global Navigation Satellite System (GNSS) has been gaining space in altitude applications, replacing the traditional methods of leveling. The use of the GNSS method provides geometric altitude that is different from those used in road works, but with later calculations it is possible to obtain altitudes related to a physical surface. The objective of the present work was to analyze the normal altitudes of the survey by the GNSS/leveling positioning method using as reference the altitudes obtained by geometric leveling. The methods were applied in a stretch of approximately 12 km from GO-020, with the implementation of safety points (PS) every 2 km. In the geometric leveling it was used Level Reference (RN) to support the surveys, while in the GNSS / Leveling positioning was used a station of the Brazilian Network of Continuous Monitoring (RBMC). When comparing normal altitudes, it was not possible to identify a pattern in the point-to-point discrepancy according to the baseline, verifying a maximum discrepancy of 0.1532 m. For the knowledge of the normal altitude of one or more points, the GNSS / Leveling positioning makes the procedure in the field more agile when compared to geometric leveling, however it requires a greater knowledge in the area of geodesy. Due to these factors, the performance of this research is of fundamental importance for applications in topography and geodesy, and may contribute to the knowledge of the reference surfaces. Due to the lack of regulations that regulate the altimetric survey carried out by GNSS positioning, it is not possible to determine the quality of the data resulting from this method, and it is still recommended today that for this type of survey use geometric leveling. In this research, the data from the GNSS / Leveling positioning were qualified according to the cartographic accuracy standard for digital cartographic products, being class A, with a 1: 1.000 scale.

Keywords: Reference Surface. Safety Points. Discrepancy. Altimetry

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Relação entre altitude ortométrica, geométrica e ondulação geoidal	21
Figura 2 – Elementos envolvidos para obtenção da anomalia de altitude (ζ).....	22
Figura 3 – Método de visadas Iguais	27
Figura 4 - Método de visadas Extremas	27
Figura 5 - Método de visadas Equidistantes	28
Figura 6 – Método de visadas Recíprocas	28
Figura 7 - Modelo de Ondulação Geoidal (MAPGEO2015).....	32
Figura 8 - Padrões do Decreto 89.817 e ET-CQDG	33
Figura 9 - Localização da Área de Estudo – Rodovia GO 020	34
Figura 10 - GPS de navegação.....	35
Figura 11 - Nível eletrônico digital	35
Figura 12 - Receptor GNSS	36
Figura 13 - Fluxograma Metodológico.....	36
Figura 14 - Exemplos da materialização de Pontos de Segurança	37
Figura 15 - Disposição dos Pontos de Segurança	37
Figura 16 - Nivelamento geométrico	38
Figura 17- Posicionamento GNSS	41
Figura 18 - Início do nivelamento geométrico sobre uma RN	45
Figura 19 - Processamento dos dados no programa <i>Topcon Tools</i>	47
Figura 20 - Altitudes Normais dos PS	48
Figura 21 - Discrepância das altitudes normais entre os métodos	49
Figura 22 - Frequência acumulada das discrepâncias das altitudes normais.....	50
Figura 23 - Resultados da PEC-PCD.....	51
Figura 24 – Resultado do Erro Padrão (EP)	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação dos níveis.....	23
Quadro 2 - Nivelamento de linhas ou circuitos e seções	24
Quadro 3 - Estimativa de precisão para Posicionamento GNSS Relativo.....	30
Quadro 4 – Padrão de Exatidão Cartográfica da Altimetria (curvas de nível) dos Produtos Cartográficos Digitais.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exemplo de Caderneta de Campo para nivelamento geométrico.....	39
Tabela 2 - Aferição do nível eletrônico	45
Tabela 3 - Altitude normal dos PS obtida por posicionamento GNSS/Nivelamento ...	47
Tabela 4 - Comparação das altitudes normais	48
Tabela 5 - Dados de frequência das discrepâncias obtidas.....	49
Tabela 6 - Medidas Estatísticas	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BDG	Banco de Dados Geodésico
CCD	<i>Charge-Coupled Device</i> – Dispositivo de Carga Acoplada
CGED	Coordenação de Geodésia
Compass	<i>China's Compass Navigation Satellite System</i> (Chinês)
CONCAR	Comissão Nacional de Cartografia
DGPS	<i>Differential GPS</i>
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DOP	<i>Dilution Of Precision</i> – Diluição da Precisão
DSG	Diretoria do Serviço Geográfico do Exército Brasileiro
EPUSP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
ET-ADGV	Especificações Técnicas de Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais
ET-CQDG	Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais
ET-CQPCDG	Especificação Técnica para Controle de Qualidade dos Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais
GLONASS	<i>Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema</i> – Sistema Global de Navegação por Satélite (Rússia)
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i> – Sistema Global de Navegação por Satélite.
GPS	<i>Global Position System</i> – Sistema de Posicionamento Global (USA)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFG	Instituto Federal de Goiás
IGS	<i>International GNSS Service</i> – Serviço Internacional GNSS
INDE	Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais
IS	Instrução de serviço
LB	Linha de Base
MED	Medidor Eletrônico de Distância
NBR	Norma Brasileira da ABNT
NMM	Nível Médio dos Mares
PEC	Padrão de Exatidão Cartográfica

PEC-PCD	Produtos Cartográficos Digitais
PPP	Posicionamento por Ponto Preciso
PS	Ponto de Segurança
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RN	Referência de Nível
RRNN	Referências de Nível
RTK	<i>Real Time Kinematic</i> – Cinemático em Tempo Real
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

LISTA DE SÍMBOLOS

ζ	Anomalia de altitude
N	Ondulação geoidal
h	Altitude geométrica
H	Altitude ortométrica
H^N	Altitude normal
AI	Altura do instrumento
DN	Diferença de nível
Σ	Somatório
Ec	Erro cometido
k	Distância em quilômetros
(N- ζ)	Separação entre o geoide e o quase geoide
Dp	Desvio padrão

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	18
2. OBJETIVOS.....	20
2.1 OBJETIVO GERAL.....	20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3. REVISÃO DE LITERATURA	21
3.1 NORMATIVAS	22
3.1.1 NBR 13.133/1994.....	23
3.1.2 Instrução de Serviço 204	24
3.1.3 Instrução de Serviço 205	25
3.2 NIVELAMENTO GEOMÉTRICO.....	25
3.2.1 Nível	26
3.2.2 Mira	26
3.2.3 Métodos de Nivelamento Geométrico.....	26
3.3 POSICIONAMENTO POR SATÉLITE	29
3.3.1 Métodos de Posicionamento Relativo	30
3.4 MODELO DE ONDULAÇÃO GEOIDAL - MAPGEO2015	31
3.5 PADRÃO DE EXATIDÃO CARTOGRÁFICA.....	32
4. METODOLOGIA.....	34
4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	34
4.2 MATERIAIS	34
4.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	36
4.3.1 Implantação de Pontos de Segurança	37
4.3.2 Levantamento Altimétrico por Nivelamento Geométrico	38
4.3.3 Procedimentos de Escritório do Nivelamento Geométrico	39
4.3.4 Levantamento Altimétrico por Posicionamento GNSS/Nivelamento	41

4.3.4 Procedimentos de Escritório do Levantamento Altimétrico por Posicionamento GNSS/Nivelamento	42
4.3.5 Comparação das altitudes normais dos Pontos de Segurança	43
4.3.6 Determinação do grau de confiabilidade para o posicionamento GNSS/Nivelamento...	44
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	45
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
7. REFERÊNCIAS	54
APÊNDICE A – NIVELAMENTO GEOMÉTRICO	56
ANEXO A – RELATÓRIO DA ESTAÇÃO GEODÉSICA 2326P	62
ANEXO B – RELATÓRIO DA ESTAÇÃO GEODÉSICA 2326Z	63
ANEXO C – RELATÓRIO DA ESTAÇÃO DA RBMC GOGY – GOIÂNIA.....	64

1. INTRODUÇÃO

Para a determinação da altitude de um ou mais pontos topográficos, pode-se utilizar de diferentes métodos de levantamento, como o nivelamento geométrico, nivelamento trigonométrico e posicionamento por Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS – *Global Navigation Satellite System*), que oferecem variações quanto a sua precisão. De acordo com Nicacio et al. (2018) com o avanço das tecnologias e o surgimento de novos equipamentos, houve uma diversificação na maneira de obtenção do desnível e da altitude entre dois ou mais pontos topográficos e Castro Júnior (2018), menciona que mesmo com este avanço, o procedimento mais indicado para determinações altimétricas ainda é o nivelamento geométrico, cuja metodologia continua sem grandes mudanças.

Os métodos de posicionamento GNSS/Nivelamento e nivelamento geométrico fornecem altitudes diferentes devido a superfície que usam como referência, como é caso da altitude ortométrica, altitude geométrica e altitude normal. A altitude ortométrica pode ser definida como a diferença vertical do geóide até um ponto de interesse na superfície física (GEMAEL, 2002; ARANA, 2009), a altitude geométrica é considerada a distância entre um ponto de referência na superfície física até o elipsoide de referência, ao longo da normal (HEISKANEN e MORITZ, 1967) e a altitude normal é conceituada por Vaníček et al. (2003), como uma altitude de aproximação da altitude ortométrica, tendo como superfície de referência o quase geoide, que é uma superfície de referência concebida por Molodenskii, em 1945. No nivelamento geométrico, pode-se obter, de forma direta, a altitude normal, tendo como dados iniciais os desníveis entre os pontos, enquanto que no posicionamento GNSS/Nivelamento obtém-se a altitude geométrica, sendo necessários cálculos posteriores para a obtenção da altitude normal, tais cálculos utilizam a anomalia de altitude (ζ).

A utilização do método de posicionamento GNSS/Nivelamento está cada vez mais frequente, proporcionando agilidade e comodidade na obtenção do posicionamento e nivelamento de pontos (HILLSHEIM, 2015). No que diz respeito ao traçado de rodovias, a parte do levantamento altimétrico tem grande influência no custo final da obra. No posicionamento GNSS/Nivelamento a altitude normal é calculada por aproximações da anomalia de altitude (ζ), que segundo Castro Júnior (2018) a utilização desta anomalia se daria apenas com a substituição da ondulação geoidal (N) pela anomalia de altitude (ζ), podendo ser obtida a partir de um modelo quase geoidal e que por consequência pode ocasionar diferenças altimétricas ao longo do traçado vertical da via.

Utilizando o método de nivelamento geométrico, como referência na obtenção das altitudes dos pontos de segurança (PS), é possível analisar a qualidade do posicionamento GNSS/Nivelamento para um trecho de rodovia. Os levantamentos e a análise dos dados tiveram como suporte as recomendações da NBR 131.133 e das Instruções de Serviço – IS 204 e IS 205.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a qualidade das altitudes normais do levantamento pelo método de posicionamento GNSS/Nivelamento utilizando como referência as altitudes obtidas por nivelamento geométrico em um trecho de rodovia.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

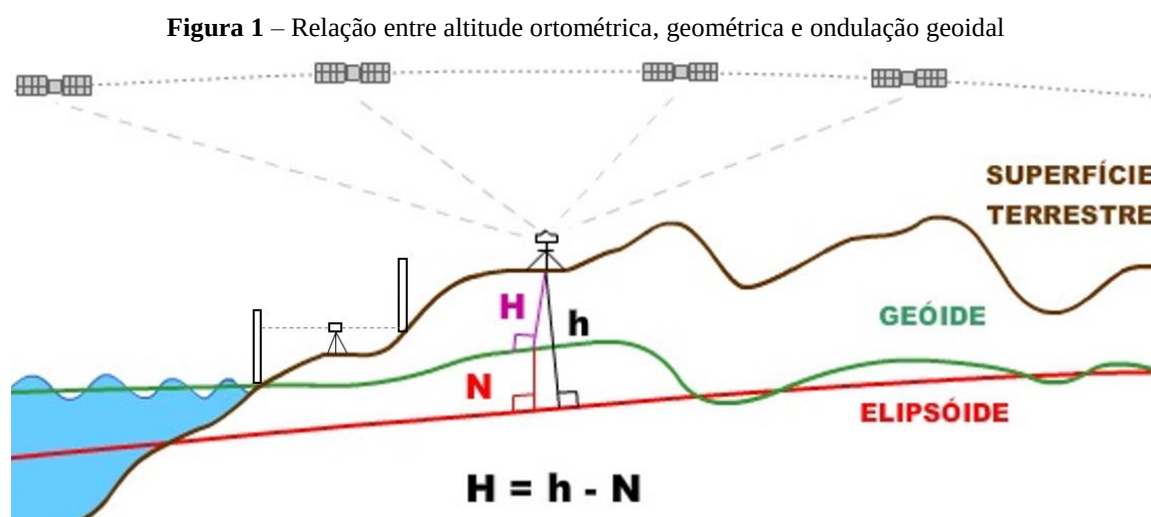
- Determinar as altitudes normais dos pontos de segurança (PS) para ambos os métodos de levantamento altimétrico realizado na referida rodovia;
- Comparar os resultados das altitudes normais obtidas nos levantamentos do trecho da rodovia (nivelamento geométrico e posicionamento GNSS/Nivelamento); utilizando de análise de discrepância dos dados, gráficos e medidas estatísticas;
- Estabelecer um grau de confiabilidade para o uso do método de posicionamento GNSS/Nivelamento classificando-o pelo padrão de exatidão cartográfica (PEC).

3. REVISÃO DE LITERATURA

Ao longo dos anos muitas pesquisas e procedimentos têm sido realizados no intuito de comprovarem que os métodos clássicos de nivelamento geométrico podem ser substituídos por nivelamentos realizados com receptores GNSS. No entanto, como deixa claro Zilkoski (1990), o problema da obtenção da altitude derivada de GNSS/Nivelamento é que essa altitude precisa ser analisada caso a caso, considerando alguns fatores, como a distância da linha de base, os resultados do ajustamento realizado, a repetitividade do sinal recebido no receptor, as distorções horizontais e verticais existentes no nivelamento.

As incertezas na determinação das altitudes advindas do nivelamento com GNSS, são esperadas de acordo com o adensamento da rede de pontos de referência. O fator primordial segundo Zilkoski e Hothem, (1989), são os modelos matemáticos (modelos harmônicos esféricos) usados, que muitas vezes são generalistas e não representam com fidelidade o relevo local, sendo afetada cada vez mais a precisão dos dados com o aumento da distância do nivelamento.

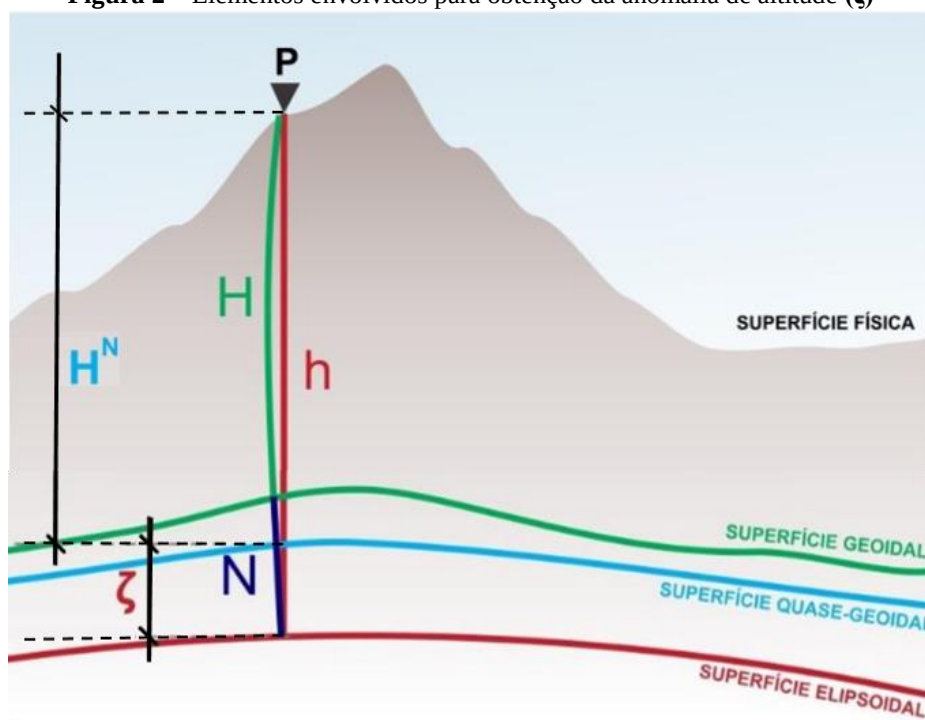
De acordo com Ferreira et al. (2008), a utilização de um modelo geopotencial tem que ser adequado a área de interesse do nivelamento, o que pode interferir na precisão do método GNSS/Nivelamento. O uso de modelos geopotenciais é defendido por muitos profissionais ao longo dos anos, e Arana (2009), expressa em seu trabalho que o uso mais frequente desses modelos tem sido na determinação da ondulação geoidal, isso proporcionado ao uso recorrente de receptores GNSS que determinam a altitude geométrica (h) relativa, e dispondo dessa altitude e da ondulação geoidal (N), obtém-se a altitude ortométrica (H), conforme a relação apresentada na Figura 1.



