

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA - IGUFU
Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica

RODOLFO ALVES PARAÍSO

ANÁLISE DE MEDIDAS LINEARES, ANGULARES E POSICIONAIS
OBTIDAS COM ESTAÇÕES TOTAIS E GNSS/RTK

Monte Carmelo

2019

RODOLFO ALVES PARAÍSO

**ANÁLISE DE MEDIDAS LINEARES, ANGULARES E POSICIONAIS
OBTIDAS COM ESTAÇÕES TOTAIS E GNSS/RTK**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica.

Orientador: Dr. Claudionor Ribeiro da Silva

Coorientador: Dr. Fernando Luiz de Paula Santil

Monte Carmelo

2019

**ANÁLISE DE MEDIDAS LINEARES, ANGULARES E POSICIONAIS
OBTIDAS COM ESTAÇÕES TOTAIS E GNSS/RTK**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica.

Monte Carmelo, 10 de maio de 2019.

Dr. Claudionor Ribeiro da Silva

Dr. Fernando Luiz de Paula Santil

Dra. Tatiane Assis Vilela Meireles

Primeiramente a Deus. Aos meus pais, Denílson de Paula e Maria da Conceição, à minha irmã Natália que sempre me ofereceram todo o suporte e incentivo necessário para conclusão desta etapa e crescimento profissional.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus. Ele quem me sustentou em meio aos desafios do processo de graduação e me ofertou saúde mental e sabedoria na busca dos meus objetivos.

Aos meus pais e irmã, minha eterna gratidão, pois sempre acreditaram no meu potencial. Sei o tanto que se esforçaram ao longo deste processo para me oferecer o suporte e apoio necessário. Espero poder retribuí-los em breve.

Ainda se tratando de família, agradeço aos fortes laços criados ao longo da formação acadêmica, em especial, à Victória Guerrero e seus pais, estendendo-me a mão sempre que necessitei. Vocês foram minha segunda família em Monte Carmelo.

Aos professores, técnicos e orientador (Dr. Claudionor Ribeiro da Silva), na sua extrema função de ensino, o agradecimento por todo acompanhamento e aprendizado adquirido no curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica da Universidade Federal de Uberlândia *Campus* Monte Carmelo.

Aos amigos, obrigado por tudo! Sentirei a falta de vocês. Em meio às dificuldades, me proporcionaram momentos e experiências, que fizeram deste processo as minhas melhores recordações. Até breve!

Por fim, agradeço aos que colaboraram de forma direta ou indireta para elaboração deste Trabalho de Conclusão de Curso. Em especial aos alunos Rhafisa Guimarães, Gustavo Jonas, Vinícius Lazari e Victória Guerrero.

“Meus irmãos, considerem motivo de grande alegria o fato de passarem por diversas provações, pois vocês sabem que a prova da sua fé produz perseverança”

Thiago 1:2-4

RESUMO

A NBR 13.133 (Norma de Execução de Levantamento Topográfico) é a Norma que fixa os parâmetros necessários para a execução de levantamentos topográficos, buscando controlar a qualidade dos dados planialtimétricos do terreno obtidos nesses levantamentos. Dentre os parâmetros citados nessa Norma, destacam-se as tolerâncias definidas para os erros lineares e angulares, que não devem ser excedidas nos trabalhos topográficos. Algumas estações totais, de propriedade da Universidade Federal de Uberlândia, têm apresentado valores de erros lineares e angulares que excedem a tolerância indicada em Norma. Nesse contexto, o presente trabalho objetivou a realização dos levantamentos de uma poligonal (implantada na unidade UFU/SESI), aplicando diferentes métodos de levantamentos lineares e angulares, para averiguação da acurácia das medidas realizadas com duas estações totais da marca FOIF. As coordenadas geodésicas dessa mesma poligonal foram obtidas com um receptor geodésico GNSS/RTK e admitidas como a verdade de campo. Os erros lineares e angulares encontrados foram avaliados conforme as tolerâncias apontadas pela NBR 13.133. O erro posicional, originado da comparação de coordenadas dos diferentes levantamentos topográficos aplicados em relação ao levantamento geodésico, foram analisados conforme os valores de RMSE e análise estatística do Teste de F com nível de confiança de 95%. Apesar das medidas lineares, de ambas as estações, terem apresentado valores dentro da tolerância, a estação total nº 081814 apresentou incerteza em seus resultados para as medidas angulares, com valores fora da tolerância. O equipamento nº 081816 foi o único a apresentar desenvoltura para a realização de levantamentos topográficos para poligonal do tipo I e classe IIIP, apresentando valores de medidas angulares e lineares, para métodos que são aplicadas as redundâncias dos dados, dentro da tolerância especificada na NBR 13.133, aceitando assim, a hipótese nula do Teste de F .

Palavra-chave: Topografia; Tolerâncias; NBR 13133.

ABSTRACT

The NBR 13.133 (Topographic Survey Execution Standard) is the Standard that establishes the necessary parameters for the execution of topographic surveys, seeking to control the quality of the land-based data obtained in these surveys. Among the parameters cited in this Standard, the tolerances defined for linear and angular errors, which should not be exceeded in topographic works, stand out. Some total stations, owned by the Federal University of Uberlândia, have presented values of linear and angular errors that exceed the tolerance indicated in the Standard. In this context, the present work aimed to carry out the surveys of a polygon (implanted in the unit UFU / SESI), applying different methods of linear and angular surveys, to verify the accuracy of the measurements performed with two FOIF total stations. The geodesic coordinates of this same polygon were obtained with a GNSS / RTK geodetic receiver and admitted as the field truth. The linear and angular errors were evaluated according to the tolerances indicated by the NBR 13.133. The positional error, originated from the comparison of the coordinates of the different topographic surveys applied in relation to the geodetic survey, were analyzed according to the RMSE values and statistical analysis of the F Test with a 95% confidence level. Although the linear measurements of both stations showed values within the tolerance, the total station No. 081814 presented uncertainty in its results for the angular measurements, with values out of tolerance. The equipment # 081816 was the only one present for the topographical surveys for polygons of type I and IIP, presenting values of angular and linear measurements, for methods that are applied to data redundancies, within the tolerance specified in NBR 13.133, thus accepting the null hypothesis of the test of F.

Keyword: Topography; Topolerances; NBR 13133.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Erros Instrumentais	14
Figura 2	Equipamentos Auxiliares do Levantamento Topográfico	19
Figura 3	Fios Estadimétricos	21
Figura 4	Poligonal Fechada com Sentido Anti-horário	22
Figura 5	Poligonal Fechada com Sentido Horário	22
Figura 6	Elementos do Sistema Topográfico Local	26
Figura 7	Localização dos Pontos de Estudo	27
Figura 8	Estação Total FOIF	29
Figura 9	Receptor Geodésico Hiper V	29
Figura 10	Fluxograma da Metodologia	30
Figura 11	Poligonal Fechada de Estudo	31
Figura 12	Posicionamento GNSS/RTK	32
Figura 13	Equipamentos Auxiliares Utilizados no Levantamento Topográfico	34
Figura 14	Representação das Leituras do Levantamento Topográfico	34
Figura 15	Ilustração do Método do Aparelho Não-Orientado	36
Figura 16	Medidas com Pares Conjugados	37
Figura 17	Medidas com Repetição	37
Figura 18	Representação Gráfica do Valores de RMSE	50
Figura 19	Relatório de Estação Geodésica	60
Figura 20	Relatório de Informação de Estação RBMC - Parte 01	61
Figura 21	Relatório de Informação de Estação RBMC - Parte 02	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Classificação de Estações Totais	19
Tabela 2	Tolerâncias Angulares de acordo com a NBR 13.133	38
Tabela 3	Coordenadas Geodésicas	41
Tabela 4	Verdade de Campo (Levantamento Geodésico)	41
Tabela 5	Medidas Lineares da Estações Totais	42
Tabela 6	Medidas Angulares pelo Método Não-orientado	44
Tabela 7	Medidas Angulares pelo Método Par Conjugado	45
Tabela 8	Medidas Angulares pelo Método das Repetições	46
Tabela 9	Transformação das Coordenadas Geodésicas para o STL	47
Tabela 10	Transformação das Coordenadas Geodésicas para o STL - E1	48
Tabela 11	Transformação das Coordenadas Geodésicas para o STL - E2	49
Tabela 12	Cálculo de RMSE entre os Métodos	51
Tabela 13	Erro Posicional de E1	63
Tabela 14	Erro Posicional de E2	64
Tabela 15	Erro Posicional Com Distribuição dos Erros Angulares de E1	65
Tabela 16	Erro Posicional Com Distribuição dos Erros Angulares de E2	66

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
3 JUSTIFICATIVA	15
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
4.1 Norma NBR 13.133	16
4.2 Equipamentos Topográficos	17
4.3 Levantamentos Topográficos.....	19
4.3.1 Poligonais Fechadas	21
4.4 Sistemas de Coordenadas.....	24
4.5 Sistema Topográfico Local.....	25
5 MATERIAL E MÉTODO	27
5.1 Localização dos Pontos de Estudo.....	27
5.2 Material Utilizado.....	28
5.2.1 Estação Total FOIF	28
5.2.2 Receptor GNSS/RTK	29
5.3 Método.....	30
5.3.1 Levantamento GNSS/RTK.....	31
5.3.2 Levantamento das Medidas Lineares	33
5.3.3 Levantamento de Medidas Angulares Horizontais.....	35
5.3.3.1 Medidas com Aparelho Não-Orientado	35
5.3.3.2 Medidas com Pares Conjugados (PD e PI)	36
5.3.3.3 Medidas com Repetição	37
5.3.4 Tolerâncias Angulares e Lineares	38
5.3.5 Análise Estatística das Medidas	39
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
6.1 Levantamento Geodésico.....	40
6.2 Levantamento Topográfico.....	41
6.2.1 Análise das Medidas Lineares	42
6.2.2 Análise das Medidas Angulares	43
6.2.2.1 Análise do Método Não-Orientado	43
6.2.2.2 Análise do Método Pares Conjugados	45
6.2.2.3 Análise do Métodos das Repetições.....	46
6.3 Transformação das Coordenadas	47

6.4 Análise do Teste de F - Hipótese	49
6.5 Erro Posicional.....	50
APÊNDICE A.....	58
APÊNDICE B.....	60
APÊNDICE C.....	1

1 INTRODUÇÃO

O uso de técnicas e ferramentas para determinação de posicionamento, orientação, representação gráfica e medições no espaço geográfico, foram desenvolvidas através da necessidade do homem se deslocar, onde, segundo Fontes (2005), sua aplicação se estenderia também ao sistema econômico produtivo na agricultura. Com o tempo, técnicas e metodologias como a Topografia, se aprimoraram e equipamentos de medição foram criados conforme a atualização e evolução das mesmas, facilitando a obtenção de dados e representação local.

Segundo Faggion, Zanetti e Veiga (2007), etimologicamente, a palavra topografia possui origem grega, onde *TOPOS* significa “lugar” ou “região”, e *GRAPHEN* definida por “descrição”, em linguagem técnica, chamada de levantamento. Assim, entende-se a Topografia como sendo a descrição de um determinado lugar ou região, podendo esta ser dividida em três grandes grupos: planimétrico, altimétrico (nivelamento) e planialtimétrico.

De acordo com os autores supracitados, o levantamento planimétrico tem por definição a determinação da posição planimétrica dos pontos através das coordenadas X e Y. O levantamento altimétrico (ou nivelamento) objetiva a determinação da cota ou altitude de um ponto de coordenada Z e pode ser realizado pelos métodos: geométrico, trigonométrico e barométrico. Por fim, entende-se por levantamento planialtimétrico (coordenadas X, Y e Z), a realização simultânea dos dois primeiros levantamentos em um único projeto.

O levantamento topográfico, definido segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1994), consiste em um:

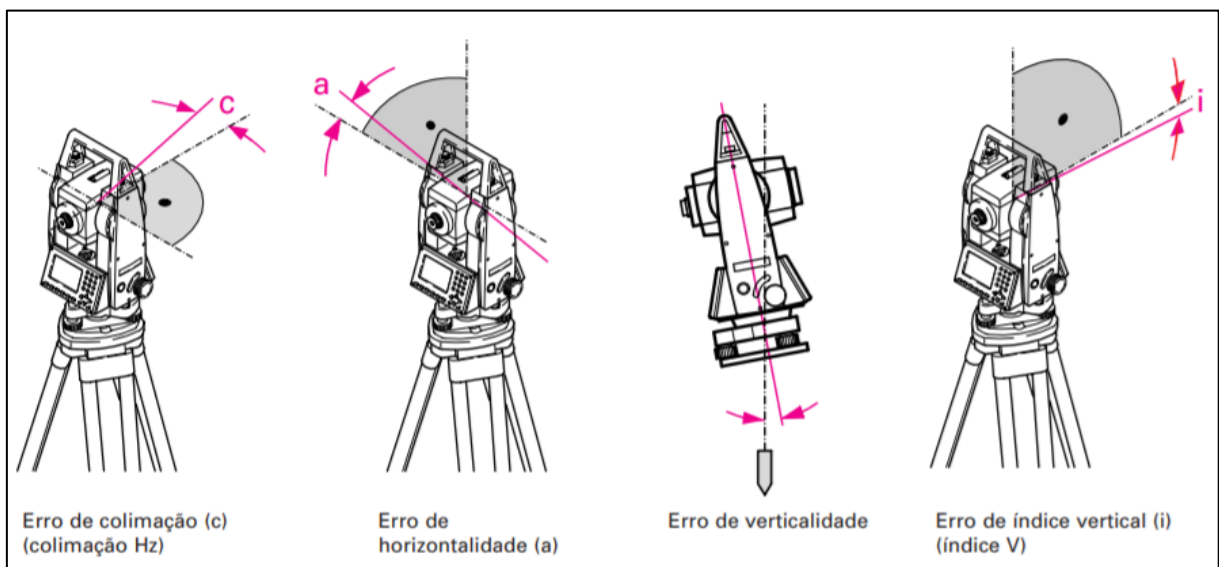
Conjunto de métodos e processos que, através de medições de ângulos horizontais e verticais, de distâncias horizontais, verticais e inclinadas, com instrumental adequado à exatidão pretendida, primordialmente, implanta e materializa pontos de apoio no terreno, determinando suas coordenadas topográficas. (ABNT, 1994, p.3).

Nos levantamentos topográficos, segundo Pittella e Salbego (2014), as observações de distâncias e ângulos horizontais e verticais, podem ser obtidas através do uso de equipamentos como as estações totais, podendo serem frequentemente aplicadas em obras de engenharia, edificações, barragens, rodovias, pontes ou redes de água e esgoto, por exemplo.

Segundo Suárez (2014), todo levantamento topográfico está sujeito a erros, que podem ser do tipo: sistemático, grosseiro e/ou aleatório. Os erros sistemáticos ocorrem de forma repetitiva, em uma mesma ação, e podem ser expressos por uma formulação matemática. Os erros acidentais ou grosseiros são originados por enganos ou descuidos do operador. Por fim, os erros aleatórios são de pequena amplitude, de origem desconhecida e apresentam propriedades estatísticas semelhantes às amostragens. Para que estes não comprometam o resultado do levantamento, é necessária a verificação e o controle dos mesmos através da adoção de técnicas, durante o levantamento topográfico, buscando sempre sua minimização.

Juntamente a estes passíveis erros ocasionados da utilização dos equipamentos topográficos, Souza (2010) afirma que a constante utilização do equipamento, envelhecimento de seus componentes e a manipulação incorreta, podem ocasionar em danos gradativos, como a descalibração do equipamento, influenciando diretamente nos resultados obtidos dos levantamentos. A Figura 1, apresenta alguns destes passíveis erros. Dessa maneira, é possível observar a necessidade de serem aplicados regularmente processos como a calibração, classificação, retificação e verificação do equipamento.

Figura 1 - Erros Instrumentais



Fonte: Leica (2018)

De acordo com Souza (2010), conforme o manuseio do equipamento e a realização da calibração normatizada pelos requisitos gerais da NBR ISO/IEC 17025 de 2005, medidas como a verificação e retificação devem ser realizadas periodicamente para a averiguação de que o equipamento se encontra hábil para uso, atendendo as exigências da ABNT NBR (Norma

Brasileira) 13.133 (Execução de levantamento topográfico), além da segurança e qualidade das observações mensuradas.

Para Souza (2010), a calibração permite verificar a conformidade de um determinado instrumento com as especificações ou normas aplicáveis, além de permitir a validação dos valores indicados no instrumento e o valor verdadeiro que ele mede. No Laboratório de Topografia e Geodésia (LTGEO), do curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica, da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), possui estações totais que são utilizadas em trabalhos acadêmicos e técnicos e que não são regularmente avaliadas em termos de calibração, classificação ou retificação. Nesse contexto, esse estudo busca avaliar a seguinte hipótese: Qual a classificação de duas estações totais (marca FOIF) analisadas, conforme NBR 13.133, levando em consideração medidas lineares e angulares realizadas em campo?

2 OBJETIVOS

O objetivo geral desse estudo é verificar a qualidade das medidas angulares e lineares realizadas com duas estações totais pertencentes à UFU, com o intuito de classificar esses equipamentos segundo a precisão predefinida para levantamento planimétrico descrita na NBR 13.133.

Os objetivos específicos são:

- Avaliar a qualidade das medidas lineares e angulares levantadas com base em um levantamento com GNSS/RTK;
- Classificar as duas estações totais conforme tolerâncias da NBR 13.133;
- Analisar o erro posicional dos pontos levantados.

3 JUSTIFICATIVA

A regularidade da avaliação de processos de calibração, classificação, retificação e verificação das estações totais é fundamental para a qualidade geométrica, sendo necessário o monitoramento dos equipamentos utilizados durante o levantamento topográfico em razão de que estes são frequentemente aplicados em obras de engenharia, além de que, segundo Xavier (2012), para se garantir o uso adequado e seguro de um terreno, seja para assegurar o bom andamento de uma empresa, o levantamento topográfico se configura como indispensável.

Evidencia-se nessa pesquisa, que o emprego de equipamentos utilizados durante o levantamento topográfico, devem ser regularmente sujeitados a procedimentos normalizados para controle e moderação dos possíveis erros, considerando como premissa que estes são passíveis de incertezas em suas medições, onde o desprezo desses processos pode ocasionar na inconfiabilidade dos resultados e de suas medidas obtidas através dos referidos equipamentos.

A certificação da qualidade do produto final está passível do emprego de equipamentos que estejam pertinentes as normativas que regularizam a qualidade instrumental, sendo necessário a verificação de incertezas nas medidas lineares e angulares das estações totais, seguida da classificação vigente na NBR 13.133 para estes equipamentos.

Desta forma, o estudo propõe a aplicabilidade de uma metodologia para verificação e classificação de medidas angulares e lineares de duas estações totais pertencentes à UFU, justificada pela necessidade da identificação das irregularidades e erros presentes, bem como o tratamento destes, para avaliação e validação de projetos executados com estes equipamentos e análise para utilizações futuras de ambas.