Fonte: adaptado do IBGE, 2015.

De acordo com Castro Júnior (2018), a altitude normal tenta contornar o problema vinculado à impossibilidade prática de se obter altitudes ortométricas verdadeiras. As altitudes normais (H^N) não dependem da aproximação da estrutura da crosta, que é o caso das altitudes ortométricas (H) (RODRIGUEZ, 2003). A determinação da anomalia de altitude (ζ) pode ser relacionada a separação entre o elipsoide e o quase-geoide (Figura 2), do que depende-se a obtenção da altitude normal.

Figura 2 – Elementos envolvidos para obtenção da anomalia de altitude (ζ)



Fonte: adaptado de Castro Júnior, 2018.

Almejando um maior entendimento para elaboração do trabalho, alguns temas julgados relevantes, foram revisados.

3.1 NORMATIVAS

Para execução deste projeto, foram analisadas recomendações que auxiliassem na execução, fornecendo definições, tolerâncias e erros admissíveis. Podendo citar como principais fontes de consulta a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), pela Norma Brasileira da ABNT (NBR) - NBR 13.133 de 1994 e as diretrizes do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), pelas Instruções de Serviços (IS) - IS 204 e IS 205 de 2005.

3.1.1 NBR 13.133/1994

A NBR 13.133/1994 - Execução de Levantamento Topográfico é uma norma que tem por objetivo fixar condições de execução dos levantamentos topográficos, e para tal estabelece algumas definições, entre elas a definição de nivelamento geométrico, de pontos de segurança e seção.

A norma indica alguns instrumentos para a execução de operações de topografia, entre eles os níveis. Classificando este instrumento de acordo com o desvio-padrão de 1km de duplo nivelamento, conforme é apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 - Classificação dos níveis

Classes de níveis	Desvio-padrão
1 – precisão baixa	$> \pm 10\text{mm/km}$
2 – precisão média	$\leq \pm 10\text{mm/km}$
3 – precisão alta	$\leq \pm 3\text{mm/km}$
4 – precisão muito alta	$\leq \pm 1\text{mm/km}$

Fonte: ABNT, 1994.

O nivelamento é classificado de acordo com a finalidade da operação, para tal esta normativa estabelece quatro classes de nivelamento de linhas ou circuitos e seções:

- a) Classe IN – Nivelamento geométrico para implantação de referências de nível (RN) de apoio altimétrico;
- b) Classe IIN – Nivelamento geométrico para determinação de altitudes ou cotas em pontos de segurança (PS) e vértices de poligonais para levantamentos topográficos destinados a projetos básicos, executivos, como executado, e obras de engenharia;
- c) Classe IIIN – Nivelamento trigonométrico para determinação de altitudes ou cotas em poligonais de levantamento, levantamento de perfis para estudos preliminares e/ou de viabilidade em projetos;
- d) Classe IVN – Nivelamento taqueométrico destinado a levantamento de perfis para estudos expeditos.

A NBR 13.133/94 ainda estabelece a metodologia, o desenvolvimento e as tolerâncias de fechamento para estas quatro classes, que foram apresentadas anteriormente. Para a realização deste trabalho o nivelamento utilizado foi o nivelamento geométrico. Conforme o Quadro 2 adaptada da NBR 13.133/94.

Quadro 2 - Nivelamento de linhas ou circuitos e seções

Classe	Metodologia	Desenvolvimento			Tolerâncias de fechamento
		Extensão Máxima	Lance Máximo	Lance Mínimo	
IN Geom.	Nivelamento geométrico a ser executado com nível classe 3, utilizando miras dobráveis, centimétricas, devidamente aferidas, providas de prumo esférico, leitura a ré e vante dos três fios, visadas equidistantes com diferença máxima de 10m, ida e volta em horários distintos e com Ponto de Segurança (PS) a cada km, no máximo.	10 km	80 m	15 m	12 mm $\sqrt{k}$
IIN Geom.	Nivelamento geométrico a ser executado com nível classe 2, utilizando miras dobráveis, centimétricas, devidamente aferidas, providas de prumo esférico, leitura do fio médio, ida e volta ou circuito fechado, com Ponto de Segurança (PS) a cada dois km, no máximo.	10 km	80 m	15 m	20 mm $\sqrt{k}$

Fonte: adaptado de ABNT, 1994.

3.1.2 Instrução de Serviço 204

A IS 204- Estudos topográficos para projetos básicos de engenharia, busca definir os serviços que devem ser executados na elaboração do estudo do projeto básico de engenharia. Considerando como projeto básico de engenharia, a construção de rodovias rurais, a restauração de rodovias com melhoramentos físicos e operacionais de baixo custo e o melhoramento em rodovias para adequação da capacidade e segurança.

Tendo como objetivo neste estudo a elaboração de um modelo digital do terreno, que possibilite a definição de dados geométricos da rodovia, tal modelo pode ser obtido por

nivelamento e contranivelamento das linhas de exploração. Os serviços executados devem respeitar a norma NBR 13.133/94.

3.1.3 Instrução de Serviço 205

A IS 205- Estudos topográficos para projetos executivos de engenharia, especifica os serviços que devem ser desenvolvidos em campo que foram previstos no projeto básico. Considerando como projeto executivo de engenharia, a construção de rodovias rurais e o melhoramento em rodovias para adequação da capacidade e segurança.

Tendo como objetivo a materialização do eixo de projeto, realizando para tanto a locação do eixo do projeto, o nivelamento do eixo do projeto, levantamento de seções transversais, levantamento de ocorrências de matérias, levantamentos específicos, levantamento cadastral da faixa de domínio, medição de ângulos e distâncias com o uso de estação total, calibração dos instrumentos e rastreamento de coordenadas dos pontos com o uso de GPS, com tempo mínimo de rastreamento de 30 minutos.

3.2 NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

O nivelamento geométrico é conceituado na ABNT pela NBR 13.133/1994 como uma operação que realiza medidas de pontos no terreno com o intuito de determinar o desnível entre os pontos de interesse, por meio de visadas horizontais em miras na vertical com o equipamento denominado nível. As visadas são denominadas de Ré e Vante, e possibilitam os cálculos para a determinação das cotas ou altitudes dos pontos de interesse. As cotas são a distância vertical de um ponto até um plano de referência qualquer e as altitudes a distância de um ponto a superfície de referência altimétrica (ao nível médio dos mares –NMM).

No nivelamento geométrico para a obtenção da diferença de nível entre dois pontos, não se faz necessário centrar o equipamento sobre um ponto físico demarcado. O nivelamento geométrico é utilizado em trabalhos que exijam exatidão e precisão, como implantação de rede altimétrica, controle de obras, locações, entre outros. É um método que pode ser classificado em nivelamento simples, quando se pretende conhecer a cota ou altitude de um ponto a partir de um ponto com cota ou altitude já conhecida, estacionando o equipamento apenas uma vez; e em nivelamento composto, quando o intuito é transportar a cota ou altitude de um ponto para diversos pontos, tendo pontos intermediários ao longo do percurso, havendo a necessidade de mudança do equipamento para a leitura dos pontos de interesse.

3.2.1 Nível

Os níveis são equipamentos empregados no nivelamento para realizar leituras de desnível entre pontos de interesse. As principais partes de um nível são: luneta; nível de bolha; sistema de compensação e dispositivos de calagem. Quanto ao funcionamento os níveis podem ser classificados em ópticos-mecânicos, óptico-automático e eletrônico digital.

Os níveis eletrônicos digitais segundo Veiga et al. (2012), possuem os mesmos componentes mecânicos e ópticos dos níveis ópticos, contudo diferem na forma de leitura, por apresentarem a vantagem de possuir uma câmara *charge-coupled device* (CCD), o que permite que as medições sejam realizadas em uma mira com código de barras.

Cabe salientar que ao comparar as leituras realizadas com nível óptico e com nível digital, no primeiro as medidas são realizadas pelo operador, enquanto que no segundo a própria câmara realiza a leitura na mira de barras.

3.2.2 Mira

As miras (estádias ou em código de barras) são instrumentos auxiliares para a execução de nivelamento, são colocadas verticalmente sobre os pontos a nivelar, podendo assim medir a intersecção da linha horizontal traçada pelo nível. É recomendado seu uso em toda a execução do nivelamento. Para assegurar sua verticalidade, deve ser inserido um nível de cantoneira em seu corpo.

As miras podem ser fabricadas em madeira, alumínio, invar ou fibra de vidro. De acordo com a NBR 13.133/94 as miras de madeira do tipo dobrável são adequadas para operações de nivelamento de linhas, seções ou transporte de cotas, enquanto que as miras de encaixe para determinação de pontos de detalhe e as miras de invar com destaque na utilização para transporte de altitudes ou cotas.

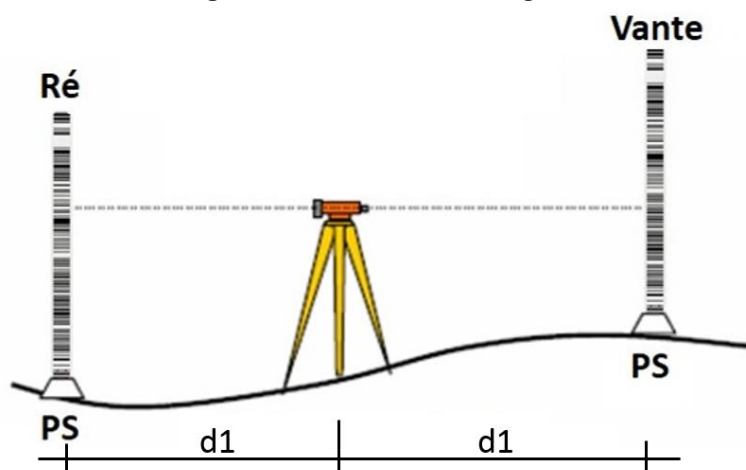
3.2.3 Métodos de Nivelamento Geométrico

É possível classificar o nivelamento geométrico em quatro métodos, sendo eles: visadas iguais, visadas extremas, visadas equidistantes e visadas recíprocas.

No método de visadas iguais duas miras são colocadas à mesma distância do nível, sobre os pontos que deseja-se determinar o desnível, conforme o esquema da Figura 3. O nível não necessita estar no mesmo alinhamento das miras, e o desnível é independente da

altura do instrumento. Este método é considerado o mais preciso dos métodos de nivelamento geométrico, porém este método requer tempo de trabalho do profissional.

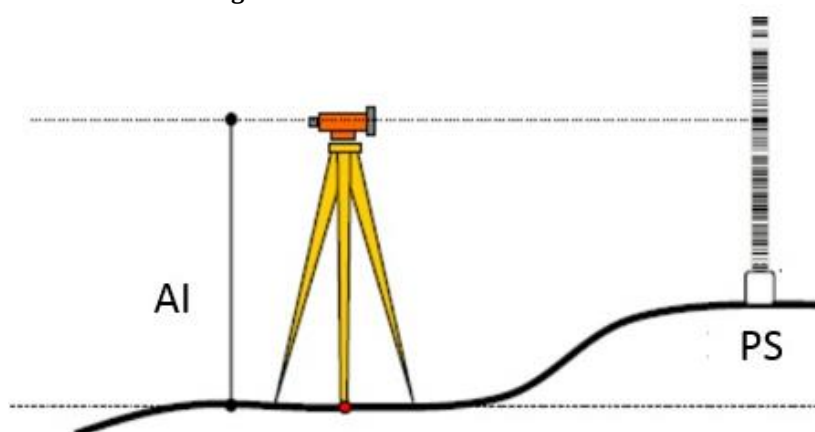
Figura 3 – Método de visadas Iguais



Fonte: Adaptado Veiga et al., 2012.

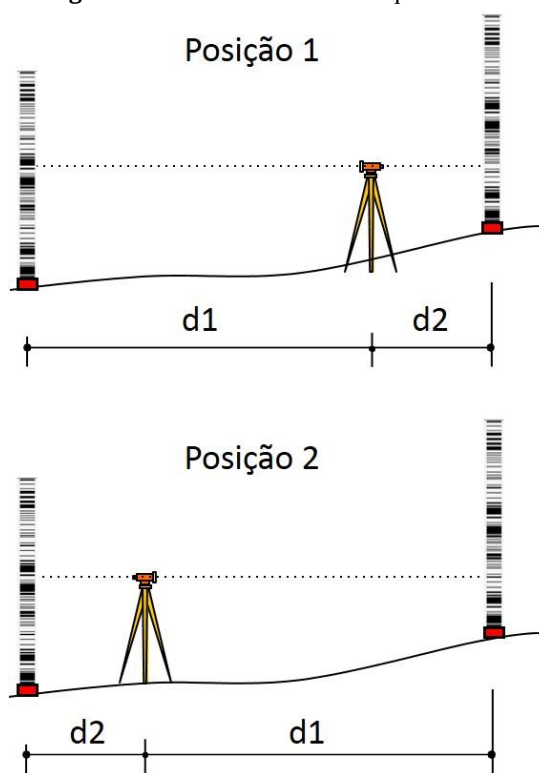
No método de visadas extremas o nível é instalado em uma posição e a leitura dos pontos desejados é realizada sem a preocupação de distanciamento em relação ao equipamento, o que promove um rendimento na operação de nivelamento da área de interesse, é um método que precisa da altura do instrumento (AI), conforme é apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Método de visadas Extremas



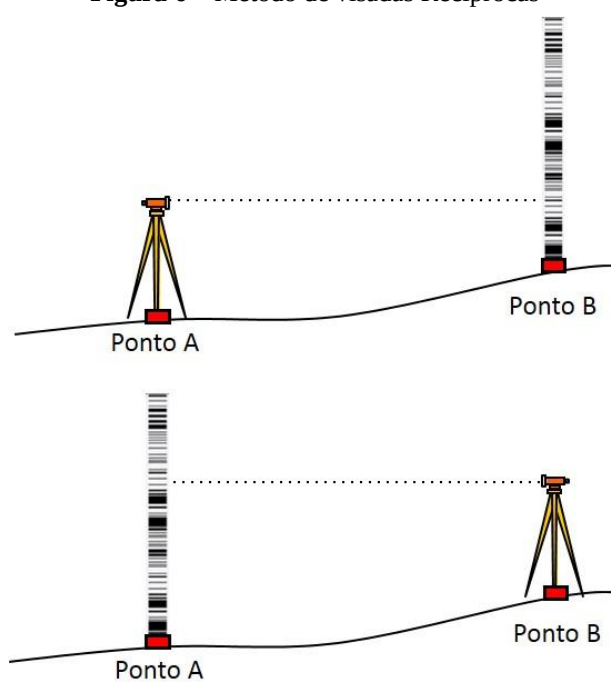
Fonte: Adaptado Veiga et al., 2012.

No método de visadas equidistantes é realizada duas medidas para cada ponto, conforme o esquema da Figura 5. Este método diminui os erros de colimação, refração e curvatura, porém este método é o que demanda maior tempo de trabalho entre os quatros métodos apresentados, é usado principalmente em situações de terrenos encharcados e travessia de rios.

Figura 5 - Método de visadas Equidistantes

Fonte: Adaptado Veiga et al., 2012.

No método de visadas recíprocas a medição dos pontos é realizada duas vezes ou mais, e o nível deve estar fixo sobre os pontos de interesse, conforme o esquema da Figura 6. Este método tenta eliminar os erros de refração, colimação e curvatura.

Figura 6 – Método de visadas Recíprocas

Fonte: Adaptado Veiga et al., 2012.

3.3 POSICIONAMENTO POR SATÉLITE

No que diz respeito ao posicionamento por satélite, é possível determinar o desnível entre dois pontos, utilizando do método de posicionamento GNSS. Monico (2008) diz que o GNSS é um sistema de rádio navegação com ampla aplicação, que fornece altitudes e diferenças de nível de natureza geométrica (h), ligadas a modelagem matemática da Terra segundo um elipsoide de referência, diferente das altitudes obtidas por nivelamento geométrico (H), que são associadas à superfície física da Terra. Com o conhecimento dessas altitudes é possível aplicar a Equação 1, e solucionar está diferença, porém demanda o conhecimento da ondulação geoidal (N), proveniente de um modelo geoidal.

$$H \cong h - (N)$$

(1)

O conceito de GNSS é utilizado para designar o posicionamento por satélites com base em toda a infraestrutura, sendo ela: GPS (*Global Position System*), Galileo, GLONASS (*Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*), Compass (*China's Compass Navigation Satellite System*), etc. De acordo com Castro (2002), a utilização do GNSS, combinado ao modelo geoidal, permite a obtenção da altitude ortométrica, relacionada ao campo de gravidade da Terra. Segundo IBGE (2017), a substituição da gravidade real pela normal, trata do não paralelismo das superfícies equipotenciais, ou seja, desconsidera os efeitos das massas planetárias.

De forma semelhante à obtenção da altitude ortométrica, a altitude normal (H^N) pode ser obtida com base nas altitudes geométricas (h), advindas dos métodos de posicionamento, e com a devida correção de um modelo quase geoidal, denominada de anomalia de altitude (ζ), pode-se utilizar para estabelecer esta relação, conforme a Equação 2.

$$H^N \cong h - (\zeta)$$

(2)

Quanto aos métodos de posicionamento por satélite, existem: posicionamento relativo, RTK (*Real Time Kinematic*), DGPS (*Differential GPS*) e o posicionamento por ponto preciso (PPP). Para aplicações na área topográfica ou geodésica a observável utilizada é a fase da onda portadora (L1 e L2), com medidas na ordem dos milímetros, o que difere da pseudodistância que tem medidas de ordem métrica.

O Quadro 3, apresenta as precisões esperada pelo método de posicionamento relativo, relacionado com o tamanho da linha de base (LB) que é a distância em linha reta entre o ponto de partida até os demais pontos de interesse, o tempo de observação e as observáveis utilizadas.

Quadro 3 - Estimativa de precisão para Posicionamento GNSS Relativo

Linha de Base	Tempo de Observação	Observáveis	Precisão
00 - 05 km	05 - 10 min	L1 ou L1/L2	5 - 10 mm + 1 ppm
05 - 10 km	10 - 15 min	L1 ou L1/L2	5 - 10 mm + 1 ppm
10 - 20 km	10 - 30 min	L1 ou L1/L2	5 - 10 mm + 1 ppm
20 - 50 km	2 - 3 h	L1/L2	5 mm + 1 ppm
50 - 100 km	Mínimo: 03 h	L1/L2	5 mm + 1 ppm
>100 km	Mínimo: 04 h	L1/L2	5 mm + 1 ppm

Fonte: adaptado IBGE, 2017.

3.3.1 Métodos de Posicionamento Relativo

Para realizar o método de posicionamento relativo o profissional da área deve dispor de dois ou mais receptores GNSS ou GPS coletando dados simultaneamente dos mesmos satélites. No Brasil existe a RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo), administrada pelo IBGE, a qual dispõe de vários receptores de dupla frequência ligados 24 horas por dia em várias regiões do país, dado este fato, o profissional pode realizar o posicionamento com apenas um receptor, porém a precisão do posicionamento será afetada de acordo com a distância da LB, ou seja, quanto menor a distância entre o receptor de referência ou base e os demais posicionamentos, mais similares serão os erros, o que permitirá erro de coordenadas com precisão centimétrica.

Utilizando a observável fase de onda portadora, o posicionamento relativo pode ser dividido em estático, estático-rápido, semicinemático (*stop and go*) e cinemático. Usando a observável pseudodistância, se tem o posicionamento relativo com base no código C/A.

No posicionamento relativo estático, segundo o IBGE (2017), tanto o receptor da base, quanto o da estação com coordenadas a determinar, permanecem estacionados simultaneamente, com tempo de ocupação variando de 20 minutos até várias horas. O tempo de ocupação está ligado a distância da LB, condições ionosféricas e ocorrência de obstruções, fatores importantes a serem analisados afim de solucionar os problemas de multicaminhamento (reflexão do sinal), perda de sinal (ciclos), além de ambiguidade

(receptores que utilizam a observável L1) e do erro do relógio do *International GNSS Service* (IGS), em receptores de dupla frequência.

No posicionamento relativo estático-rápido, segundo o IBGE (2017), tanto o receptor da base, quanto o da estação com coordenadas a determinar, permanecem estacionados simultaneamente, com tempo de ocupação inferior a 20 minutos, porém com um tempo mínimo de 5 minutos.

O posicionamento relativo semicinemático (*stop and go*), é similar ao estático-rápido, com o diferencial no tempo de ocupação, na necessidade do receptor permanecer ligado durante o deslocamento de um ponto a outro e com conectividade interrompida com a base.

No posicionamento relativo cinemático, há a necessidade de um receptor ocupar a estação de referência, enquanto outro receptor é utilizado para a coleta de dados, deslocando-se sobre as feições de interesse. Mesmo estando em movimento a trajetória é descrita por uma série de pontos, cujo tempo de gravação influencia na descrição das feições existentes.

Para o posicionamento deve-se configurar corretamente a máscara de elevação, para tornar mais eficaz a coleta de informações advindas dos satélites GNSS, de modo que ela filtre os sinais de satélite de acordo com o ângulo de elevação determinado em relação ao horizonte, configurar os valores de Diluição da Precisão (*Dilution Of Precision – DOP*) e atentar para medições da altura da antena.

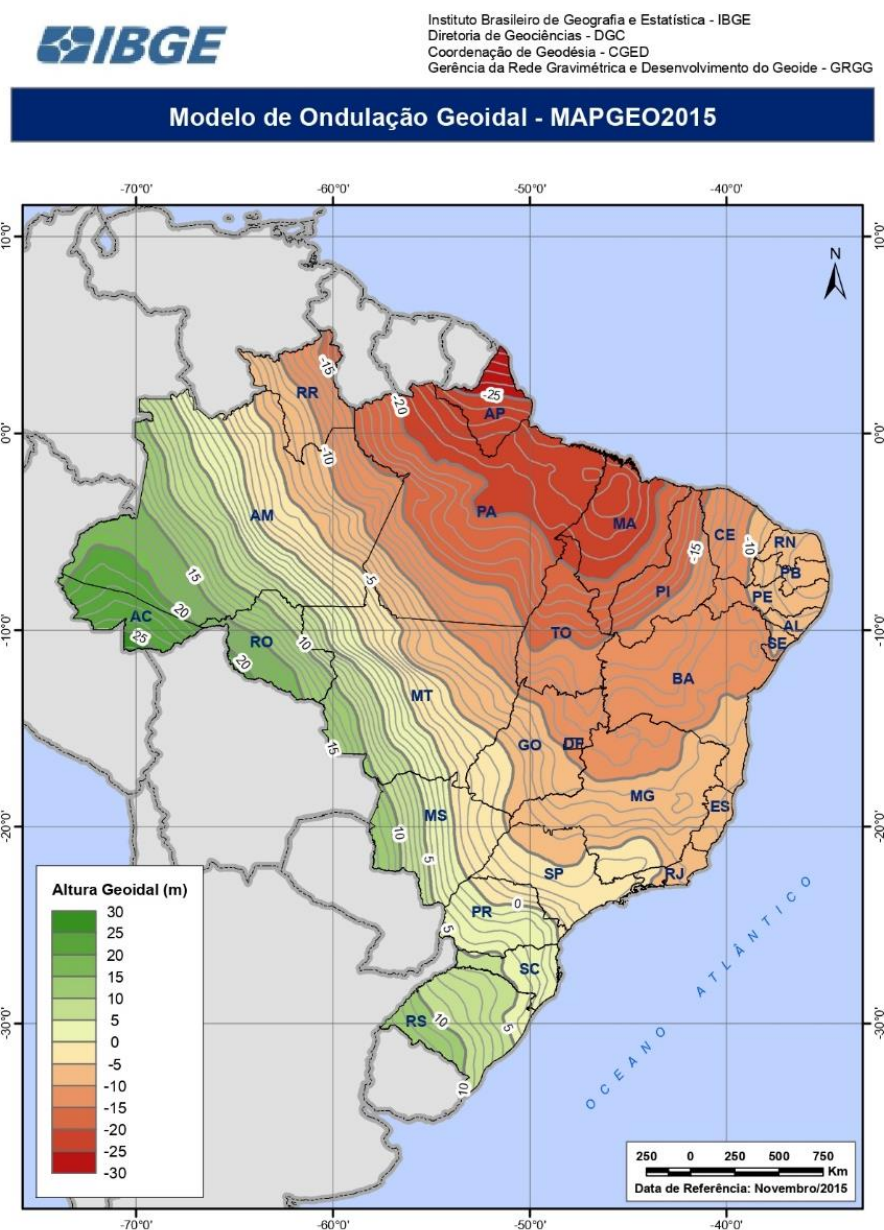
3.4 MODELO DE ONDULAÇÃO GEOIDAL - MAPGEO2015

A “era” espacial proporcionou entre outros avanços o desenvolvimento de modelos geopotenciais de grau e ordem elevados, que possibilitaram a modelagem do campo gravitacional terrestre com maior precisão e detalhamento, sendo usados frequentemente na determinação da ondulação geoidal (MATOS, 2012).

O modelo de ondulação geoidal oficial do Brasil, é o MAPGEO2015, desenvolvido numa parceria entre o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), por meio de sua Coordenação de Geodésia (CGED) e a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). De acordo com IBGE (2015), o objetivo do MAPGEO2015 é fornecer aos usuários a ondulação geoidal, seja em um ponto ou em um conjunto de pontos topográficos. Conforme descrito pelo IBGE (2015) o MAPGEO2015 foi estabelecido contendo uma grade de pontos com valores de ondulação geoidal espaçados de 5', compreendido pelas latitudes 6°N e 35°S e pelas longitudes 75°W e 30°W referenciadas ao Sistema de Referência Geocêntrico para as

Américas (SIRGAS2000), e com uma precisão de $\pm 17\text{cm}$, o modelo MAPGEO2015 é apresentado na Figura 7.

Figura 7 - Modelo de Ondulação Geoidal (MAPGEO2015)



Fonte: IBGE, 2015.

3.5 PADRÃO DE EXATIDÃO CARTOGRÁFICA

O padrão brasileiro de acurácia posicional para dados espaciais é definido pelo Decreto N° 89.817, de 20 de junho de 1984, que define o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC). Neste decreto os padrões mínimos a serem adotados no desenvolvimento das atividades cartográficas foram determinados, após apresentação à Comissão Nacional de

Cartografia (CONCAR), para homologação e inclusão à Coletânea Brasileira de Normas Cartográficas (BRASIL, 1984).

De acordo com o Decreto Nº 89.817 de 1984 a PEC segue tolerâncias que têm valores definidos em função da escala dos dados e das classes (A, B ou C). Em 2010, a Diretoria do Serviço Geográfico do Exército Brasileiro (DSG) publicou as Especificações Técnicas de Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV), documento este ligado à Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE) criada em 2008 pelo Decreto Nº 6.666. Em um de seus itens, a ET-ADGV explica como deve ser a aplicação do Decreto Nº. 89.817 e cria uma classe mais restritiva destinadas para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD).

Entre as normas da cartografia para mapeamento topográfico, encontra-se uma referência para Especificação Técnica para Controle de Qualidade dos Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais (ET-CQPCDG). Utilizando as técnicas encontradas na literatura de avaliação de qualidade para dados geoespaciais, a ET-CQPCDG evoluiu para a Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG) (BRASIL, 2016).

A ET-CQDG é uma especificação em conformidade com a norma ISO 19157:2013, posto que os procedimentos de avaliação descritos nesta especificação seguem os passos descritos na norma ISO, e também descreve como reportar a qualidade dos produtos usando procedimentos padronizados. Os padrões do Decreto Nº 89.817 em conjunto com a ET-CQDG são apresentados na Figura 8.

Figura 8 - Padrões do Decreto 89.817 e ET-CQDG
Padrões do Decreto 89.817 / ET-CQDG:

Classe	PEC (mm)	EP (mm)		PEC (m)	EP (m)
	A	0.27	1/6	1,35	0.8333
A	B	1/2	1/3	2,5	1,6667
B	C	3/5	2/5	3	2
C	D	3/4	1/2	3,75	2,5

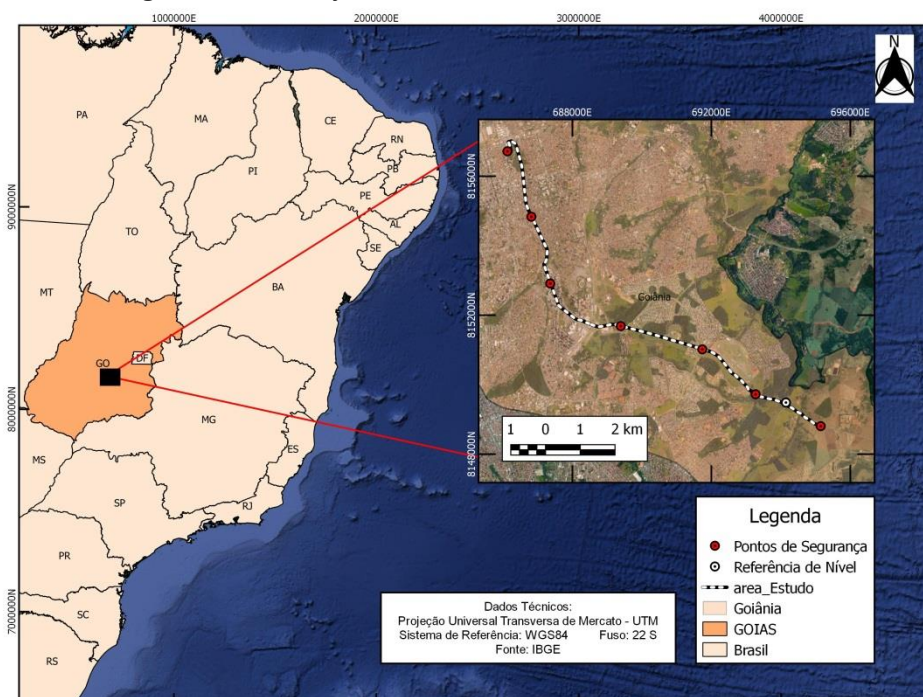
Fonte: Relatório do GeoPEC, 2016.

4. METODOLOGIA

4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente trabalho foi realizado em um trecho de rodovia localizada no município de Goiânia, conforme a Figura 9. A referida rodovia é duplicada e possui uma pista de ciclismo paralela a via. O trecho percorrido tem uma extensão de aproximadamente 13,5 km, com início no Instituto Federal de Goiás (IFG) – Campus Goiânia e termino na GO – 020 próximo ao condomínio Portal do Sol Golfe.

Figura 9 - Localização da Área de Estudo – Rodovia GO 020



Fonte: Os Autores.

4.2 MATERIAIS

Para a execução desse estudo foram utilizados os equipamentos e materiais de acordo com os procedimentos a seguir.

Implantação dos PS:

- GPS de navegação; modelo eTrex, marca Garmin; apresentado na Figura 10;
- Pregos de aço;

- Martelo; e,
- Spray Esmalte Sintético branco.

Figura 10 - GPS de navegação



Fonte: Os Autores.

Para o nivelamento geométrico:

- Um nível eletrônico digital, modelo DL- 201, marca Ruíde, com precisão nominal de 1,0 mm por km de duplo nivelamento; apresentado na Figura 11;
- Um tripé de estação;
- Uma mira com código de barras; e,
- Duas sapatas.