A escolha dos dois aparelhos tidos como objeto deste estudo, foi baseada em resultados provenientes de trabalhos já realizados por técnicos e alunos em que se utilizou estes equipamentos, onde ambos apresentaram destaque das demais estações totais do Laboratório LTGEO em relação aos erros angulares, lineares, altimétricos e relativos, excedendo as tolerâncias exigidas pela NBR 13.133. É necessário destacar ainda que estes equipamentos não são regularmente avaliados em termos de calibração, classificação ou retificação.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Norma NBR 13.133

“Esta Norma fixa as condições exigíveis para a execução de levantamento topográfico destinado a obter: ” (ABNT, 1994, p.1).

- a) conhecimento geral do terreno: relevo, limites, confrontantes, área, localização, amarração e posicionamento;
- b) informações sobre o terreno destinadas a estudos preliminares de projetos;
- c) informações sobre o terreno destinadas a anteprojetos ou projetos básicos; e
- d) informações sobre o terreno destinadas a projetos executivos.

Das condições gerais, essas informações permitem ao usuário a verificação de elementos que irão determinar se o levantamento topográfico atende as tolerâncias estabelecidas. Assim, a NBR 13.133, dispõe da compatibilização de:

[...] medidas angulares, medidas lineares, medidas de desníveis e as respectivas tolerâncias em função dos erros. Para a execução de tal, é necessária a escolha correta do método a ser aplicado, junto aos processos e instrumentos com o objetivo de obter um resultado compatível com a destinação do levantamento, de modo que a propagação dos erros não exceda o limite estabelecido por norma. (ABNT, 1994, p.1).

4.2 Equipamentos Topográficos

A NBR 13.133 (1994) estabelece que para a execução de determinado levantamento topográfico, é necessário o manuseio de equipamentos como: teodolitos, níveis, medidores eletrônicos de distância (MED) e estações totais. No entanto, a constante utilização destes instrumentos, pode acarretar na dispersão e imprecisão das medidas mensuradas e resultado final, podendo não apresentar as condições e tolerâncias exigíveis pela normativa. Assim, é conveniente que seja realizado periodicamente medidas como a calibração, classificação, retificação e verificação do equipamento para controle e moderação dos possíveis erros.

Segundo a NBR 13.133 (1994), “os MED devem ser calibrados, no máximo, a cada dois anos, através de testes realizados em entidades oficiais e/ou universidades, sob base multipilares, de concreto, estáveis, com centragem forçada e com expedição de certificado de calibração”. (ABNT, 1994, p. 7). “Os técnicos envolvidos no processo de calibração devem ter, no mínimo, alguma qualificação em gestão de qualidade e ter uma boa compreensão das técnicas de levantamento topográfico e geodésico.” (SUÁREZ, 2014, p.74).

Dessa maneira, a NBR 13.133 (1994) classifica os equipamentos topográficos quanto ao conjunto de observações observados. As descrições seguintes, apresentam as respectivas classes de acordo com a precisão de cada equipamento segundo a normativa vigente. Os teodolitos são classificados em três tipos, quanto ao seu desvio padrão da precisão angular, sendo assim, categorizado como precisão baixa quando esse desvio é menor ou igual à 30”, precisão média quando menor ou igual à 07” e precisão alta quando menor que 02”.

Os níveis podem ser classificados, em seus respectivos desvios-padrões, a partir da realização do duplo levantamento geométrico (nivelamento e contranivelamento) com extensão de 1 km, sendo de precisão baixa quando seu desvio padrão é superior que 100 mm/km, precisão

média quando inferior ou igual à 10 mm/km, precisão alta quando inferior ou igual à 3 mm/km e precisão muito alta quando inferior ou igual à 1 mm/km.

Segundo Fontes (2005), o MED, também chamado de distanciômetro eletrônico, teve seu primeiro projeto desenvolvido pelo cientista sueco Bergstrand em 1943. Este equipamento, possibilitou a realização de medidas entre pontos topográficos sem a aplicação da taqueometria e trenas, oferecendo simplicidade, agilidade e precisão sub milimétricas nos levantamentos topográficos. Esse é classificado como de baixa precisão quando o desvio-padrão de suas medidas equivale à $\pm (10 \text{ mm} + 10 \text{ ppm} \times D)$, onde D representa a Distância em km e ppm é a parte por milhão, possui precisão média quando $\pm (5 \text{ mm} + 5 \text{ ppm} \times D)$ e precisão alta em que $\pm (3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm} \times D)$.

Fontes (2005), define as estações totais como sendo:

[...] um distanciômetro eletrônico geminado com um teodolito, também eletrônico, equipado com cartões magnéticos ou coletores de dados, que dispensam as tradicionais cadernetas de campo. Uma Estação Total combina todas as vantagens de um teodolito eletrônico e de um medidor eletrônico de distância (MED), anteriormente apenas acoplados, com a vantagem atual da facilidade de um controle central único. (FONTES, 2005).

De acordo com Veiga, Zanetti e Faggion (2007), para o cálculo da distância através do uso de estação total, a mesma, fundamenta-se no mesmo modo como são calculados os MED's, resultado da emissão de um raio laser infravermelho (onda eletromagnética) com a velocidade de propagação da luz no vácuo (aproximadamente 300.000 km/s), mirado sobre um prisma refratário no ponto topográfico desejado. O raio então, retorna ao seu ponto de partida, possibilitando assim, o cálculo da distância entre o MED e o ponto visado, com precisão de até três casas decimais, através da Equação 1.

$$2D = c \cdot \Delta t \quad (1)$$

sendo: c é a velocidade de propagação da luz no meio; D é a distância entre o emissor e o refletor; e Δt é o tempo de percurso do sinal.

Segundo Fontes (2005), este equipamento permite a obtenção de distância e ângulos, da realização do levantamento planialtimétrico, de maneira menos onerosa, rápida, confiável e precisa. No entanto, podem apresentar erros de medidas angulares e lineares que são classificados como indicado na Tabela 1:

Tabela 1 - Classificação de Estações Totais

Classes de estações totais	Desvio-padrão Precisão angular	Desvio-padrão Precisão linear
Precisão baixa	$\leq \pm 30''$	$\pm (5\text{mm} + 10 \text{ ppm} \times D)$
Precisão média	$\leq \pm 07''$	$\pm (5\text{mm} + 5 \text{ ppm} \times D)$
Precisão alta	$\leq \pm 02''$	$\pm (3\text{mm} + 3 \text{ ppm} \times D)$

Fonte: ABNT 13.133 (1994, p.7)

Além dos equipamentos já apresentados, apresentam-se como equipamentos auxiliares (Figura 1) na realização de medidas de ângulos e distâncias na topografia: sapata (A), mira ou régua graduada (B), trena (C), baliza (D), prisma (E), entre outros. Para isso, é necessário o uso correto e a aferição de cada, pois são fundamentais na precisão dos resultados dos levantamentos topográficos.

Figura 2 - Equipamentos Auxiliares do Levantamento Topográfico

Fonte: Autor (2018)

4.3 Levantamentos Topográficos

O levantamento topográfico planialtimétrico é o levantamento topográfico planimétrico acrescido da determinação altimétrica do relevo do terreno e da drenagem natural. Segundo a NBR 13.133 (1994), o mesmo entende-se como:

Conjunto de métodos e processos que, através de medições de ângulos horizontais e verticais, de distâncias horizontais, verticais e inclinadas, com instrumental adequado à exatidão pretendida, primordialmente, implanta e materializa pontos de apoio no terreno, determinando suas coordenadas topográficas. A estes pontos se relacionam os pontos de detalhes visando à sua exata representação planimétrica numa escala predeterminada e à sua representação altimétrica por intermédio de curvas de nível, com equidistância também predeterminada e/ou pontos cotados. (ABNT, 1994, p.3).

Independente da finalidade do levantamento topográfico, a NBR 13.133 (1994) estabelece, dentro das condições gerais, o procedimento para as seguintes fases:

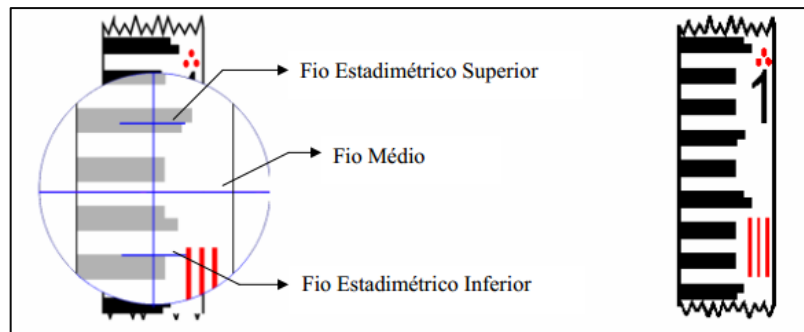
- a) planejamento, seleção de métodos e aparelhagem;
- b) apoio topográfico;
- c) levantamento de detalhes;
- d) cálculos e ajustes;
- e) original topográfico;
- f) desenho topográfico final;
- g) relatório técnico.

Ainda da execução do levantamento, são observados elementos para a representação geométrica de uma superfície terrestre, tais como: ângulos, distâncias, altura do instrumento, altura do sinal, leituras nas miras e demais medições de campo que possibilitem os cálculos, devendo serem registrados permanentemente, em cadernetas apropriadas, de forma clara, ordenada, completa, precisa e impessoal de acordo com a presente normativa.

Segundo Gonçalves, Madeira e Souza (2012), as distâncias são parte de um conjunto de operações topográficas que tem por objetivo a determinação da posição de determinado ponto na superfície terrestre para sua representação em planta, podendo essas serem obtidas, de acordo com Faggion, Zanetti e Veiga (2007), através dos métodos diretos, quando se utilizam de uma grandeza padrão, previamente estabelecida, para comparação (ex.: diastímetros) ou pelos métodos indiretos (ex.: estadimetria ou taqueometria), quando a distância é definida a partir de modelos matemáticos previamente estabelecidos, ou seja, são realizadas um conjunto de operações das medidas realizadas em campo para obtenção da distância indireta.

Conforme McComac (2007), a palavra taqueometria possui origem grega, onde “*takus*” significa rápido e “*metron*” é medição, assim, quaisquer medições realizadas rapidamente podem ser classificadas como taqueométrica, no entanto, a prática adotada geralmente relaciona somente medições executadas com miras horizontais ou estádia (plural da palavra grega *stadium*), restringindo assim, a utilização de estações totais para essa seção.

A taqueometria ou estadimetria dispõe de instrumentos, para o caso de estudo a estação total, onde a luneta possui fios estadimétricos para a leitura da mira ou da régua graduada como apresentado na Figura 2. Tal processo, auxilia nas leituras necessárias para a obtenção das distâncias verticais e horizontais entre pontos.

Figura 3 - Fios Estadimétricos

Fonte: Faggion, Zanetti e Veiga (2007, p.40)

Os autores Piovesan, Camargo e Ishikawa (2004) determinam que para obtenção desse conjunto de medidas auxiliares, utiliza-se de algumas técnicas como a poligonação, onde através desta, é possível obter de uma série de alinhamentos entre si, por medida de ângulos e distâncias de áreas relativamente grandes e acidentadas com melhor precisão no resultado final.

Para a obtenção dos pontos de interesse pode ser aplicado, como suporte à poligonação, o método das irradiações. De acordo com Veiga, Zanetti e Faggion (2012), esse método constitui em:

A partir de uma linha de referência conhecida, medir um ângulo e uma distância. É semelhante a um sistema de coordenadas polares. A distância pode ser obtida utilizando uma trena, distanciômetro eletrônico ou estação total ou obtida por métodos taqueométricos. Este método é muito empregado no levantamento de detalhes em campo. (VEIGA; ZANETTI; FAGGION, 2012, p.118).

4.3.1 Poligonais Fechadas

A NBR 13.133 (1994) divide as poligonais em três tipos: principal, secundária e auxiliar. Apesar de apresentarem diferentes metodologias, essas desempenham a mesma função: auxílio na obtenção e determinação de pontos de apoio e pontos de detalhes topográficos planialtimétricos. Quanto à natureza (tipos), as poligonais podem ser divididas em fechadas, abertas ou enquadradas.

De acordo com Veiga, Zanetti e Faggion (2007), para o levantamento de uma poligonal fechada é necessário que se conheça pelo menos um ponto de coordenadas conhecidas e orientação, de modo que após realizadas as medidas necessárias, têm seu ponto de chegada coincidindo com o de partida. Pastana (2010) aponta que a vantagem do uso deste método é a possível verificação com rigor/precisão das medidas lineares e angulares, uma vez que é

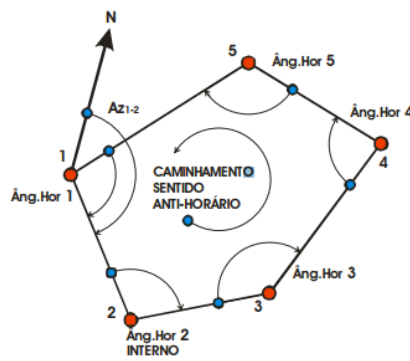
possível a verificação dos erros de fechamento angular e linear com a tolerância admissível para elaboração de projetos de loteamentos, conjuntos habitacionais, levantamentos de áreas, usucapião e perímetros irrigáveis.

Segundo Pastana (2010), a poligonal fechada pode ser aplicada em sentido horário ou anti-horário. No caso das poligonais de caminhamento sentido anti-horário (Figura 3), têm-se as medições dos ângulos internos através da Equação 2.

$$\sum \hat{\text{angulos internos}} = (n - 2) \cdot 180^\circ \quad (2)$$

onde: n é número de lados ou vértices da poligonal.

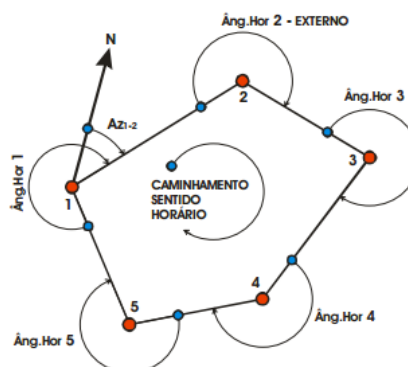
Figura 4 - Poligonal Fechada com Sentido Anti-horário



Fonte: Pastana (2010, p.82)

Para caminhamento no sentido horário, conforme mostra a Figura 4, têm-se as medições dos ângulos externos através da mesma Equação 2.

Figura 5 - Poligonal Fechada com Sentido Horário



Fonte: Pastana (2010, p.81)

Segundo Veiga, Zanetti e Faggion o erro angular (e_a) cometido nas poligonais de ângulos externos, pode ser expresso pela Equação 3.

$$e_a = \sum \hat{\text{ângulos medidos}} - (n + 2) \cdot 180^\circ \quad (3)$$

Para o cálculo da tolerância angular, este definido como o erro máximo aceitável nas medições, é comum usar a Equação 4.

$$\varepsilon_a = p \cdot m^{1/2} \quad (4)$$

onde: m é número de ângulos medidos na poligonal ou número de estações; e p é a precisão nominal do equipamento de medição angular.

Para que um levantamento seja aceito, o valor do erro angular deverá ser menor que o valor da tolerância angular, caso contrário, é necessário a realização de novas medições angulares. Segundo a NBR 13.133, para o ajustamento de poligonais e estabelecimento das tolerâncias para seu fechamento, são considerados três tipos de poligonais:

- a) tipo 1 - Poligonais apoiadas e fechadas numa só direção e num só ponto;
- b) tipo 2 - Poligonais apoiadas e fechadas em direções e pontos distintos com desenvolvimento curvo;
- c) tipo 3 - Poligonais apoiadas e fechadas em direções e pontos distintos com desenvolvimento retilíneo.

Para as poligonais dos tipos 1 e 2 são aceitáveis os métodos de compensação que consistem em efetuar, primeiramente, uma distribuição dos erros angulares e , em seguida, fazer uma distribuição dos erros lineares, quer distribuindo as componentes do erro de fechamento igualmente por todas as coordenadas relativas ou projeções dos lados (Δx e Δy), quer fazendo uma distribuição proporcionalmente ao comprimento dos lados, quer ainda efetuando uma repartição proporcionalmente aos valores absolutos das coordenadas relativas, (Δx e Δy). Esta recomendação tem como fundamento a diversidade de erros inerentes às poligonais (medições de ângulos e lados e estacionamento dos instrumentos de medição) e a difícil determinação da propagação de erros. (NBR 13.133, 1994, p.18).

Para as poligonais do tipo 3, recomendáveis na determinação de redes básicas urbanas e em projetos viários, "[...] podem ser aplicados quaisquer métodos de ajustamento com base no modo em que se propagam estes erros, inclusive pelo método dos mínimos quadrados (MMQ). " (ABNT, 1994, p.19).

O ajustamento das poligonais deve ser sempre precedido pelo cálculo e comparação com as respectivas tolerâncias dos seguintes elementos:

- a) fechamento angular;
- b) fechamento linear, depois de compensação angular;
- c) erro relativo de fechamento linear após a compensação angular;
- d) fechamento longitudinal, antes da compensação angular (somente para poligonais do tipo 3), quando for o caso; e
- e) fechamento transversal, antes da compensação angular (somente para poligonais do tipo 3), quando for o caso.

4.4 Sistemas de Coordenadas

Devido ao avanço tecnológico, a utilização de diferentes sistemas de coordenadas para a definição de pontos sobre a superfície terrestre, ou seja, a integração entre observações da topografia clássica e GNSS, tornou-se uma aplicação comum, como por exemplo, no monitoramento de estruturas e barragens. Enquanto na Topografia a utilização de um plano é suficiente, na Geodésia devem ser considerados elementos como a curvatura da terra e o campo de gravidade.

Segundo Zanetti (2006), da caracterização de cada sistema de coordenadas, por apresentarem configurações específicas, entende-se que está relacionada à vários parâmetros como a origem, podendo esta ser topocêntrica ou geocêntrica, a orientação dos seus eixos de acordo com a vertical, sendo que a Topografia é referenciada à vertical local sobre o sistema de coordenadas cartesianas e a Geodésia referenciada à normal elipsoidal sobre o sistema de coordenadas curvilíneas e relacionada à superfície de referência adotada.

No entanto, para a combinação de diferentes medidas de natureza geométrica e gravimétrica, Zanetti (2006) assegura o cuidado para que sejam consideradas componentes fundamentais e específicas de cada sistema de coordenadas de ordem geométrica e física para as respectivas transformações e integração, destacando elementos como a data de realização do levantamento, a evolução temporal, além do modo de referenciamento dos dados coletados em campo para obtenção de coordenadas.