Figura 11 - Nível eletrônico digital



Fonte: Os Autores.

Para o posicionamento GNSS:

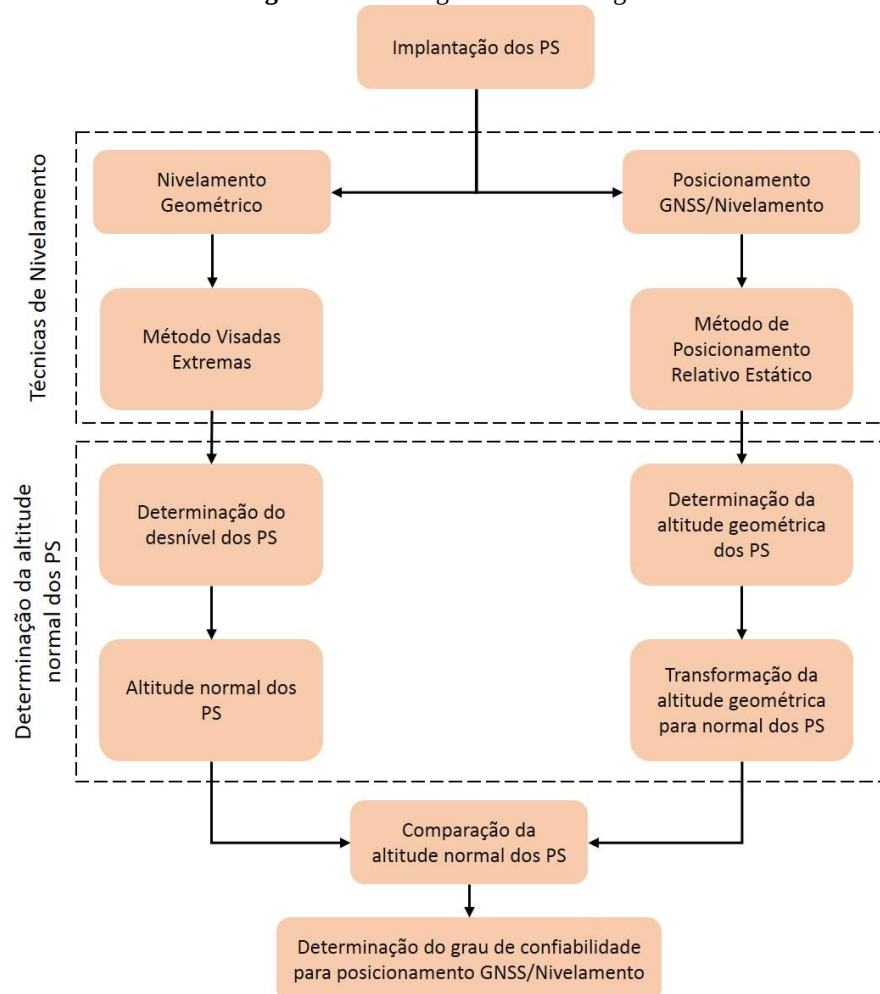
- Um par de receptores GNSS, modelo GR3, marca *Topcon*, com precisão nominal para posicionamento Estático e Estático Rápido de 3mm + 0,5 ppm na horizontal e 5,0 mm + 0,5 ppm na vertical; apresentado na Figura 12;
- Dois tripés de bastão; e,
- Dois bastões de fibra de carbono.

Figura 12 - Receptor GNSS

Fonte: Os Autores.

4.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos executados no presente trabalho são apresentados no fluxograma da Figura 13.

Figura 13 - Fluxograma Metodológico

Fonte: Os Autores.

4.3.1 Implantação de Pontos de Segurança

Para a coleta de dados, foram implantados PS de 2 em 2 km em relação a LB, com o auxílio de um GPS de navegação, na ciclovia. Essa implantação ocorreu com a materialização por pregos de aço e a utilização do *spray* de esmalte sintético, na cor branca, para evidenciar os PS e respectiva numeração (Figura 14).

Figura 14 - Exemplos da materialização de Pontos de Segurança

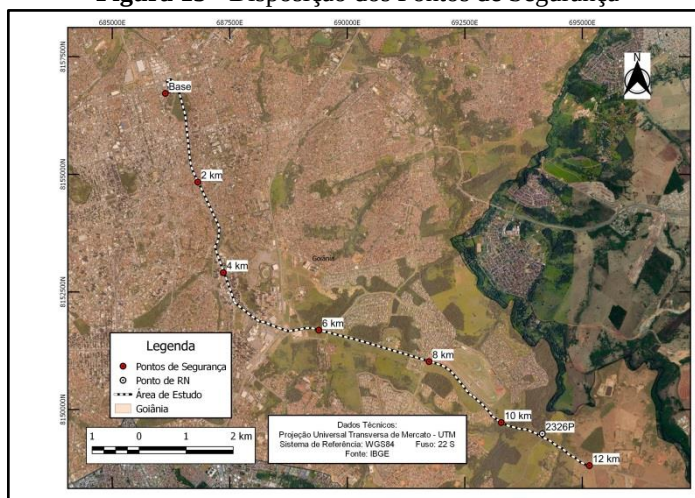


Fonte: Os Autores.

Escolheu-se a ciclovia por ser um local de fácil acesso, não trafegável por veículos automotores e distante de obstruções, garantindo assim a segurança dos operadores e a integridade física dos marcos.

Foram materializados, em campo, ao longo da ciclovia, 6 (seis) PS, como mostra a Figura 15.

Figura 15 - Disposição dos Pontos de Segurança



Fonte: Os Autores.

4.3.2 Levantamento Altimétrico por Nivelamento Geométrico

Antes de iniciar o nivelamento geométrico foi realizada a aferição do nível, objetivando a verificação da qualidade e precisão do mesmo, a qual teria que atender as exigências das diretrizes estabelecidas (NBR 13133/1994; IS 204/2005 e IS 205/2005). Para realizar a aferição, foi medido 3 (três) pontos fixos em 3 (três) posições distintas, variando a posição e distância do equipamento em relação aos pontos observados. A anotação das leituras foi realizada de forma manual.

Para a realização do nivelamento geométrico foi utilizado o método de visadas extremas, proporcionando agilidade na prática de campo e consequentemente na obtenção das altitudes (Figura 16). Nesse contexto, devido à baixa visibilidade entre os PS optou-se por levantar os dados utilizando pontos auxiliares intermediários. Ao final de cada trecho foram calculados os respectivos desníveis. A somatória dos desníveis forneceu o desnível total. Neste método os desníveis são obtidos entre a posição do nível e da mira, conhecendo a altura do instrumento e a leitura realizada.

Figura 16 - Nivelamento geométrico



Fonte: Os Autores.

Para realizar o nivelamento geométrico, o nível foi instalado sobre um tripé, fixando-o para travar sua movimentação e por meio dos calantes foi realizado o nivelamento do equipamento observando o nível esférico. Posteriormente, foi posicionada uma mira sobre o primeiro ponto, sendo a RN 2326P (ANEXO A – RELATÓRIO DA ESTAÇÃO GEODÉSICA 2326P), onde foi visada a altura do instrumento e anotada manualmente como ponto de Ré. Executada essa visada, foi realizada uma nova leitura seguindo em direção ao ponto de PS chamado de vante de mudança, em que sua altura foi anotada manualmente, porém sem materialização. Após a visada da vante de mudança, o nível foi deslocado para

uma nova posição de modo que se aproximasse do PS, e assim, todo o procedimento foi repetido até que todos os PS fossem medidos.

Foi realizado um contranivelamento simultâneo ao nivelamento, em que a mira era posicionada em um local distinto ao do nivelamento. Esse procedimento foi realizado com o intuito de validar os dados, ou seja, tornar possível a verificação do erro de fechamento do nivelamento geométrico e a análise quanto aos parâmetros apresentado no Quadro 2 para a Classe IIN referente a um nivelamento de linha ou seções, da NBR 13.133/94.

Nos trabalhos de campo, foram usadas planilhas/cadernetas, como mostra o exemplo na Tabela 1, em que as leituras das visadas (Ré e Vante) foram anotadas durante o nivelamento. A altura do instrumento (AI) e as cotas foram calculadas a posteriori, completando a caderneta.

Tabela 1 - Exemplo de Caderneta de Campo para nivelamento geométrico

PN	Ré	Vante Mudança	(AI)	Cota
RN 2326P	1,3229			708,2141
	1,7229	0,2809		
	0,9180	0,4689		
	1,3478	1,8261		
A 1	1,3452	1,7203		
	0,5768	1,8452		
	0,3243	1,9951		
	0,7695	1,8411		
	0,5732	1,9369		
	0,7029	1,9752		

Fonte: Os Autores.

4.3.3 Procedimentos de Escritório do Nivelamento Geométrico

Em escritório foram realizados os cálculos, para a aferição do nível, para a obtenção das alturas do instrumento, das cotas bem como sua respectiva verificação, do erro de fechamento e da tolerância do erro de fechamento. Após estes cálculos foi possível obter as altitudes normais referentes aos PS.

O processo de aferição do nível foi realizado pela diferença de nível entre os pontos (Equação 3)

$$DN_{A-B, \text{ posição 1}} = DN_{A-B, \text{ posição 2}} = DN_{A-B, \text{ posição 3}} = \text{Leitura}_A - \text{Leitura}_B \quad (3)$$

onde:

DN = Diferença de Nível;

Leitura_A = Leitura do ponto A; e,

Leitura_B = Leitura do ponto B.

A altura do instrumento é um plano criado pelo próprio instrumento, e para seu cálculo, foi utilizada a cota do primeiro ponto visado do levantamento. A altura do instrumento foi obtida pela Equação 4.

$$AI = Cota + Leitura Ré \quad (4)$$

onde:

AI = Altura do Instrumento;

Cota = Cota Inicial (Cota conhecida da RN); e,

Leitura Ré = Visada Ré.

A seguir, foi realizado o cálculo para a obtenção das cotas utilizando a Equação 5.

$$Cota = AI - Leitura Vante \quad (5)$$

onde:

Cota = Cota calculada para aquele ponto;

AI = altura do instrumento; e,

Leitura Vante = Visada Vante.

Foi realizada a conferência dos cálculos, aplicando a Equação 6.

$$Cota Final - Cota Inicial = \sum (Leituras Ré - Leituras Vante) \quad (6)$$

Para verificar os procedimentos de campo, foi realizado a comparação dos desníveis obtidos entre o nivelamento e o contra nivelamento, calculando o erro cometido. Essa verificação foi realizada utilizando a Equação 7.

$$Ec = (Cota Final - Cota Inicial)_{NIV} - (Cota Final - Cota Inicial)_{CON} \quad (7)$$

onde:

Ec = Erro cometido entre o nivelamento e contra nivelamento.

A partir do erro cometido foi possível verificar se as seções de nivelamento atendiam a tolerância proposta no item IIN da NBR 13.133/1994, utilizando a Equação 8.

$$\text{Tolerância de fechamento} = 20\text{mm} \sqrt{k} \quad (8)$$

onde:

k = distância do trecho em quilômetros.

4.3.4 Levantamento Altimétrico por Posicionamento GNSS/Nivelamento

Para a realização do posicionamento por GNSS foi utilizado o método relativo estático. Como base foi utilizado a estação GOGY – Goiânia da RBMC, garantindo um dia inteiro de rastreamento ao ponto de base e possibilitando a utilização dos dois receptores GNSS para o posicionamento dos PS.

Deve-se salientar que, antes da realização do referido levantamento, foram realizadas as configurações necessárias, como a taxa de gravação (definida para 5 segundos) para determinar o tempo de registro da posição do receptor e a máscara de elevação (definida para 15°) que definiu o ângulo mínimo de observação dos satélites.

Para o posicionamento, o equipamento foi colocado em um bastão de fibra de carbono, com tamanho fixo de 2 metros. A seguir o equipamento alocado sobre o PS. Deve-se salientar que o referido bastão foi apoiado e nivelado por um tripé de bastão (Figura 17).

Figura 17- Posicionamento GNSS



Fonte: Os Autores.

A ocupação de cada PS teve uma duração aproximada de 60 minutos. Por ter disponível para o levantamento dois receptores GNSS, foi possível a realização de dois posicionamentos simultâneos.

4.3.4 Procedimentos de Escritório do Levantamento Altimétrico por Posicionamento GNSS/Nivelamento

Após a ocupação dos PS, os dados do posicionamento foram descarregados. Os dados da base RBMC referentes aos dias de posicionamento foram adquiridos no Banco de Dados Geodésico (BDG) do IBGE, enquanto os dados das efemérides precisas referentes aos dias de posicionamento estavam disponibilizados no endereço eletrônico www.gnsscalendar.com.

Para o processamento dos dados foi utilizado o programa *Topcon Tools*, versão 8.2.3, e neste processamento foi inserido os dados da base, das efemérides precisas e do posicionamento dos PS. No processamento, a base foi utilizada como referência para o pós-processamento e o ajustamento da latitude, longitude e altitude geométrica dos demais pontos.

Para a conversão da altitude geométrica em altitude normal, foram utilizadas as relações matemáticas envolvendo a Equação 1 e Equação 2. Dessa relação, Heiskanen e Moritz (1967), obtiveram a Equação 9.

$$N - \zeta = H^N - H \quad (9)$$

onde:

N = Ondulação geoidal;

ζ = Anomalia de altitude;

H^N = Altitude normal; e,

H = Altitude ortométrica.

A partir da Equação 9, foi possível fazer uma nova relação com a Equação 1, que permitiu estabelecer uma equação que representasse a separação entre o geoide e o quase geoide na região de trabalho (Equação 10). Para a aplicação dessa equação é necessário que se conheça a altitude geométrica e normal de uma RN na região.

$$(N - \zeta) = H^N - h + N \quad (10)$$

onde:

$(N - \zeta)$ = Valor de referência da separação entre o geoide e o quase geoide;

H^N = Altitude normal na RN;

h = Altitude Geométrica da RN; e,

N = Ondulação Geoidal da RN fornecida pelo MAPGEO2015.

A obtenção da altitude normal dos PS, se deu pela utilização da separação entre o geoide e o quase geoide da RN de referência, no qual esse valor foi propagado para os demais posicionamentos, levando em consideração que o distanciamento entre estas superfícies na região foi considerado desprezível. Para tanto, utilizou-se a Equação 11.

$$H^N = h - N + (N - \zeta) \quad (11)$$

onde:

H^N = Altitude normal dos PS;

h = Altitude geométrica dos PS;

N = Ondulação geoidal dos PS fornecida pelo MAPGEO2015; e,

$(N - \zeta)$ = Valor da separação entre o geoide e o quase geoide da área.

De posse da localização de cada ponto foi utilizado o MAPGEO2015 para a obtenção da ondulação geoidal. De acordo com Heiskanen e Moritz (1967), a anomalia de altitude depende da elevação média do terreno, com uma diminuição aproximada de 0,1 gal por 1 km de altitude média. Com essa informação foi possível justificar a utilização da Equação 10, que leva em consideração que a variação da separação do geoide e o quase geoide na área de trabalho é desprezível.

4.3.5 Comparação das altitudes normais dos Pontos de Segurança

As altitudes normais dos PS obtidas por meio do nivelamento geométrico foram consideradas como verdadeiras em relação ao posicionamento GNSS/Nivelamento. Posteriormente analisou-se a discrepância de altitude dos PS, obtida pelos métodos de nivelamento geométrico e posicionamento GNSS/Nivelamento.

A comparação das altitudes normais, foram realizadas ponto a ponto, afim de verificar a variação de discrepância de acordo com a distância da LB. Na comparação foram utilizados

os dados digitalizados e calculados, permitindo a elaboração de gráficos de dispersão e gráficos de frequência acumulada no programa Excel, versão 2013, e a realização de medidas estatísticas como média, desvio padrão e amplitude possibilitando uma verificação do conjunto amostral e da dispersão dos dados

4.3.6 Determinação do grau de confiabilidade para o posicionamento GNSS/Nivelamento

A partir das diferenças obtidas na comparação entre as altitudes normais, foi verificado se ocorreria um padrão de discrepância entre as altitudes ponto a ponto de acordo com a distância da LB, e afim de estabelecer um grau de confiabilidade para utilização do método de posicionamento GNSS/Nivelamento em um trecho de rodovia que obedeça as diretrizes (IS 204/2005 e IS 205/2005 do DNIT), foi utilizada a classificação segundo a PEC-PCD altimétrico, classificando assim os dados obtidos do Levantamento GNSS/Nivelamento.