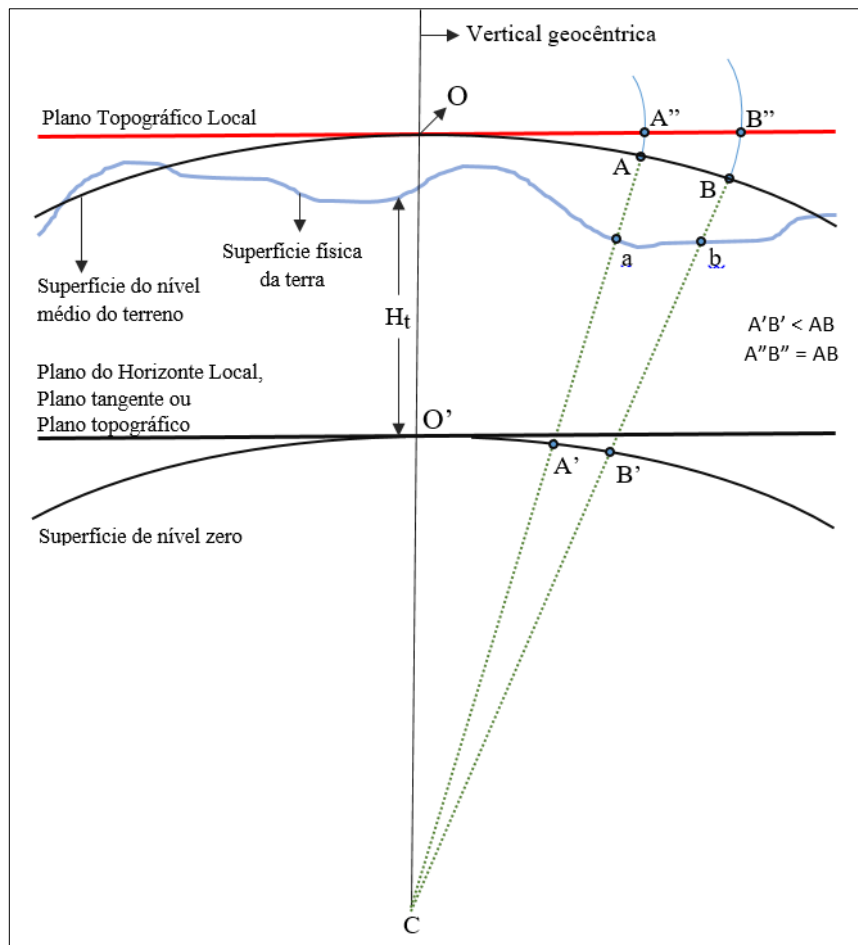
Dessa maneira, para a consistência dos resultados, ou seja, dos dados resultantes do relacionamento entre sistemas topocêntricos e geocêntricos, é necessário que sejam estabelecidas e quantificadas as reduções e correções específicas aplicadas à cada sistema de

referência, sobre a execução de um levantamento de poligonal longa, quando a distância, segundo Zanetti (2006), entre as estações for superior à 50 km (quilômetros) e com desnível acima de 100 metros. No entanto, como a área de estudo do trabalho proposto não detém das devidas características, tais reduções não apresentam valores significativos, entretanto foram aplicadas as correções e reduções ao longo do processo de transformação das coordenadas propostos pela NBR 13.133, conforme equações do Apêndice A.

4.5 Sistema Topográfico Local

O Sistema Topográfico Local (STL) constitui-se de um sistema de representação dos pontos de um levantamento topográfico/geodésico, executado a partir de pelo menos um ponto de coordenadas geodésicas conhecidas e representadas sobre o plano tangente à superfície de referência (elipsoide), do sistema geodésico adotado. A adoção desse sistema pressupõe a coincidência da superfície de referência (elipsoide) com a do plano tangente, conforme Figura 5, de maneira que os erros de curvatura terrestre não ultrapassem os erros referentes às operações topográficas de determinação dos pontos do levantamento. Para atingir essa premissa é recomendado que a distância entre a origem do STL e a coordenada plano-retangular analisada não ultrapasse 50 km. (ABNT, 1998).

Figura 6 - Elementos do Sistema Topográfico Local



Fonte: Autor (2018)

sendo:

O = Origem do sistema;

C = Centro da esfera de adaptação de Gauss (figura geométrica da terra);

H_t = Altitude média do terreno.

Dessa maneira, há a necessidade da análise e consideração de determinados parâmetros aplicados na determinação dos pontos de interesse sobre o STL, como exemplo, o fator de elevação (c), que é aplicado às coordenadas plano-retangulares de todos os pontos de apoio geodésicos, possibilitando a elevação do nível médio do terreno da área de abrangência para a caracterização do plano topográfico local.

Dessa forma, em caso de levantamento geodésico, é possível a transformação das coordenadas geodésicas em coordenadas plano-retangulares dos pontos levantados na área de abrangência do STL, através da sequência de equações apresentadas na NBR 14.166 e que se encontram no Apêndice A desse estudo. O STL tem origem para os eixos X e Y em 150.000,000 e 250.000,000 metros respectivamente.

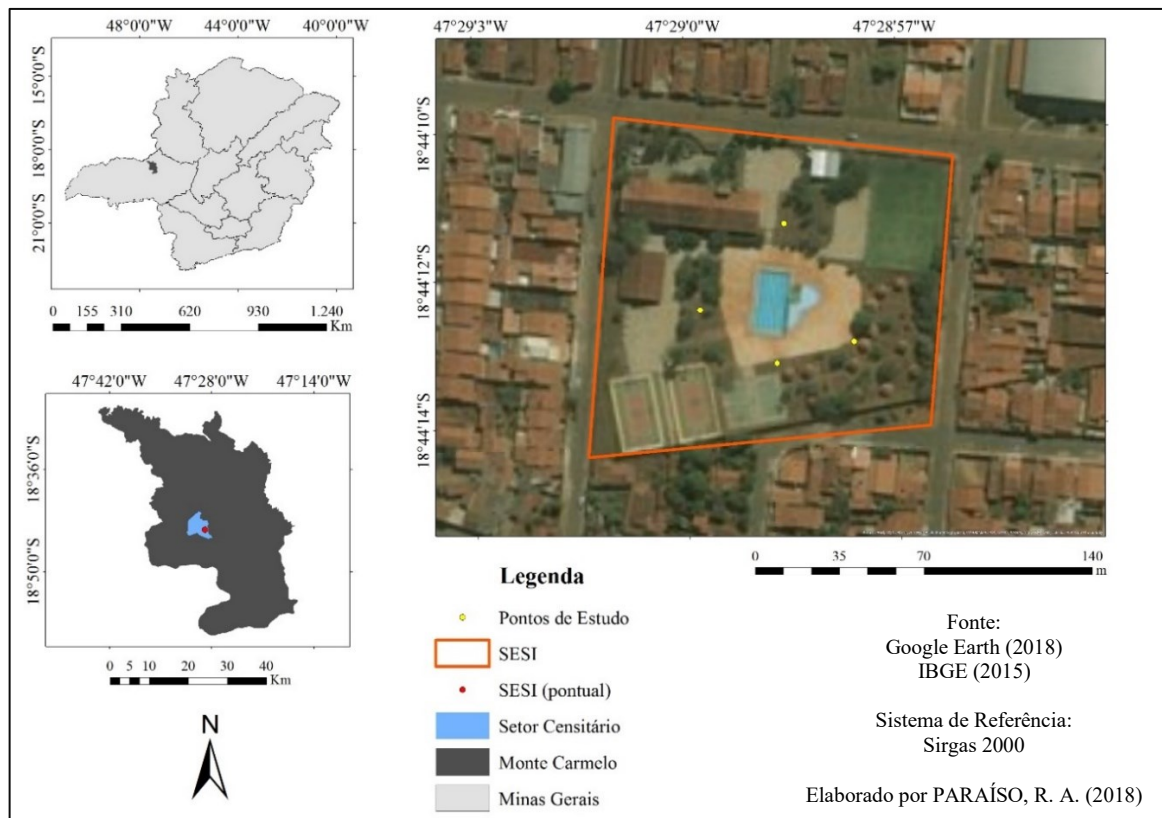
5 MATERIAL E MÉTODO

5.1 Localização dos Pontos de Estudo

A Universidade Federal de Uberlândia (UFU) *campus* Monte Carmelo - unidade Vila Nova (SESI), localiza-se no oeste do estado de Minas Gerais, na cidade de Monte Carmelo, este faz parte do conjunto de municípios que abrangem a mesorregião do Alto Paranaíba e Triângulo Mineiro, compreendendo, segundo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2016), uma área total de 1.343,035 km² com população estimada para o ano de 2017 em 45.772 habitantes.

A UFU - unidade SESI (Figura 6) teve o início de seu funcionamento em 21 de fevereiro de 2011 e está situada na Rua Goiás, n° 2000, bairro Vila Nova, onde comporta laboratórios, salas e espaço para a realização de estudos (serviços/trabalhos) dos 5 cursos de graduação inseridos. Aproveitando desta área, para o presente trabalho, serão utilizados 4 pontos de coordenadas conhecidas situados no interior da unidade, que servirão de apoio na realização do levantamento topográfico e geodésico.

Figura 7 - Localização dos Pontos de Estudo



Fonte: Autor (2018)

5.2 Material Utilizado

A aquisição dos dados do levantamento topográfico é imprescindível para a execução do trabalho, pois através desta será possível a obtenção de ângulos e distâncias, seguido de seu processamento e análise dos dados. Neste contexto, serão utilizados nesse trabalho, os seguintes equipamentos para o levantamento e processamento dos dados topográficos:

- duas estações totais (FOIF);
- um tripé;
- três prismas;
- três bastões;
- três bipés;
- uma trena;
- *software* Topograph.

Para o levantamento geodésico serão utilizados os seguintes equipamentos:

- um receptor Hiper V (GNSS/RTK);

5.2.1 Estação Total FOIF

A estação total é um equipamento eletrônico com um processador matemático capaz de auxiliar na realização de medidas lineares e angulares. A partir destas, é possível a determinação, por exemplo, de distâncias horizontais, desnível entre pontos e as coordenadas de pontos ocupados pelo refletor a partir de uma orientação prévia.

Para o presente estudo, foram utilizadas duas Estações Totais FOIF RTS(OTS) 670/680 Series - RTS685(L)/OTS685(L) exibidas na Figura 7, de patrimônio nº081814 e nº081816, ambas de precisão linear de $\pm 2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm} \times D$, sendo D o tamanho da poligonal expressada em metros, e precisão angular de 05".

Figura 8 - Estação Total FOIF

Fonte: Autor (2019)

5.2.2 Receptor GNSS/RTK

O Hiper V (Figura 8) é um receptor geodésico da marca TOPCON para aplicações estáticas e cinemáticas, capaz de realizar trabalhos no método de posicionamento *Real Time Kinematic* (RTK) e pós-processado. De acordo com o Manual do Operador (TOPCON, 2012), o receptor possui capacidade de rastreamento dos sinais de satélites em multi-constelações, incluindo *Global Positioning System* - GPS (L1 CA, L1/L2 código P e L2C), GLONASS (L1/L2 CA, L1/L2 código P) e SBAS (WAAS, EGNOS e MSAS). A precisão do equipamento para o posicionamento RTK são de 10 mm + 1,0 ppm para o horizontal e 15 mm + 1 ppm para o vertical.

Figura 9 - Receptor Geodésico Hiper V

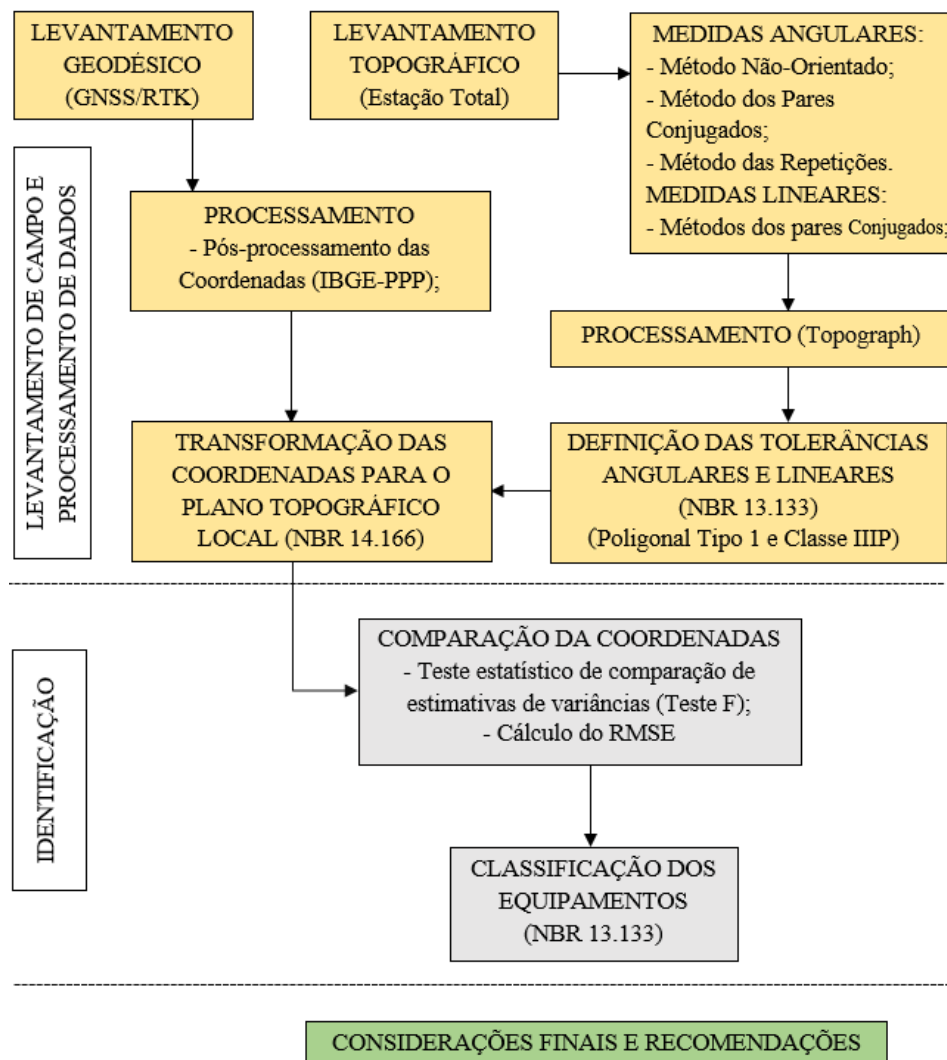
Fonte: Topcon (2012)

Para que a tolerância específica seja atendida, é pressuposto a recepção de sinal de no mínimo 6 satélites GPS com grau de elevação acima dos 15° e demais procedimentos recomendados no manual (TOPCON, 2012).

5.3 Método

O método proposto foi dividido em cinco etapas: a) Levantamento preciso das coordenadas dos marcos/vértices da poligonal com GNSS/RTK; b) Levantamento das medidas lineares (distâncias) entre os marcos/vértices da poligonal com duas estações totais; e c) Levantamento das medidas angulares entre os marcos/vértices da poligonal com as mesmas estações totais usadas nas medidas lineares; d) Processamento dos dados obtidos em campo; e) Análise dos resultados, conforme fluxograma apresentado na Figura 9.

Figura 10 - Fluxograma da Metodologia



Fonte: Autor (2019)

Vale ressaltar que a NBR 13.133 não especifica adequadamente quanto ao tipo de poligonal sem apoio, no entanto, o que mais se adequou para o presente estudo, teve por base uma poligonal fechada do tipo 1 (apoiadas e fechadas em direções e pontos distintos com desenvolvimento curvo) representada na Figura 10 pela linha amarela, com quatro vértices com intervisibilidade entre si definidos pelos marcadores, situado no limite UFU/SESI definido pela linha vermelha.

Figura 11 - Poligonal Fechada de Estudo



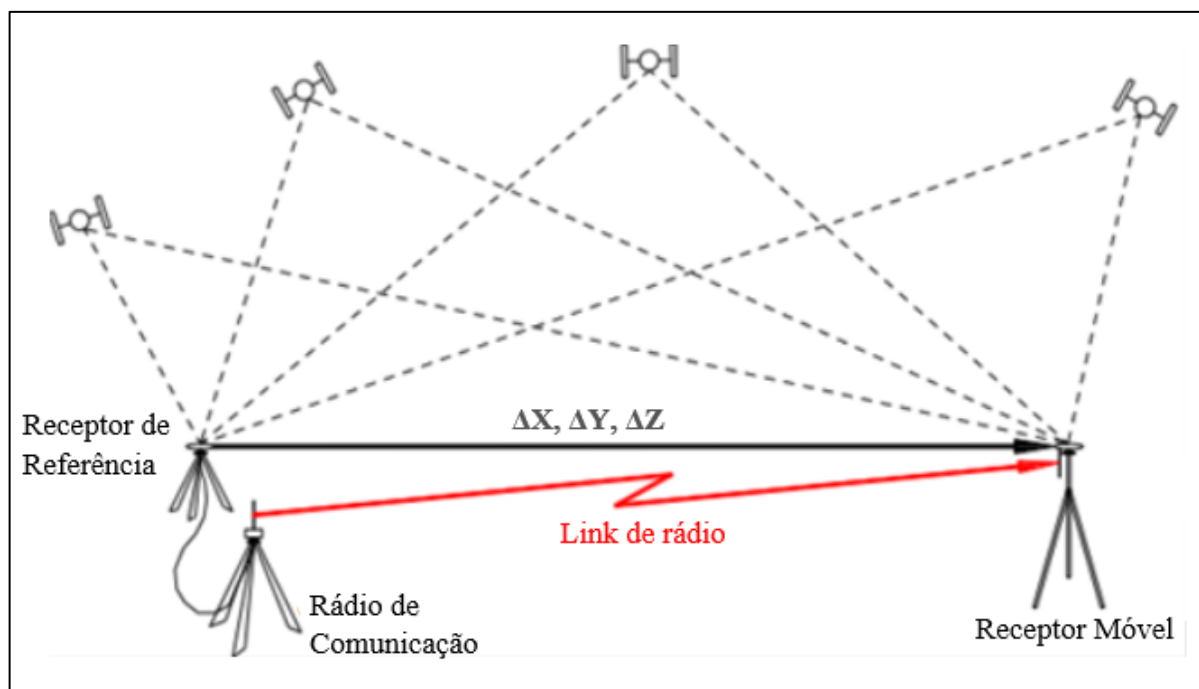
Fonte: Autor (2019)

5.3.1 Levantamento GNSS/RTK

Para a obtenção das distâncias e ângulos entre os marcos/vértices da poligonal, considerados como verdade de campo, foi executado um rastreamento GNSS/RTK com o

equipamento Hiper V, onde, segundo Barbosa et al. (2008), as coordenadas são determinadas a partir da coleta de dados contínua de dois receptores. Assim, de acordo com a Figura 11, no tempo em que a estação ou receptor de referência (base) realiza a coleta dos dados sobre um ponto de coordenadas conhecidas, o receptor (móvel), em transmissão com a base, coleta os dados dos pontos de interesse para determinação da posição em tempo real. Todo esse processo sobre o auxílio de um rádio externo de comunicação para a transmissão das correções do receptor de referência para o receptor móvel.

Figura 12 - Posicionamento GNSS/RTK



Fonte: Adaptada de Barbosa (2008)

De acordo com Monico (2008), a tecnologia RTK é baseada nas seguintes características: realização do processamento dos dados em tempo real dos dados de fase da onda portadora e pseudodistância coletadas na estação de referência para estação móvel ou das correções das observáveis; solução quase instantânea do vetor de ambiguidades para linha de base entre a estação base e o móvel e; determinação confiável do vetor da linha de base em tempo real.