O controle da qualidade cartográfica pode ser definido como: a identificação de incoerências e o nível de qualidade dos dados. Além disso pode determinar soluções para minimizar ou para não propagar as incoerências dos dados, indicando qual a possível utilização do mesmo em termos de extração de feições cartográficas e informações geométricas (SANTOS, 2010).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram materializados, em campo, ao longo da ciclovia, 6 (seis) PS, a materialização levou em consideração a distância em relação a LB, nesse caso, os PS foram implantados de 2 em 2 km.

A aferição do nível foi realizada antes do nivelamento geométrico, verificando a sua qualidade e precisão. Os resultados do referido levantamento e aferição são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Aferição do nível eletrônico

Posição 1				Posição 2				Posição 3			
Leitura		Diferenças		Leitura		Diferenças		Leitura		Diferenças	
A	1,3937	A - B	-0,0063	A	1,3980	A - B	-0,0063	A	1,3652	A - B	-0,0063
B	1,4000	B - C	-0,0104	B	1,4043	B - C	-0,0104	B	1,3715	B - C	-0,0104
C	1,4104	A - C	-0,0167	C	1,4147	A - C	-0,0167	C	1,3819	A - C	-0,0167

Fonte: Os Autores.

Como não ocorreram diferenças nas leituras considerou-se que o equipamento estava em plenas condições de uso.

A RN 2326P serviu de ponto de partida para o nivelamento geométricos até os PS (Figura 18). No nivelamento geométrico as visadas foram realizadas a uma distância máxima de 60 m, afim de evitar os efeitos da curvatura terrestre e da refração atmosférica.

Figura 18 - Início do nivelamento geométrico sobre uma RN



Fonte: Os Autores.

Foram necessários quatro dias em campo para realizar o nivelamento geométrico, priorizando o trabalho no período matutino, visto que, no período vespertino o funcionamento do equipamento era limitado a pequenas distâncias devido a incidência solar. Além de problemas relacionados com a incidência solar, pode-se constatar que a ocorrência de ventos causava grande variação na leitura da mira e para resolver tais problemas, o nível foi configurado para realizar média aritmética de quatro leituras.

Outra dificuldade encontrada no nivelamento geométrico foi a utilização da mira de 2 metros, que diminuiu a produtividade em trechos com aclive e declive elevado, visto que as visadas nestes trechos se reduziram a menos de 10 metros.

Ao finalizar os trabalhos em campo, em escritório foi feita a digitalização dos dados em planilha do Excel, e posteriormente foi calculada as alturas do instrumento, as cotas, a conferência dos cálculos, a tolerância de fechamento e a altitude normal de cada ponto (APÊNDICE A – NIVELAMENTO GEOMÉTRICO). A partir destes resultados, pode-se constatar que o nivelamento e contranivelamento atenderam aos parâmetros estabelecidos nas legislações apresentadas.

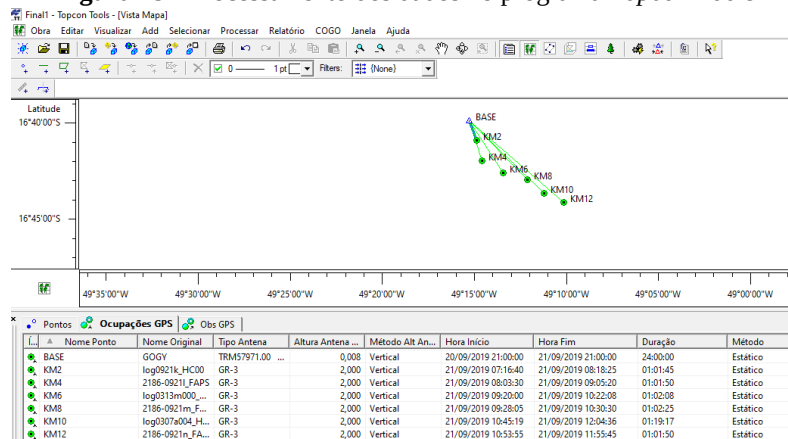
No posicionamento GNSS/Nivelamento, com a utilização do método relativo estático foi necessário apenas um dia em campo, contabilizando um total de 5 (cinco) horas de trabalho, devido a disponibilidade de realizar dois posicionamentos simultâneos. Na ocupação de cada PS, o equipamento foi posicionado sobre o ponto por aproximadamente 60 minutos e ao final do posicionamento era verificado o nivelamento do equipamento, podendo constatar que não ocorreu variação devido a trepidação dos veículos na pista ao lado.

Em escritório os dados coletados no posicionamento GNSS/Nivelamento, foram descarregados no programa *Topcon Tools*. Os dados da base referentes a estação GOGY-Goiânia (ANEXO C – RELATÓRIO DA ESTAÇÃO DA RBMC GOGY – GOIÂNIA) do dia de posicionamento (21 de setembro de 2019) foi adquirido no BDG, porém os dados estavam em formato HATANAKA, que é um novo formato de compactação utilizado pelo IBGE. Para a utilização dos dados no programa *Topcon Tools* se fez necessário a descompactação deste arquivo para o formato RINEX, para esta descompactação o IBGE disponibiliza um passo a passo no endereço eletrônico: https://www.ibge.gov.br/np_download/novoportal/geociencias/rbmc/hatanaka_passo_a_passo.pdf.

No processamento dos dados no programa *Topcon Tools*, foi necessária a informação referente à altura do posicionamento do equipamento em cada ponto e o tipo de antena

utilizada, com estas informações foi possível realizar o processamento dos dados (Figura 19), obtendo a altitude geométrica processada dos PS.

Figura 19 - Processamento dos dados no programa *Topcon Tools*



Fonte: Os Autores.

A ondulação geoidal dos PS e da RN 2326P foram obtidas do MAPGEO2015. Para a obtenção da separação do geoide e do quase geoide, foi utilizada a RN 2326Z (ANEXO B – RELATÓRIO DA ESTAÇÃO GEODÉSICA 2326Z) por possuir a altitude geométrica e normal e a ondulação geoidal (-10,36 m), em posse dessas informações pode-se aplicar a Equação 10, em que:

$$(N - \zeta) = 716,4710 - 705,590 + (-10,36) = 0,5210 \text{ m}$$

esse resultado foi fixado e propagado para realizar os cálculos referentes a obtenção da altitude normal dos PS. O trecho de trabalho total teve uma variação máxima de 0,091 km de altitude, justificando a utilização da Equação 11, como proposto por Heiskanen e Moritz. Os resultados do posicionamento GNSS/Nivelamento são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Altitude normal dos PS obtida por posicionamento GNSS/Nivelamento

PN	LAT	LON	h	Dp (LAT)	Dp (LON)	Dp (h)	N	H ^N
KM2	16°40'54,13628"S	49°14'52,95939"W	735,014	0,007	0,009	0,011	-9,59	745,125
KM4	16°41'56,59024"S	49°14'34,29211"W	769,062	0,004	0,004	0,006	-9,64	779,223
KM6	16°42'35,65205"S	49°13'25,41514"W	800,108	0,002	0,002	0,003	-9,72	810,349
KM8	16°42'55,96387"S	49°12'06,87868"W	762,69	0,002	0,003	0,004	-9,79	773,001
KM10	16°43'38,56105"S	49°11'13,35812"W	708,372	0,003	0,003	0,004	-9,86	718,753
KM12	16°44'07,81038"S	49°10'10,02458"W	725,747	0,003	0,004	0,005	-9,93	736,198

*LAT = Latitude; LON = Longitude; h = Altitude geométrica; Dp = Desvio padrão; N = Ondulação geoidal; H^N = Altitude Normal.

Fonte: Os Autores.

Para comparar as altitudes normais obtidas no nivelamento geométrico e no posicionamento GNSS/Nivelamento, foi elaborada a Tabela 4. A tabela indica que houve uma variação das altitudes normais de 0,1532 m à -0,0045 m, PS K8 e PS K12 respectivamente. Os PS K10 e K12, tiveram as menores variações da altitude normal obtida entre os dois métodos.

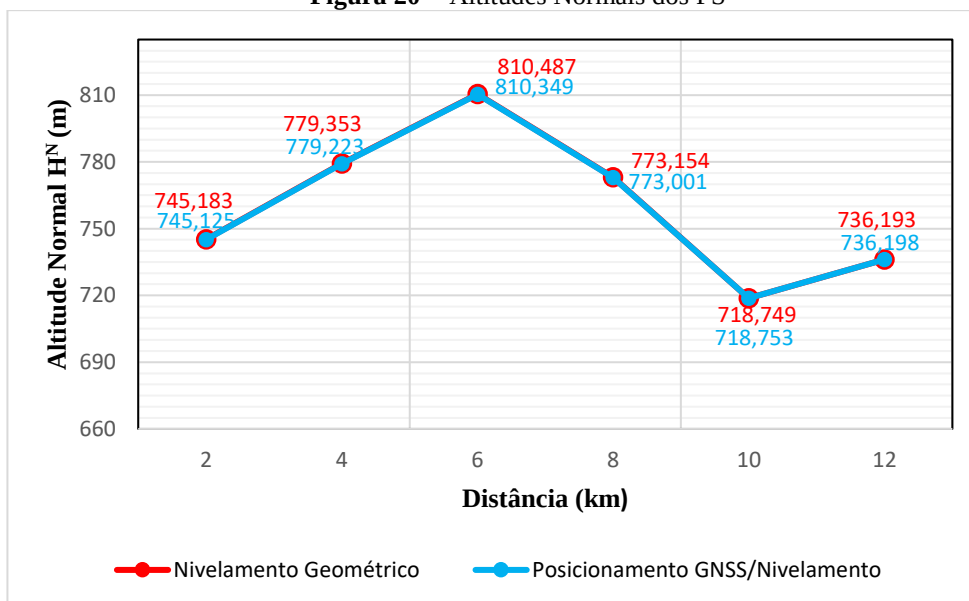
Tabela 4 - Comparação das altitudes normais

PS	Altitude Normal (H^N)		
	Nivelamento Geométrico	Posicionamento GNSS/Nivelamento	Discrepância
K2	745,1836	745,1250	0,0586
K4	779,3533	779,2230	0,1303
K6	810,4879	810,3490	0,1389
K8	773,1542	773,0010	0,1532
K10	718,7490	718,7530	-0,0040
K12	736,1935	736,1980	-0,0045

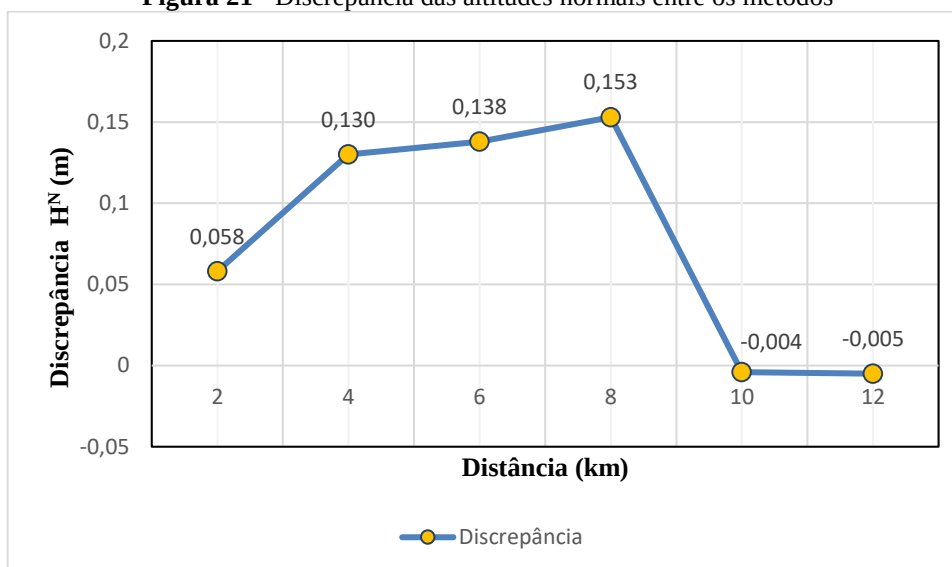
Fonte: Os Autores.

A partir destes dados foi possível gerar os gráficos de dispersão, utilizados para a representação gráfica dos resultados deste trabalho. Na Figura 20 é apresentado o gráfico referente a comparação entre as altitudes normais obtidas nos dois métodos utilizados e na Figura 21 é apresentado o gráfico da discrepância da altitude normal entre os métodos.

Figura 20 - Altitudes Normais dos PS



Fonte: Os Autores.

Figura 21 - Discrepância das altitudes normais entre os métodos

Fonte: Os Autores.

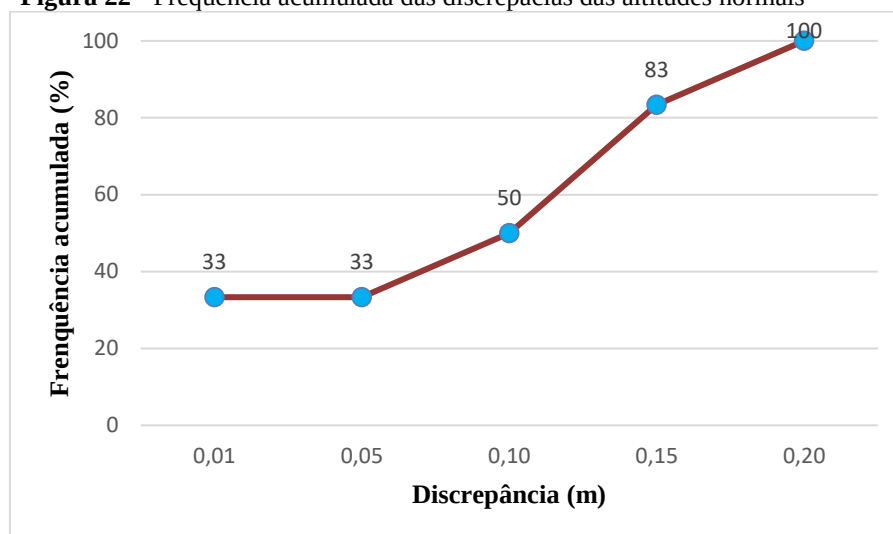
Ao comparar os resultados obtidos anteriormente, observou-se que a extensão da linha de base não influenciou diretamente na discrepância entre as altitudes normais. As discrepâncias apresentaram valores positivos sendo a altitude normal do nivelamento geométrico maior que o do levantamento GNSS/Nivelamento nestes pontos e valores negativos com a altitude normal do nivelamento geométrico menor que a do levantamento GNSS/Nivelamento, não apresentando um padrão ponto a ponto. Foi elaborado então um gráfico de frequência acumulada da discrepância das altitudes normais e realizada uma análise de medidas estatísticas, no intuito de representar todo o conjunto amostral de discrepância e facilitar a análise de dispersão dos dados, possibilitando estabelecer um grau de confiabilidade para o posicionamento GNSS/Nivelamento, relacionando-o com a PEC.

Para o gráfico de frequência acumulada as discrepâncias foram separadas em cinco intervalos, e os valores foram deixados em módulo para facilitar a comparação, conforme é apresentado na Tabela 5. Foi possível analisar que cinco das seis discrepâncias apresentaram frequência acumulada de 83 por cento dos valores a baixo de 0,15 m de discrepância entre as altitudes normais. O gráfico de frequência acumulada é apresentado na Figura 22, demonstrando que o intervalo de 0,00 até 0,10, contêm 50 por cento de frequência acumulada.

Tabela 5 - Dados de frequência das discrepâncias obtidas

DE	PARA	FREQ	FREQ %	FREQ ACUM	FREQ ACUM %
0,000	0,01	2	33,3%	2	33
0,010	0,05	0	0,0%	2	33
0,050	0,10	1	16,7%	3	50
0,100	0,15	2	33,3%	5	83
0,150	0,20	1	16,7%	6	100

Fonte: Os Autores.

Figura 22 - Frequência acumulada das discrepâncias das altitudes normais

Fonte: Os Autores.

Ao realizar as medidas estatísticas, pode-se constatar que o desvio padrão das amostras representa um erro de aproximadamente 7,2 cm do conjunto amostral e que as amostras apresentaram uma distribuição heterogênea, dispersos da média (Tabela 6), e a amplitude dos dados apresentou o resultado de 15,8 cm. Se os resultados fossem classificados segundo a NBR 13.133/94 seriam de baixa precisão, porém como estamos analisando o levantamento GNSS/Nivelamento e que não se tem normativas específicas quanto a precisão dos dados voltado para nivelamento com a utilização desse método não é possível afirmar a precisão dos dados de acordo com a NBR 13.133/94, recorrendo a outras formas de avaliação dos dados.

Tabela 6 - Medidas Estatísticas

Discrepância	Medidas Estatísticas	
-0,0045	MÉDIA	0,079
-0,0040	DESVIO PADRÃO	0,072
0,0586	AMPLITUDE	0,158
0,1303	% POSITIVOS	66,7%
0,1389	%NEGATIVOS	33,3%
0,1532		

Fonte: Os Autores.

Com base na metodologia proposta por Santos et al. (2016), o auxílio do software GeoPEC 3.5 e utilizando a classificação segundo a PEC-PCD para dados altimétrico de acordo com o Decreto N°89.817 classificou-se os dados obtidos do Levantamento GNSS/Nivelamento, sendo classe A, com equidistância de 1 metro, teste de normalidade apresentou amostras normais, o teste de t de Student se mostrou tendencioso e na acurácia produto não acurado (Figura 23). Tendo esses resultados o resultado de Erro Padrão (EP)

igual a 0,27 (Figura 24) e Quadro 4, para a Classe A, com equidistância de um metro, chegou-se a escala resultante de 1:1.000.

Figura 23 - Resultados da PEC-PCD

Acurácia Posicional (Decreto 89.817 / ET-CQDG) - Altimetria

Equist. Curva de Nível (m):

Nº Pts Total: 6
Nº Pts Excluídos do cálculo: 0

Teste de Normalidade | Decreto 89.817 (PEC) | Tendência | Acurácia (Resumo Resultados)

Análise da Precisão:
Decreto 89.817: **Classe A**
Classe A

Análise das tendências
Teste de Normalidade: **Amostra Normal**
T de Student: **Tendencioso**
Tendencioso

ACURÁCIA
Produto Não Acurado
[Metodologia Santos et al. (2016)]

Fonte: Relatório GeoPEC.

Figura 24 – Resultado do Erro Padrão (EP)

Acurácia Posicional (Decreto 89.817 / ET-CQDG) - Altimetria

Equist. Curva de Nível (m):

Nº Pts Total: 6
Nº Pts Excluídos do cálculo: 0

Teste de Normalidade | Decreto 89.817 (PEC) | Tendência | Acurácia (Resumo Resultados)

Padrões do Decreto 89.817 / ET-CQDG:

Classe	PEC (mm)	EP (mm)	PEC (m)	EP (m)
A	0,27	1/6	0,27	0,1667
B	1/2	1/3	0,5	0,3333
C	3/5	2/5	0,6	0,4
D	3/4	1/2	0,75	0,5

Classificação do Decreto 89.817 / ET-CQDG:

Classe	ET-CQDG	%d(H) < PEC	RMS < EP	Resultado
A	A	100,000	Passou	Aprovado
B	B	100,000	Passou	Aprovado
C	C	100,000	Passou	Aprovado
D	D	100,000	Passou	Aprovado

Fonte: Relatório GeoPEC.

Quadro 4 – Padrão de Exatidão Cartográfica da Altimetria (curvas de nível) dos Produtos Cartográficos Digitais

PEC	PEC-PCD	1:1.000 (Eqd = 1 m)		1:2.000 (Eqd = 1 m)		1:5.000 (Eqd = 2 m)		1:10.000 (Eqd = 5 m)		1:25.000 (Eqd = 10 m)		Continuação
		PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	...
A	A	0,50	0,33	0,50	0,33	1,00	0,67	2,50	1,67	5,00	3,33	...
B	B	0,60	0,40	0,60	0,40	1,20	0,80	3,00	2,00	6,00	4,00	...
C	C	0,75	0,50	0,75	0,50	1,50	1,00	3,75	2,50	7,50	5,00	...
	D ⁽⁴⁾	1,00	0,60	1,00	0,60	2,00	1,20	5,00	3,00	10,00	6,00	...

Fonte: Padrões INDE.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aprendizado adquirido com a execução deste trabalho foi de grande importância para complementação da formação dos autores, visto que conceitos e métodos foram revisados. Com a aplicação prática dos métodos utilizados, pode-se notar a problemática advinda dos serviços, como prazos de entrega, custo de operação, além de problemas como a disponibilidade de equipamentos. Na realização do nivelamento geométrico pode-se observar que a utilização da mira de 2 m, não é o mais indicado, visto que, em regiões de ocorrência de aclives e declives, esta mira reduziu a distância de operação, consequentemente diminuindo o rendimento diário em campo.

Para a determinação das altitudes normais pelos métodos utilizados (Nivelamento Geométrico e Posicionamento GNSS/Nivelamento), pode-se constatar diferenças em relação ao tempo e a dificuldade de operação dos equipamentos para ocupação dos PS, além de procedimentos distintos em escritório para obtenção das altitudes. Diante disto, o posicionamento GNSS/Nivelamento mostrou-se mais ágil na ocupação dos PS, contudo, a determinação das altitudes normais por este método, exige um conhecimento mais detalhado na área de geodesia que o nivelamento geométrico.

A expectativa inicial deste trabalho era encontrar um padrão de discrepância das altitudes normais de acordo com a linha de base, podendo estabelecer um grau de confiabilidade para o uso do método de posicionamento GNSS/Nivelamento em relação a linha de base, porém não houve essa padronização. E ao comparar a altitude calculada a partir do posicionamento em relação à do nivelamento geométrico, observou-se que o ponto com apenas 2 km em relação a linha de base apresentou uma discrepância de 5,86 cm, e os demais pontos, não apresentaram um padrão de discrepância, impossibilitando o estabelecimento de um grau de confiabilidade de acordo com a linha de base.

Com os resultados obtidos, verificou-se que o posicionamento GNSS/Nivelamento obteve valores para a altitude normal próximos aos do nivelamento geométrico, visto que, as altitudes normais encontradas por este método, resultaram de relações matemáticas e da utilização da ondulação geoidal advinda do MAPGEO2015. As normativas existentes que regularizam um levantamento altimétrico, não estabelecem critérios para a validação dos resultados obtidos por posicionamento GNSS/Nivelamento, sendo assim, os dados do posicionamento foram classificados de acordo com a PEC-PCD, classificando os dados em classe A, com curvas de equidistância de um metro, na escala de 1:1.000.

Recomenda-se para trabalhos futuros repetir-se estas comparações, contudo, em uma área com relevo predominantemente plano, ao realizar o método de nivelamento geométrico utilize uma seção continua superior à 20 km apoiado em pelos menos duas RRNN, o que garantirá maior controle sobre os erros cometidos sendo possível verificar a qualidade do ajustamento das RRNN utilizadas. Quanto ao posicionamento, recomenda-se que utilize tempos de rastreios diferentes, tornando possível verificar a variação dos dados de acordo com o tempo de observação.

7. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 13.133 – Execução de Levantamento Topográfico. Rio de Janeiro, 1994. Disponível em: <http://www.carto.eng.uerj.br/cdecart/download/NBR13133.pdf>. Acessado em: 10 de junho de 2019.

ARANA, J. M. Introdução à Geodésia Física. Departamento de Cartografia. Faculdade de Ciências e Tecnologia Unesp. Presidente Prudente, 2009.

BRASIL. 1984. Decreto N° 89.817 de 20 de Junho de 1984. Normas Técnicas Da Cartografia Nacional. Brasil. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/d89817.htm. Acesso em: 05 de fevereiro de 2020.

BRASIL. Normas da Especificação Técnica para Controle de Qualidade de dados Geoespaciais (ET-CQDG), Ministério da Defesa Exército Brasileiro, Departamento de Ciência e Tecnologia -1ª edição. Brasil, 2016. Disponível em: http://www.geoportal.eb.mil.br/portal/images/PDF/ET_CQDG_1a_edicao_2016.pdf. Acessado em: 5 fevereiro de. 2020.

CASTRO, A. L. P. de. Nivelamento através do GPS: avaliação e proposição de estratégias. 2002. 175 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Programa de Pós Graduação em Ciências Cartográficas, Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNESP, São Paulo.

CASTRO JÚNIOR, C. A. C. Arcabouço gravimétrico brasileiro e o meio ambiente: possibilidades e perspectivas. 2018. 234 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2018. Disponível em: <http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/8460>. Acessado em: 7 de novembro de 2019.

DNIT. Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários Escopos Básicos/Instruções de Serviço – 2ª edição. Rio de Janeiro, 2005. DNIT - Departamento Nacional de Infra-estruturas de Transportes. Disponível em: http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Diretrizes%20B%20E1sicas%20para%20Elabora%E7%E3o%20de%20de%20Estudos%20e%20Projetos.pdf. Acesso: 10 junho 2019.

FERREIRA, V. G.; BARBOSA, L. G.; BAHIA, J. G. Altitude Ortométrica Derivada a Partir de Observações GPS. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. UFSC Florianópolis, 2008.

GEMAEL, C. Introdução à Geodésia Física. Editora da UFPR. Curitiba, 2002.

HEISKANEN, W. A.; MORITZ, H. Physical Geodesy. San Francisco: W. H. Freeman and Company, 1967.

HILLESHEIM, R. Procedimentos de locação empregados em obra de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil. Florianópolis, 2015.

IBGE. O novo modelo de ondulação geoidal do Brasil MAPGEO2015. Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia. Rio de Janeiro, 2015.

IBGE. Especificações e Normas para Levantamentos Geodésicos associados ao Sistema Geodésico Brasileiro. Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em:

ftp://geofp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/normas_levantamentos_geodesicos.pdf. Acessado em: 12 de novembro de 2019.

NICACIO, E.; SANTACRUZ JARAMILLO, A. G.; ZANETTI, G. Z.; FAGGION, P. L. Avaliação de técnicas de nivelamento e métodos de posicionamento GNSS para determinação de desnível de primeira ordem. R. bras. Geom., Curitiba, v.6, n.4, p.274-293, out/dez. 2018. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo>. Acesso em: 14 de maio de 2019.

MATOS, A. C. O. C.; BLITZKOW, D.; GUIMARÃES, G. N.; LOBIANCO, M. C. B.; COSTA, S. M. A. Validação do MAPGEO2010 e comparação com modelos do geopotencial recentes. Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos, Curitiba, v. 18, no 1, p.101-122, jan-mar, 2012.

MONICO, J. F. G. Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações. 2. Ed. São Paulo: Editora UNESP, 2008.

RODRIGUEZ, L.S. Determinación de la superficie vertical de referência para Colombia. Technische Universität Dresden. Dresde, 2003.

SANTOS, A. P. Avaliação da Acurácia Posicional em dados espaciais com o uso da Estatística Espacial. 2010. 128 p. Dissertação – Setor de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2010.

VANÍČEK, P.; SANTOS, M. S.; TENZER, R.; NAVARRO, A. H. Algunos aspectos sobre alturas ortométricas y normales. Revista Cartográfica, n.76/77, p. 79-86, dez 2003.

VEIGA, L.A.K., ZANETTI, M. A. Z.; FAGGION, P. L.; Fundamentos de Topografia. Universidade Federal do Paraná, Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Departamento de Geomática. Curitiba, 2012.

ZILKOSKI, D. B. Establishing Vertical Control Using GPS satellite Surveys. International Federation of Surveying Congress (FIG), 1990.

ZILKOSKI, D. B.; HOTHEM, L. D. GPS satellite surveys and vertical control. Journal of Surveying Engineering, v. 115, n. 2, p. 262-281, 1989.

APÊNDICE A – NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

Trecho 1 – RN 2326P compreendendo os PS 2km ao PS 12 km.

Nivelamento					Contra nivelamento				
PN	RÉ	VANTE	(AI)	H ^N	PN	RÉ	VANTE	AI	H ^N
RN 2326P	1,3229		709,5370	708,2141	RN 2326P	1,2798		709,4939	708,2141
	1,7229	0,2809	710,9790	709,2561		1,8293	0,3443	710,9789	709,1496
	0,9180	0,4689	711,4281	710,5101		0,9496	0,5014	711,4271	710,4775
	1,3478	1,8261	710,9498	709,6020		1,2194	1,6962	710,9503	709,7309
A1	1,3452	1,7203	710,5747	709,2295	A1	1,3452	1,7208	710,5747	709,2295
	0,5768	1,8452	709,3063	708,7295		0,4799	1,7487	709,3059	708,8260
	0,3243	1,9951	707,6355	707,3112		0,2514	1,9219	707,6354	707,3840
	0,7695	1,8411	706,5639	705,7944		0,6832	1,7552	706,5634	705,8802
	0,5732	1,9369	705,2002	704,6270		0,4896	1,8530	705,2000	704,7104
	0,7029	1,9752	703,9279	703,2250		0,6494	1,9216	703,9278	703,2784
	0,7479	1,8333	702,8425	702,0946		0,6738	1,7600	702,8416	702,1678
	0,3177	1,8944	701,2658	700,9481		0,2822	1,8589	701,2649	700,9827
	0,5910	1,9448	699,9120	699,3210		0,5618	1,9158	699,9109	699,3491
	1,7585	1,8170	699,8535	698,0950		1,7006	1,7590	699,8525	698,1519
	1,8178	0,2644	701,4069	699,5891		1,7862	0,2310	701,4077	699,6215
	1,9013	0,1605	703,1477	701,2464		1,9273	0,1870	703,1480	701,2207
	1,9279	0,1420	704,9336	703,0057		1,9608	0,1754	704,9334	702,9726
	1,8574	0,1744	706,6166	704,7592		1,8823	0,1993	706,6164	704,7341
	1,9371	0,3481	708,2056	706,2685		1,9422	0,3533	708,2053	706,2631
	1,9354	0,4437	709,6973	707,7619		1,9592	0,4650	709,6995	707,7403
	1,9615	0,1914	711,4674	709,5059		1,9283	0,1583	711,4695	709,5412
	1,9692	0,0867	713,3499	711,3807		1,9829	0,1009	713,3515	711,3686
	1,9533	0,2077	715,0955	713,1422		1,9898	0,2441	715,0972	713,1074
	1,9128	0,0619	716,9464	715,0336		1,9941	0,1434	716,9479	714,9538
	1,9122	0,1405	718,7181	716,8059		1,9739	0,2021	718,7197	716,7458
	1,8497	0,8315	719,7363	717,8866		1,9233	0,8982	719,7448	717,8215
K10	1,9605	0,9873	720,7095	718,7490	K10	1,9605	0,9945	720,7108	718,7503
	1,9037	0,5186	722,0946	720,1909		1,9873	0,6020	722,0961	720,1088
	1,8503	0,1776	723,7673	721,9170		1,9640	0,2913	723,7688	721,8048
	1,8236	0,1164	725,4745	723,6509		1,8698	0,1623	725,4763	723,6065
	1,8860	0,1245	727,2360	725,3500		1,9505	0,1892	727,2376	725,2871
	1,9003	0,0773	729,0590	727,1587		1,9906	0,1678	729,0604	727,0698
	1,8849	0,1142	730,8297	728,9448		1,9410	0,1707	730,8307	728,8897
	1,9546	0,1406	732,6437	730,6891		1,9420	0,1278	732,6449	730,7029
	1,9591	0,1453	734,4575	732,4984		1,9138	0,0993	734,4594	732,5456
	1,9729	0,0711	736,3593	734,3864		1,9570	0,0555	736,3609	734,4039
	1,8974	0,1061	738,1506	736,2532		1,8147	0,0235	738,1521	736,3374
	1,9673	0,0555	740,0624	738,0951		1,9847	0,0729	740,0639	738,0792
	1,9159	0,1800	741,7983	739,8824		1,8626	0,1269	741,7996	739,9370
	1,9952	0,1910	743,6025	741,6073		1,9813	0,1774	743,6035	741,6222
	1,8364	0,1466	745,2923	743,4559		1,7875	0,0973	745,2937	743,5062
	1,8701	0,0862	747,0762	745,2061		1,8077	0,0055	747,0959	745,2882