Para o pós-processamento dos dados GNSS/RTK, foi utilizado o serviço IBGE-PPP (Posicionamento por Ponto Preciso), com disposição gratuita e online no site do IBGE, que permite ao usuário obter as coordenadas que foram coletadas por receptores de umas ou duas

frequências no modo estático ou cinemático, referenciadas ao SIRGAS2000 e ao *International Terrestrial Reference Frame* (ITRF), através de um processamento de dados GNSS (GPS e GLONASS) preciso.

Nesse estudo, a obtenção do valor aproximado da altitude ortométrica (H) foi estabelecida com base no MAPGEO (online) utilizando a Equação 5.

$$H \cong h - N \quad (5)$$

onde:

H = altitude ortométrica;

h = altitude geométrica;

N = ondulação geoidal.

De posse desta medida, é possível o cálculo do fator de elevação (c) para auxílio no decorrente processo de transformação das coordenadas geodésicas para coordenadas plano-retangulares no STL segundo NBR 14.166. O mesmo método de transformação foi aplicado para as coordenadas obtidas nos levantamentos topográficos, processadas no *software* Topograph, para ambas as estações totais e todos os métodos propostos.

5.3.2 Levantamento das Medidas Lineares

O levantamento das medidas lineares foi realizado por meio da técnica de medições eletrônicas de distâncias, utilizando as estações totais n° 081814 e n° 081816 e seus equipamentos auxiliares (Figura 12). O emprego desses equipamentos, bem como a utilização do *software* Topograph para processamento dos dados, estendeu-se aos outros métodos propostos, a fim de obter as demais informações do levantamento topográfico como ângulos horizontais e verticais, azimutes, entre outros.

Evidencia-se que para fins de minimização de erros, foram utilizados tripés nos bastões dos prismas refletores fixados na altura de 1,60m em todos os vértices da poligonal, tanto para a leitura das medidas lineares bem como para as medidas angulares.

Figura 13 - Equipamentos Auxiliares Utilizados no Levantamento Topográfico

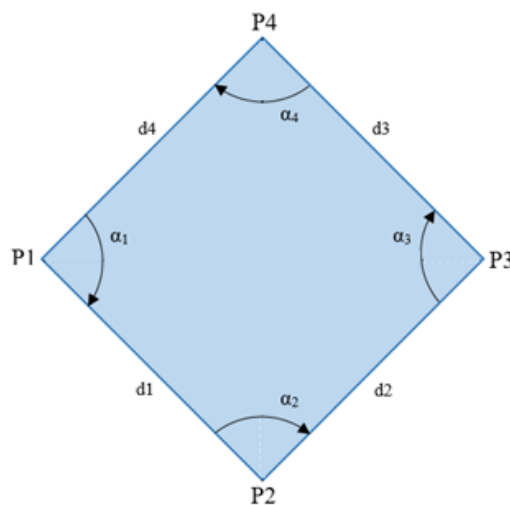


Fonte: Autor (2019)

No processo de medição de distâncias adotou-se a técnica de medidas de ré e vante. Além disso, foram testadas as medições em pares conjugados, com medição de distância em posição direta (PD) e em posição inversa (PI) da luneta, com intuito da otimização e avaliação mais precisa dos dados através da compensação dos erros de colimação, inclinação, excentricidade e graduação do eixo, podendo assim estimar de maneira mais precisa os valores das medidas lineares e angulares.

Nesse caso, a distância entre dois marcos/vértices foi medida quatro vezes: em ré, por PD e PI e em vante por PD e PI. Para realização do levantamento, o equipamento é instalado nos quatro marcos/vértices e, a partir de cada um deles, são medidas as distâncias horizontais (reduzidas) para vante, ré e a diagonal correspondente, como representado na Figura 14.

Figura 14 - Representação das Leituras do Levantamento Topográfico



Fonte: Autor (2018)

De acordo com a ilustração, a estação total foi posicionada sobre o ponto P1 para a realização das leituras em PD e PI de P2, P3 e P4, de maneira a obter as distâncias entre essa estação e esses 3 pontos da poligonal fechada, definidas por d1, d4 e d5, sendo todas duplicadas por PD/PI. Tal procedimento repetiu-se sobre os demais pontos de interesse até que todas as distâncias fossem medidas.

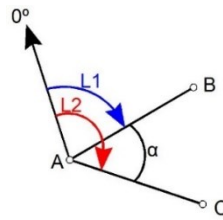
5.3.3 Levantamento de Medidas Angulares Horizontais

Entende-se a medida angular horizontal como o espaço compreendido entre duas semi-retas que possuem uma origem comum (vértice). O levantamento da medida angular horizontal pode ser realizado por diferentes métodos, que diferem de acordo com a finalidade e precisão exigida, por exemplo: método do aparelho não-orientado; orientado para o norte verdadeiro; orientado na ré; orientado na vante; por deflexão; por pares conjugados; por repetição. Nesse trabalho, a obtenção dos ângulos horizontais foi obtida por meio dos métodos: aparelho não-orientado, por repetição e por pares conjugados (PD e PI).

5.3.3.1 Medidas com Aparelho Não-Orientado

Neste método, o aparelho é estacionado (nivelado e centrado) em cada um dos marcos/vértices, sem preocupação de onde está a orientação do equipamento, isto é, para onde está apontando a direção do ângulo nulo (zero). Em seguida, o movimento horizontal do aparelho é liberado, girando-o em sentido horário ou anti-horário, até que a mira da luneta aponte para o prisma instalado no ponto de ré, anotando assim o valor do ângulo horizontal medido (L1); dando prosseguimento com o giro da luneta, é mirado o prisma instalado no ponto de vante, registrando também esse valor de ângulo horizontal (L2). Este procedimento foi repetido nos quatro marcos/vértices. A diferença angular entre os valores registrados L2 e L1 proporciona a medida do ângulo horizontal (α) procurado (Figura 16). Quando este ângulo horizontal apresenta valor negativo, é necessário somar o valor de 360° .

Figura 15 - Ilustração do Método do Aparelho Não-Orientado



Fonte: Adaptado de Veiga, Zanetti e Faggion (2007, p.60)

Assim, o ângulo horizontal (α) é obtido pela Equação 6.

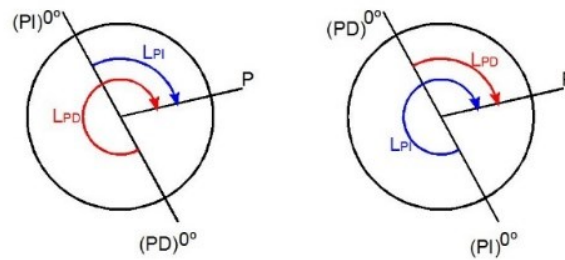
$$\alpha = L2 - L1 \quad (6)$$

Visto que este método apresenta a necessidade do levantamento de um ponto complementar para leitura da ré, não serem realizadas redundâncias das medidas e sujeitar a determinados erros originados quando o equipamento é operado apenas em uma posição, os valores obtidos podem apresentar-se de maneira menos precisa e com maior propagação dos erros. Dessa maneira, é notória a inadequação deste método para trabalhos que exijam valores de maior precisão, no entanto, foi empregado neste estudo para fins de comparação com os demais métodos propostos.

5.3.3.2 Medidas com Pares Conjugados (PD e PI)

No método dos pares conjugados realizou-se inicialmente a medida do ângulo horizontal em PD (L_{PD}), de forma similar à uma simples medida realizada no método de repetição (mirando em ré, zera o ângulo horizontal, e realizada a leitura em vante) e, em seguida, sobre o mesmo ponto, realizada a leitura angular na posição PI (L_{PI}). A posição inversa (PI) consiste no giro de 180° da luneta, deixando-a em posição invertida (Figura 17). Esse procedimento foi realizado em todos os vértices da poligonal.

Figura 16 - Medidas com Pares Conjugados



Fonte: Adaptado de Veiga, Zanetti e Faggion (2007, p.62)

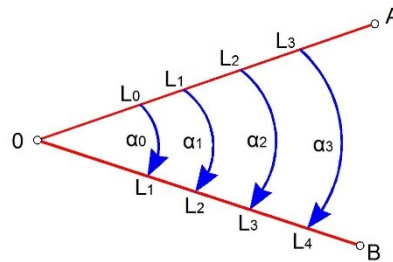
O ângulo horizontal foi obtido através da Equação 7, onde a soma de 90° ocorre se $PD > PI$, caso contrário, deve ser subtraído 90° .

$$L = \frac{L_{PD} + L_{PI}}{2} \pm 90^\circ \quad (7)$$

Uma das vantagens da aplicação deste método é a correção de possíveis erros citados no item 5.3.2.

5.3.3.3 Medidas com Repetição

No método de medidas com repetição, após o instrumento instalado/nivelado sobre um dos marcos/vértices, a luneta é focada no prisma do marco em ré, e a leitura do ângulo horizontal (L_{n-1}) será realizada. Para melhor compreensão dos dados, é recomendável que o ângulo horizontal seja zerado nesse ponto. Posteriormente, a luneta deve ser girada no sentido horário ou anti-horário até mirar o ponto vante, registrando o ângulo horizontal (L_n). Em seguida, o ângulo horizontal obtido em vante (L_n) é fixado através da tecla TRAV, localizado no painel de navegação da estação total FOIF, e o movimento horizontal do aparelho será liberado, retornando à direção do marco em ré. Assim, nova leitura é realizada no marco em vante (L_{n+1}), como mostrado na Figura 18. Dessa maneira, esse procedimento foi repetido dez vezes, registrando dez ângulos horizontais em cada marco/vértice.