A2	1,7845	0,4496	748,4111	746,6266
	1,7091	0,6027	749,5175	747,8084
	1,9258	0,3411	751,1022	749,1764
	1,8013	0,1533	752,7502	750,9489
	1,9593	0,2840	754,4255	752,4662
	1,9791	0,0592	756,3454	754,3663
	1,9628	0,2734	758,0348	756,0720
	1,8522	0,1949	759,6921	757,8399
	1,7637	0,0790	761,3768	759,6131
	1,9770	0,1550	763,1988	761,2218
	1,9788	0,2351	764,9425	762,9637
	1,6071	0,0951	766,4545	764,8474
	1,0775	1,0035	766,5285	765,4510
	0,8125	1,9876	765,3534	764,5409
	1,3968	1,6012	765,1490	763,7522
	1,6603	1,0269	765,7824	764,1221
	1,9720	1,0296	766,7248	764,7528
	1,9535	0,3657	768,3126	766,3591
	1,7067	0,0523	769,9670	768,2603
	1,9837	0,3430	771,6077	769,6240
	1,9409	0,1038	773,4448	771,5039
	1,7073	0,1340	775,0181	773,3108
	1,0047	0,9777	775,0451	774,0404
	1,1989	1,4729	774,7711	773,5722
K08	0,8527	1,6169	774,0069	773,1542
	0,6931	1,8598	772,8402	772,1471
	0,7140	1,8358	771,7184	771,0044
	0,0965	1,8127	770,0022	769,9057
	0,0389	1,9186	768,1225	768,0836
	0,0474	1,8613	766,3086	766,2612
	0,3121	1,9193	764,7014	764,3893
	0,6710	1,9318	763,4406	762,7696
	1,7619	1,8861	763,3164	761,5545
	1,9450	0,1479	765,1135	763,1685
	1,9933	0,1630	766,9438	764,9505
	1,9807	0,0919	768,8326	766,8519
	1,7080	0,1007	770,4399	768,7319
	1,0352	1,3401	770,1350	769,0998
	0,5453	1,7041	768,9762	768,4309
	0,9989	1,8870	768,0881	767,0892
	1,1167	1,8960	767,3088	766,1921
A3	1,1218	1,7142	766,7164	765,5946
	1,5371	1,3812	766,8723	765,3352
	1,9481	0,3666	768,4538	766,5057
	1,8887	0,0573	770,2852	768,3965
	1,9791	0,0646	772,1997	770,2206
	1,9296	0,1237	774,0056	772,0760
	1,9446	0,0548	775,8954	773,9508
	1,9800	0,1030	777,7724	775,7924
	1,9053	0,1683	779,5094	777,6041

A2	1,7845	0,4661	748,4143	746,6298
	1,6610	0,5548	749,5205	747,8595
	1,8923	0,3077	751,1051	749,2128
	1,7641	0,1162	752,7530	750,9889
	1,9153	0,2396	754,4287	752,5134
	1,9383	0,0184	756,3486	754,4103
	1,9374	0,2293	758,0567	756,1193
	1,8129	0,1726	759,6970	757,8841
	1,7360	0,0514	761,3816	759,6456
	1,9631	0,1426	763,2021	761,2390
	1,9735	0,2305	764,9451	762,9716
	1,5865	0,0759	766,4557	764,8692
	1,0811	1,0066	766,5302	765,4491
	0,8044	1,9779	765,3567	764,5523
	1,3574	1,5612	765,1529	763,7955
	1,6360	1,0028	765,7861	764,1501
	1,9425	0,9997	766,7289	764,7864
	1,9211	0,3342	768,3158	766,3947
	1,6798	0,0260	769,9696	768,2898
	1,9525	0,3121	771,6100	769,6575
	1,9057	0,0684	773,4473	771,5416
	1,6799	0,1061	775,0211	773,3412
	0,9697	0,9429	775,0479	774,0782
	1,1796	1,4536	774,7739	773,5943
K08	0,8527	1,6169	774,0097	773,1570
	0,6791	1,8453	772,8435	772,1644
	0,7047	1,8267	771,7215	771,0168
	0,0986	1,8136	770,0065	769,9079
	0,0336	1,9149	768,1252	768,0916
	0,0385	1,8526	766,3111	766,2726
	0,3171	1,9242	764,7040	764,3869
	0,6776	1,9384	763,4432	762,7656
	1,7506	1,8743	763,3195	761,5689
	1,9330	0,1361	765,1164	763,1834
	1,9802	0,1503	766,9463	764,9661
	1,9712	0,0826	768,8349	766,8637
	1,6996	0,0916	770,4429	768,7433
	1,0310	1,3354	770,1385	769,1075
	0,5383	1,6970	768,9798	768,4415
	0,9869	1,8747	768,0920	767,1051
	1,1046	1,8841	767,3125	766,2079
A3	1,1218	1,7142	766,7201	765,5983
	1,5302	1,3746	766,8757	765,3455
	1,9297	0,3494	768,4560	766,5263
	1,8458	0,0138	770,2880	768,4422
	1,9581	0,0442	772,2019	770,2438
	1,9014	0,0957	774,0076	772,1062
	1,9207	0,0304	775,8979	773,9772
	1,9592	0,0808	777,7763	775,8171
	1,8746	0,1375	779,5134	777,6388

	1,8661	0,1028	781,2727	779,4066
	1,9488	0,0500	783,1715	781,2227
	1,9762	0,1898	784,9579	782,9817
	1,8589	0,0218	786,7950	784,9361
	1,9892	0,0620	788,7222	786,7330
	1,8482	0,0538	790,5166	788,6684
	1,8583	0,0797	792,2952	790,4369
	1,9960	0,1809	794,1103	792,1143
	1,9362	0,1052	795,9413	794,0051
	1,7834	0,1409	797,5838	795,8004
	1,9904	0,2163	799,3579	797,3675
	1,9975	0,3598	800,9956	798,9981
	2,0072	0,1986	802,8042	800,7970
	1,8655	0,2421	804,4276	802,5621
	1,7752	0,1499	806,0529	804,2777
	1,7043	0,4518	807,3054	805,6011
	1,8287	0,3159	808,8182	806,9895
	1,7326	0,1275	810,4233	808,6907
	1,6317	0,4005	811,6545	810,0228
K06	1,9852	1,1666	812,4731	810,4879
	1,7849	0,3702	813,8878	812,1029
	1,9836	0,3430	815,5284	813,5448
	1,9130	0,0996	817,3418	815,4288
	1,8674	0,1297	819,0795	817,2121
	1,8668	0,5297	820,4166	818,5498
	1,7011	0,5039	821,6138	819,9127
	1,8614	0,6423	822,8329	820,9715
A4	1,7253	0,7167	823,8415	822,1162
	1,7682	0,7524	824,8573	823,0891
	1,8377	0,0572	826,6378	824,8001
	1,9960	0,2309	828,4029	826,4069
	1,6343	0,5930	829,4442	827,8099
	1,5768	1,3675	829,6535	828,0767
	1,7686	0,4466	830,9755	829,2069
	1,6484	0,9281	831,6958	830,0474
	1,5787	0,3197	832,9548	831,3761
	1,5023	0,6784	833,7787	832,2764
	1,3630	1,2919	833,8498	832,4868
	0,8244	1,6941	832,9801	832,1557
	0,5611	1,6285	831,9127	831,3516
	0,6857	1,9310	830,6674	829,9817
	0,6644	1,7675	829,5643	828,8999
	0,7405	1,9011	828,4037	827,6632
	0,5637	1,8142	827,1532	826,5895
	0,4671	1,9601	825,6602	825,1931
	0,4233	1,4100	824,6735	824,2502
	0,5827	1,7080	823,5482	822,9655
	0,1578	1,9775	821,7285	821,5707
	0,0498	1,8475	819,9308	819,8810
	0,2843	1,8558	818,3593	818,0750

	1,8357	0,0721	781,2770	779,4413
	1,9296	0,0307	783,1759	781,2463
	1,9580	0,1717	784,9622	783,0042
	1,8391	0,0025	786,7988	784,9597
	1,9662	0,0386	788,7264	786,7602
	1,8315	0,0372	790,5207	788,6892
	1,8402	0,0616	792,2993	790,4591
	1,9706	0,1554	794,1145	792,1439
	1,9177	0,0860	795,9462	794,0285
	1,7652	0,1228	797,5886	795,8234
	1,9671	0,1934	799,3623	797,3952
	1,9764	0,3386	801,0001	799,0237
	1,9775	0,1682	802,8094	800,8319
	1,8314	0,2074	804,4334	802,6020
	1,7745	0,1488	806,0591	804,2846
	1,7020	0,4497	807,3114	805,6094
	1,7946	0,2819	808,8241	807,0295
	1,7122	0,1069	810,4294	808,7172
	1,6195	0,3881	811,6608	810,0413
K06	1,9852	1,1666	812,4794	810,4942
	1,7765	0,3617	813,8942	812,1177
	1,9741	0,3337	815,5346	813,5605
	1,8948	0,0794	817,3500	815,4552
	1,8499	0,1124	819,0875	817,2376
	1,8407	0,5033	820,4249	818,5842
	1,6843	0,4864	821,6228	819,9385
	1,8361	0,6179	822,8410	821,0049
A4	1,7253	0,7167	823,8496	822,1243
	1,7821	0,7665	824,8652	823,0831
	1,8246	0,0441	826,6457	824,8211
	1,9696	0,2054	828,4099	826,4403
	1,6364	0,5954	829,4509	827,8145
	1,5595	1,3501	829,6603	828,1008
	1,7073	0,3856	830,9820	829,2747
	1,6190	0,8990	831,7020	830,0830
	1,5817	0,3228	832,9609	831,3792
	1,5032	0,6796	833,7845	832,2813
	1,3606	1,2897	833,8554	832,4948
	0,8332	1,7026	832,9860	832,1528
	0,5955	1,6629	831,9186	831,3231
	0,6982	1,9437	830,6731	829,9749
	0,6475	1,7515	829,5691	828,9216
	0,7397	1,8976	828,4112	827,6715
	0,5795	1,8292	827,1615	826,5820
	0,4470	1,9401	825,6684	825,2214
	0,4376	1,4241	824,6819	824,2443
	0,5934	1,7186	823,5567	822,9633
	0,1644	1,9840	821,7371	821,5727
	0,0575	1,8546	819,9400	819,8825
	0,2800	1,8513	818,3687	818,0887

	0,8051	1,7419	817,4225	816,6174
	0,2405	1,9193	815,7437	815,5032
	0,2236	1,9770	813,9903	813,7667
	0,1877	1,7233	812,4547	812,2670
	0,4223	1,8461	811,0309	810,6086
	0,2335	1,7304	809,5340	809,3005
	0,0353	1,8102	807,7591	807,7238
	0,8181	1,7683	806,8089	805,9908
	0,0318	1,8550	804,9857	804,9539
	0,4484	1,6544	803,7797	803,3313
	0,5511	1,8922	802,4386	801,8875
	0,1874	1,9466	800,6794	800,4920
	0,2990	1,9112	799,0672	798,7682
	0,3000	1,9102	797,4570	797,1570
	0,5371	1,9070	796,0871	795,5500
	0,0692	1,9517	794,2046	794,1354
	0,6925	1,8377	793,0594	792,3669
	0,4172	1,9111	791,5655	791,1483
	0,6143	1,9034	790,2764	789,6621
	0,3281	1,9249	788,6796	788,3515
	0,4469	1,8726	787,2539	786,8070
	1,1778	1,7254	786,7063	785,5285
	0,1209	1,6333	785,1939	785,0730
	0,6146	1,6850	784,1235	783,5089
	0,4670	1,8539	782,7366	782,2696
	0,7786	1,7173	781,7979	781,0193
	0,7318	1,6095	780,9202	780,1884
K04	1,1627	1,5669	780,5160	779,3533
	0,4335	1,9149	779,0346	778,6011
	1,0843	1,8398	778,2791	777,1948
	0,8390	1,8681	777,2500	776,4110
	0,5996	1,8910	775,9586	775,3590
A5	1,1252	1,6638	775,4200	774,2948
	0,3445	1,8725	773,8920	773,5475
	0,3887	1,8470	772,4337	772,0450
	0,0993	1,9469	770,5861	770,4868
	0,2053	1,9220	768,8694	768,6641
	1,0337	1,4861	768,4170	767,3833
	0,7165	1,7154	767,4181	766,7016
	1,3117	1,1274	767,6024	766,2907
	0,3334	1,5668	766,3690	766,0356
A6	0,2394	1,3084	765,3000	765,0606
	0,1840	1,9869	763,4971	763,3131
	0,5809	1,9791	762,0989	761,5180
	1,0915	1,5887	761,6017	760,5102
	1,1338	1,5625	761,1730	760,0392
	0,7629	1,7075	760,2284	759,4655
	1,0920	1,3822	759,9382	758,8462
	1,0511	1,3732	759,6161	758,5650
	1,1606	1,3421	759,4346	758,2740

	0,8174	1,7549	817,4312	816,6138
	0,2410	1,9193	815,7529	815,5119
	0,2424	1,9958	813,9995	813,7571
	0,2021	1,7389	812,4627	812,2606
	0,4298	1,8538	811,0387	810,6089
	0,2433	1,7398	809,5422	809,2989
	0,0219	1,7981	807,7660	807,7441
	0,8110	1,7616	806,8154	806,0044
	0,0459	1,8688	804,9925	804,9466
	0,4220	1,6284	803,7861	803,3641
	0,5405	1,8817	802,4449	801,9044
	0,1884	1,9484	800,6849	800,4965
	0,3050	1,9167	799,0732	798,7682
	0,2834	1,8933	797,4633	797,1799
	0,5107	1,8806	796,0934	795,5827
	0,0537	1,9351	794,2120	794,1583
	0,7083	1,8426	793,0777	792,3694
	0,4157	1,9098	791,5836	791,1679
	0,6063	1,8952	790,2947	789,6884
	0,3123	1,9071	788,6999	788,3876
	0,4374	1,8627	787,2746	786,8372
	1,1762	1,7230	786,7278	785,5516
	0,0929	1,6056	785,2151	785,1222
	0,5716	1,6417	784,1450	783,5734
	0,4738	1,8607	782,7581	782,2843
	0,7884	1,7265	781,8200	781,0316
	0,7427	1,6205	780,9422	780,1995
K04	1,1627	1,5669	780,5380	779,3753
	0,4405	1,9224	779,0561	778,6156
	1,0870	1,8417	778,3014	777,2144
	0,8644	1,8934	777,2724	776,4080
	0,6147	1,9058	775,9813	775,3666
A5	1,1252	1,6638	775,4427	774,3175
	0,3517	1,8789	773,9155	773,5638
	0,4087	1,8661	772,4581	772,0494
	0,1151	1,9628	770,6104	770,4953
	0,2159	1,9329	768,8934	768,6775
	1,0328	1,4855	768,4407	767,4079
	0,7288	1,7279	767,4416	766,7128
	1,3149	1,1301	767,6264	766,3115
	0,3324	1,5672	766,3916	766,0592
A6	0,2394	1,3084	765,3226	765,0832
	0,1923	1,9944	763,5205	763,3282
	0,5905	1,9886	762,1224	761,5319
	1,0945	1,5914	761,6255	760,5310
	1,1473	1,5761	761,1967	760,0494
	0,7339	1,6784	760,2522	759,5183
	1,0635	1,3539	759,9618	758,8983
	1,0301	1,3526	759,6393	758,6092
	1,1766	1,3595	759,4564	758,2798

	1,0070	1,7093	758,7323	757,7253		0,9989	1,7008	758,7545	757,7556
	0,5908	1,8470	757,4761	756,8853		0,6267	1,8829	757,4983	756,8716
	1,0068	1,9547	756,5282	755,5214		1,0283	1,9765	756,5501	755,5218
	0,3118	1,9145	754,9255	754,6137		0,3493	1,9521	754,9473	754,5980
	0,4220	1,9815	753,3660	752,9440		0,4366	1,9963	753,3876	752,9510
	0,5663	1,8237	752,1086	751,5423		0,5707	1,8286	752,1297	751,5590
	0,8806	1,8805	751,1087	750,2281		0,8825	1,8814	751,1308	750,2483
	1,0797	1,8042	750,3842	749,3045		1,0765	1,8008	750,4065	749,3300
	0,9873	1,6352	749,7363	748,7490		0,9806	1,6281	749,7590	748,7784
	0,9235	1,6231	749,0367	748,1132		0,9085	1,6074	749,0601	748,1516
	0,5165	1,9745	747,5787	747,0622		0,5107	1,9684	747,6024	747,0917
	1,1014	1,8923	746,7878	745,6864		1,0938	1,8846	746,8116	745,7178
K02		1,6042	745,1836	745,1836	K02		1,6042	745,2074	745,2074
$\Sigma =$	253,1019	216,1324			$\Sigma =$	251,4774	214,4841		
$\Delta\Sigma =$				36,9695	$\Delta\Sigma =$				36,9933
Cf - Ci =				36,9695	Cf - Ci =				36,9933
Distância percorrida (km) =						10,20			
Tolerância de fechamento (m) =						$\pm$ 0,0639			
Ec (m) =						-0,0238			

*AI = Altura do Instrumento; H^N = Altitude Normal

Fonte: Os Autores.

Nivelamento					Contra nivelamento				
PN	RÉ	VANTE	(AI)	H ^N	PN	RÉ	VANTE	AI	H ^N
A1	1,7628		710,9923	709,2295	A1	1,7628		710,9923	709,2295
	1,7835	0,8594	711,9164	710,1329		1,7592	0,8367	711,9148	710,1556
	0,6258	1,4078	711,1344	710,5086		0,6149	1,3969	711,1328	710,5179
	0,3704	1,9264	709,5784	709,2080		0,3607	1,9169	709,5766	709,2159
	0,0511	1,8802	707,7493	707,6982		0,0570	1,8860	707,7476	707,6906
	0,0110	1,9340	705,8263	705,8153		0,0103	1,9330	705,8249	705,8146
	0,5867	1,9872	704,4258	703,8391		0,5833	1,9840	704,4242	703,8409
	0,3916	1,9945	702,8229	702,4313		0,3863	1,9897	702,8208	702,4345
	0,0439	1,9778	700,8890	700,8451		0,0348	1,9688	700,8868	700,8520
	0,3700	1,9033	699,3557	698,9857		0,3650	1,8982	699,3536	698,9886
	0,6714	1,8822	698,1449	697,4735		0,6496	1,8603	698,1429	697,4933
	1,7302	1,2998	698,5753	696,8451		1,7066	1,2757	698,5738	696,8672
	1,8422	0,0301	700,3874	698,5452		1,8233	0,0107	700,3864	698,5631
	1,9622	0,0206	702,3290	700,3668		1,9498	0,0072	702,3290	700,3792
	1,8788	0,0751	704,1327	702,2539		1,8628	0,0588	704,1330	702,2702
	1,8853	0,0354	705,9826	704,0973		1,8847	0,0348	705,9829	704,0982
	1,9202	0,0482	707,8546	705,9344		1,9166	0,0452	707,8543	705,9377
	1,8293	0,0441	709,6398	707,8105		1,8202	0,0349	709,6396	707,8194
	1,9408	0,5697	711,0109	709,0701		1,9279	0,5568	711,0107	709,0828
	1,9761	0,0730	712,9140	710,9379		1,9623	0,0591	712,9139	710,9516
	1,8668	0,0806	714,7002	712,8334		1,8555	0,0694	714,7000	712,8445
	1,7338	0,0666	716,3674	714,6336		1,7267	0,0592	716,3675	714,6408
	1,7688	0,0241	718,1121	716,3433		1,7533	0,0082	718,1126	716,3593
	1,8440	0,0535	719,9026	718,0586		1,8276	0,0368	719,9034	718,0758
	1,8427	0,2046	721,5407	719,6980		1,8252	0,1870	721,5416	719,7164
	1,9988	0,0776	723,4619	721,4631		1,9801	0,0588	723,4629	721,4828

	1,9486	0,0117	725,3988	723,4502			1,9382	0,0015	725,3996	723,4614
	1,6952	0,0513	727,0427	725,3475			1,6869	0,0429	727,0436	725,3567
	1,8251	0,0624	728,8054	726,9803			1,8212	0,0584	728,8064	726,9852
	1,9026	0,1042	730,6038	728,7012			1,9049	0,1063	730,6050	728,7001
	1,9897	0,0767	732,5168	730,5271			1,9905	0,0771	732,5184	730,5279
	1,8945	0,1522	734,2591	732,3646			1,9101	0,1684	734,2601	732,3500
	1,8737	0,2528	735,8800	734,0063			1,8813	0,2611	735,8803	733,9990
	1,8914	0,6223	737,1491	735,2577			1,8993	0,6298	737,1498	735,2505
K12		0,9556	736,1935	736,1935		K12		0,9556	736,1942	736,1942
$\Sigma =$	49,7090	22,7450				$\Sigma =$	49,4389	22,4742		
$\Delta\Sigma =$ 26,9640					$\Delta\Sigma =$ 26,9647					
Cf - Ci = 26,9640					Cf - Ci = 26,9647					
Distância percorrida (km) = 1,26										
Tolerância de fechamento (m) = $\pm$ 0,0224										
Ec (m) = -0,0007										

*AI = Altura do Instrumento; H^N = Altitude Normal

Fonte: Os Autores.

ANEXO A – RELATÓRIO DA ESTAÇÃO GEODÉSICA 2326P



Relatório de Estação Geodésica

Estação :	2326P	Nome da Estação :	2326P	Tipo :	Referência de Nível - RN
Município :	GOIÂNIA			UF :	GO
Última Visita:	22/05/2007	Situação Marco Principal :	BOM	Última Atualização :	30/07/2018

DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	16° 43' 46" S	Altitude Normal(m)	708,2141	Gravidade(mGal)	
Longitude	49° 10' 44" W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Datum	
Fonte	GPS Navegação	Sigma Altitude(m)	0,073	Data Medição	
Origem		Datum	Imbituba	Data Cálculo	
Datum	SIRGAS2000	Data Medição	19/02/1990		
Data Medição	22/05/2007	Data Cálculo	30/07/2018		
Data Cálculo		Número Geopotencial (m ² /s ²)	6.928,822		
Sigma Latitude(m)					
Sigma Longitude(m)					
UTM(N)	8.149.486				
UTM(E)	694.148				
MC	-51				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 30/07/2018 - REALT 2018 2ª edição disponível em : <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101666.pdf>
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em : ftp://geotip.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rede_planimetrica/relatorio/rel_sirgas2000.pdf
- Para obtenção de Altitude Ortométrica referente a levantamento SAT utilizar o MAPGEO2015 disponível em : <https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/modelos-digitais-de-superficie/modelos-digitais-de-superficie/10855-modelo-de-ondulacao-geoidal.html>
- As informações de coordenadas estão relacionadas ao sistema SIRGAS2000, em conformidade com a RPR 01/2015 de 24/02/2015 disponível em : ftp://geotip.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/rpr_01_2015_sirgas2000.pdf

Localização

Na Rodovia GO-020, trecho Goiânia - Autódromo de Goiânia; 100 m além do trevo de acesso para o Parque Atheneu, 30 m a esquerda muro de pedras; na entrada para a Chácara Henedina; 8 m a direita lado de dentro da cerca, debaixo de uma árvore (angico).

Descrição

Tronco piramidal de concreto, cor laranja, medindo 15 x 15 cm, aflorando 18 cm da base. Possui uma chapa de metal, estampada: RN 2326-P.

Foto(s) :



Mantenha-se atualizado consultando periodicamente o BDG.
Agradecemos a comunicação de falhas ou omissões.
Para entrar em contato conosco, utilize os recursos abaixo :
Fale conosco: 0800 721 8181 Email: ibge@ibge.gov.br

ANEXO B – RELATÓRIO DA ESTAÇÃO GEODÉSICA 2326Z



Relatório de Estação Geodésica

Estação :	2326Z	Nome da Estação :	2326Z	Tipo :	Referência de Nível - RN
Município :	CALDAZINHA			UF :	GO
Última Visita:	21/02/2017	Situação Marco Principal :	BOM	Última Atualização :	30/07/2018
Conexões :	GPS : 92912				

DADOS PLANIALTIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	16° 49' 00,17389" S	Altitude Normal(m)	716,4710	Gravidade(mGal)	
Longitude	49° 03' 20,59054" W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Datum	
Altitude Geométrica(m)	705,590	Sigma Altitude(m)	0,074	Data Medição	
Fonte	GPS Geodésico	Datum	Imbituba	Data Cálculo	
Origem	Ajustada	Data Medição	13/02/1990		
Datum	SIRGAS2000	Data Cálculo	30/07/2018		
Data Medição	21/02/2017	Número Geopotencial (m ² /s ²)	7.009,626		
Data Cálculo	26/05/2017				
Sigma Latitude(m)	0,003				
Sigma Longitude(m)	0,003				
Sigma Altitude Geométrica(m)	0,012				
UTM(N)	8.139.703,367				
UTM(E)	707.188,943				
MC	-51				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 30/07/2018 - REALT 2018 2ª edição disponível em : <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101666.pdf>
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em : ftp://geftp.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rede_planialtimetrica/relatorio/rel_sirgas2000.pdf
- Para obtenção de Altitude Ortométrica referente a levantamento SAT utilizar o MAPGEO2015 disponível em : <https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/modelos-digitaes-de-superficie/modelos-digitaes-de-superficie/10855-modelo-de-ondulacao-geoidal.html>
- As informações de coordenadas estão relacionadas ao sistema SIRGAS2000, em conformidade com a RPR 01/2015 de 24/02/2015 disponível em : ftp://geftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/rpr_01_2015_sirgas2000.pdf

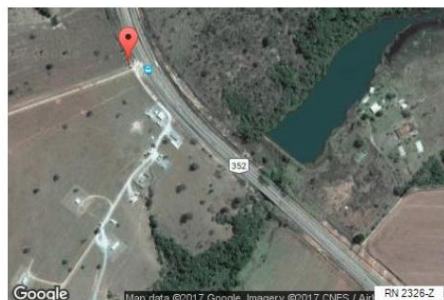
Localização

GO 020 no Km 24, à direita da rodovia (sentido oposto à Goiânia - GO), na entrada para o Sítio Esperança. A direita de uma porteira de ferro, junto da cerca de arame; 10 m aquém de um mata-burro.

Descrição

Tronco piramidal de concreto, medindo 18 cm x 18 cm Aflorando 27,5 cm da base. Possui uma chapa de metal estampada: RN 2326 Z. Possui plataforma de proteção.

Foto(s)



Mantenha-se atualizado consultando periodicamente o BDG.
Agradecemos a comunicação de falhas ou omissões.
Para entrar em contato conosco, utilize os recursos abaixo :
Fale conosco: 0800 721 8181 Email: ibge@ibge.gov.br

ANEXO C – RELATÓRIO DA ESTAÇÃO DA RBMC GOGY – GOIÂNIA



RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS Relatório de Informação de Estação GOGY - Goiânia

0. Formulário

Preparado por: Centro de Controle Eng. Kátia Duarte Pereira - RBMC
Data: 09/06/2013
Atualização: 01/09/2017 - Atualização de Firmware

1. Identificação da estação GPS

Nome da Estação: GOIÂNIA
Ident. da Estação: GOGY
Código SAT: 92860
Código Internacional: 48095M001

2. Informação sobre a localização

Cidade: Goiânia
Estado: Goiás

Informações Adicionais: Pilar cilindro de concreto, medindo 1,80 m de altura e 0,30 m de diâmetro, engastado na coluna de concreto sobre a laje do prédio, no Observatório de Geomática. Possui no topo um dispositivo de centragem forçada e em sua face uma chapa de identificação estampada: SAT 92860. Sobre a laje do prédio onde está situado o Observatório de Geomática, no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia-IFG, Campus Goiânia. Departamento III, Área de Geomática. No sítio deste encontra-se o SAT 92693.

3. Coordenadas oficiais

3.1. SIRGAS2000 (Época 2000.4)

Coordenadas Geodésicas			
Latitude:	- 16° 39' 53,02249"	Sigma:	0,001 m
Longitude:	- 49° 15' 16,82295"	Sigma:	0,001 m
Alt. Elip.:	734,201 m	Sigma:	0,008 m
Coordenadas Cartesianas			
X:	3.989.705,2145 m	Sigma:	0,005 m
Y:	-4.631.044,5820 m	Sigma:	0,006 m
Z:	-1.817.530,0271 m	Sigma:	0,002 m
Coordenadas Planas (UTM)			
UTM (N):	8.156.720,617 m		
UTM (E):	686.129,620 m		
MC:	-51		

4. Informações do equipamento GNSS

4.1. Receptor

- 4.1.1 Tipo do Receptor - TRIMBLE NETR9
Número de Série - 5246K53473
Versão do Firmware - 5.30 (Principal)
Atualização do Firmware - 01/09/2017 às 00:00 UTC
- 4.1.2 Tipo do Receptor - TRIMBLE NETR9
Número de Série - 5246K53473
Versão do Firmware - 5.14 (Principal)
Atualização do Firmware - 24/11/2016 às 00:00 UTC



RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS
Relatório de Informação de Estação
GOGY - Goiânia

4.1.3	Tipo do Receptor	- TRIMBLE NETR9
	Número de Série	- 5246K53473
	Versão do Firmware	- 5.03 (Principal)
	Atualização do Firmware	- 03/08/2015 às 14:35 UTC
4.1.4	Tipo do Receptor	- TRIMBLE NETR9
	Número de Série	- 5246K53473
	Versão do Firmware	- 4.81 (Principal)
	Atualização do Firmware	- 08/01/2014 às 11:47 UTC
4.1.5	Tipo do Receptor	- TRIMBLE NETR9
	Número de Série	- 5246K53473
	Versão do Firmware	- 4.62 (Principal)
	Data de Instalação	- 12/11/2013 às 12:00 UTC
4.1.6	Tipo do Receptor	- TRIMBLE NETRS
	Número de Série	- 4644124503
	Versão do Firmware	- 1.2-0 (Principal)
	Data de Instalação	- 09/06/2013 às 00:00 UTC
	Data de Remoção	- 12/11/2013 às 12:00 UTC

4.2. Antena

4.2.1	Tipo de Antena	- ZEPHYR GNSS GEODETIC II (TRM57971.00)
	URL imagem	- ftp://ftp.igs.org/pub/station/general/antenna.gra
	Número de Série	- 2616117143
	Altura da Antena (m)	- 0,0080 (distância vertical do topo do dispositivo de centragem forçada à base da antena)
	Data de Instalação	- 12/11/2013 às 12:00 UTC
4.2.2	Tipo de Antena	- ZEPHYR GEODETIC (TRM41249.00)
	URL imagem	- http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/LoadImage?name=TRM41249.00%2BNONE.gif
	Número de Série	- 60183651
	Altura da Antena (m)	- 0,0080 (distância vertical do topo do dispositivo de centragem forçada à base da antena)
	Data de Instalação	- 09/06/2013 às 00:00 UTC
	Data de Remoção	- 12/11/2013 às 12:00 UTC

5. Informações Complementares

5.1. Para informações técnicas contatar:

Nome: IBGE/DGC/Coordenação de Geodésia
 Endereço: Av. Brasil, 15.671, CEP 21.241-051, Rio de Janeiro, RJ
 Telefone: (21) 2142-4935
 FAX: (21) 2142-4859
 Home Page: www.ibge.gov.br
 Contato: rbmc@ibge.gov.br

5.2. Para informações sobre comercialização e aquisição de dados contatar:

Nome: Centro de Documentação e Disseminação de Informações - CDDI/IBGE
 Endereço: Rua General Canabarro, 706, CEP 20271-201, Rio de Janeiro, RJ
 Telefone: 0800-721-8181
 Contato: ibge@ibge.gov.br

5.3. Instituições participantes

A RBMC conta com o apoio das seguintes instituições:

<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/parcerias.shtm>