Figura 17 - Medidas com Repetição

Fonte: Adaptado de Veiga, Zanetti e Faggion (2007, p.65)

O ângulo horizontal “ α_n ” foi calculado através da Equação 8.

$$\alpha_n = L_{n+1} - L_n \quad (8)$$

O cálculo do ângulo horizontal final, medido entre os marcos/vértices de ré e vante, foi obtido de acordo com a Equação 9.

$$\alpha = \frac{(L_f - L_i) + x \cdot 360^\circ}{n} \quad (9)$$

onde: x é número de giros completos do círculo graduado, contado toda vez que passado pela graduação zero; e n é número de repetições.

5.3.4 Tolerâncias Angulares e Lineares

O valor para tolerância do erro angular (T_α) do equipamento, também chamado de erro angular máximo admissível, é estabelecido segundo seu fabricante como: a precisão nominal do equipamento (00°00'05”) multiplicado pela raiz quadrada do número de estações ($N = 4$) para execução da poligonal. Portanto: $T_\alpha = 00^\circ 00' 05'' \times \sqrt{N} = 00^\circ 00' 10''$.

Para definição das tolerâncias angulares, de acordo com a Tabela 2, a NBR 13.133 considera os atributos de medição angular, desenvolvimento e materialização do ponto.

Tabela 2 – Tolerâncias Angulares de acordo com a NBR 13.133

Classes	IP	IIP	IIIP	IVP	VP	IPRC	IIPRC
Erro Angular	$6'' \cdot \sqrt{N}$	$15'' \cdot \sqrt{N}$	$20'' \cdot \sqrt{N}$	$40'' \cdot \sqrt{N}$	$3' \cdot \sqrt{N}$	$8'' \cdot \sqrt{N}$	$60'' \cdot \sqrt{N}$

Fonte: Autor (2019)

Assim, foi definida a classe de poligonal de posse das características que mais se adequaram para as condições deste estudo, uma poligonal fechada do tipo 1 de classe IIIP. A tolerância angular é expressa pela Equação 10.

$$T_{\alpha} = a + b * \sqrt{N} \quad (10)$$

onde:

a = erro médio angular (azimute) da rede de apoio (ordem superior) multiplicado por 2 (por serem duas as direções de apoio). De acordo com a normativa, para as poligonais tipo 1, “a” assume o valor nulo;

b = coeficiente que expressa a tolerância para o erro de medição do ângulo poligonal.

N = número de lados da poligonal;

A tolerância linear para poligonais do tipo 1 e 2, segundo NBR 13.133, é denotada pela Equação 11:

$$T_p = c + d * \sqrt{L(km)} \quad (11)$$

onde:

c = erro médio de posição dos pontos de apoio de ordem superior multiplicado por 2 (por serem dois os pontos de apoio); Para as poligonais tipo 1, “c” assume o valor nulo;

d = coeficiente que expressa a tolerância para o erro de fechamento linear em m/km de desenvolvimento poligonal, somente aplicável às poligonais dos tipos 1 e 2;

L = somatório das distâncias horizontais da poligonal.

De acordo com a NBR 13.133 o coeficiente “d” assume valor 0,42. Desse modo a Equação 11 é expressa pela Equação 12:

$$T_p = 0,42 * \sqrt{L(km)} \quad (12)$$

5.3.5 Análise Estatística das Medidas

Para efeito de verificação da qualidade das medidas obtidas com as estações totais, foi efetuada uma comparação dessas medidas com as verdades de campo obtidas com o GNSS/RTK. Para execução desta comparação sobre dois grupos de amostras independentes, através da análise estatística, o teste de hipóteses conduziu para a rejeição ou não da hipótese

de estudo, quando aplicado o Teste de F , de Snedecor (1967) a nível de confiança (p) de 5% (0,05). Esse procedimento, segundo Canteri (2001), é usualmente aplicado para a comparação de estimativas de variâncias, para o caso de estudo, das diferenças das coordenadas provenientes do levantamento geodésico e topográfico.

Este teste, segundo Miranda (2012) pertence à teoria multivariada no caso de comparações emparelhadas, que indica se existe uma diferença significativa entre os valores, podendo este ser igual a 0 quando não existe diferença significativa entre as componentes (F crítico $< F$ calculado) ou, caso contrário, diferente de zero quando existe diferença significativa entre as componentes ao longo dos experimentos, como expresso a seguir:

Hipótese Básica:

$$H_0: \delta = \begin{bmatrix} \delta_x \\ \delta_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Hipótese Alternativa:

$$H_0: \delta = \begin{bmatrix} \delta_x \\ \delta_y \end{bmatrix} \neq \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

onde: δ_x = vetor da componente X, resultante da diferença entre a coordenada conhecida da estação e as outras coordenadas calculadas; δ_y = vetor da componente Y, resultante da diferença entre a coordenada conhecida da estação e as outras coordenadas calculadas;

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Levantamento Geodésico

Para o pós-processamento, foram obtidos os dados GNSS com a inserção do arquivo de observação no IBGE-PPP e demais informações necessárias, como o tipo de posicionamento empregado, modelo do receptor, altura da antena utilizada e um e-mail válido para recebimento dos dados ajustados da estação base (mc0), com as devidas correções aplicadas automaticamente. As coordenadas dos demais pontos foram corrigidas em relação aos novos valores de coordenadas da base. A Tabela 3 apresenta os valores referentes aos dados com as respectivas precisões.

Tabela 3 - Coordenadas Geodésicas

EST	E (m)	N (m)	h (m)	SigmaX (m)	SigmaY (m)	SigmaZ (m)
mc0	238202,055	7926451,236	887,830	0,004	0,006	0,009
mc1	238234,548	7926460,710	887,370	0,007	0,008	0,004
mc2	238205,203	7926509,167	886,250	0,005	0,005	0,003
mc3	238170,126	7926473,459	887,910	0,007	0,006	0,004

Fonte: Autor (2019)

As coordenadas provenientes do levantamento geodésico, foram inseridas no *software* AutoCAD 2013 para que as distâncias, bem como os ângulos entre os marcos/vértices fossem determinados conforme Tabela 4, onde DESC é definido como descrição.

Tabela 4 - Verdade de Campo (Levantamento Geodésico)

Medidas Angulares			
DESC	RE	I	VANTE
m3/m0/m1	00°00'00"	58°16'19"	128°54'23"
m0/m1/m2	00°00'00"	27°26'57"	75°03'23"
m1/m2/m3	00°00'00"	34°18'33"	75°41'17"
m2/m3/m0	00°00'00"	56°42'17"	80°20'57"
Medidas Lineares			
DESC	RE	I	VANTE
m3/m0/m1	38,9010	58,0160	33,8460
m0/m1/m2	33,8460	65,6710	56,6500
m1/m2/m3	56,6500	58,0160	50,0550
m2/m3/m0	50,0550	65,6710	38,9010

Fonte: Autor (2019)

6.2 Levantamento Topográfico

Em todos os métodos aplicados, observou-se relativa similaridade dos dados, uma vez que para execução dos métodos, a posição da estação total sobre o tripé permaneceu fixa, operando somente com a mobilidade do eixo de visada, alternando o trabalho (tipo de método) diretamente na estação total sobre o ponto estacionado. A partir deste ponto, a estação total n° 081814 será chamada de E1 e a estação total n° 081816 de E2.

Nas Tabelas 5, 6 e 7, foram apresentados os valores de medidas angulares e lineares referentes ao método em análise, seguidos dos respectivos erros lineares (ϵ_l) e angulares (ϵ_a)

com as tolerâncias, bem como os desvios padrão e os *Root Mean Square Error* (RMSE), valor este obtido pela Equação 13:

$$RMSE = \sqrt{\left[\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - X_o)^2}{N} \right]}$$

onde: $(X_i - X_o)$ são os resíduos e N o número de observações.

O desvio padrão (σ) foi obtido através da Equação 14:

$$\sigma = \sqrt{\left[\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N - 1} \right]} \quad (14)$$

6.2.1 Análise das Medidas Lineares

Aplicado o método do par conjugado para análise das medidas lineares, a média das quatro distâncias entre pares de marcos foram armazenadas, respectivamente para as estações totais E1 e E2, conforme Tabela 5, sendo a estação representada por EST.

Tabela 5 - Medidas Lineares da Estações Totais

Estação Total nº 081814			
EST	Lev. Topográfico (m)	Lev. Geodésico (m)	Diferenças (m)
m0/m1	33,8940	33,8460	0,0480
m1/m2	56,7015	56,6500	0,0515
m2/m3	50,0680	50,0550	0,0130
m3/m0	38,9325	38,9010	0,0315
L = 179,5960 m	T_p = 0,1779 m	ε_l = 0,0357 m	ε_{lr} = 1:5035
σ = 0,0152 m		RMSE = 0,0391 m	
Estação Total nº 081816			
EST	Lev. Topográfico (m)	Lev. Geodésico (m)	Diferenças (m)
m0/m1	33,8295	33,8460	- 0,0165
m1/m2	56,6375	56,6500	- 0,0125
m2/m3	50,0085	50,0550	- 0,0465
m3/m0	38,8790	38,9010	- 0,0220
L = 179,3545 m	T_p = 0,1778 m	ε_l = 0,0204 m	ε_{lr} = 1:8781
σ = 0,0132 m		RMSE = 0,02772 m	

Fonte: Autor (2019)

Pode-se observar para ambas as estações totais a ocorrência de um erro linear inferior à tolerância ($\epsilon_l < T_p$) estabelecida pela NBR 13.133 para os MED's, apresentando-se de maneira operante para todos as classes de poligonal na realização de medidas lineares. Conseqüentemente, pode ser observado que a estação total E1 apresentou um erro relativo linear (ϵ_{lr}) de 1:5035 e a estação total E2 de 1:8781. De acordo com Brandão (2019) os valores de precisão ou erro linear máximo admissível ($(\epsilon_l)_{ad}$), segundo a qualidade da poligonal, são expressos na forma do erro linear relativo conforme apresentado no Quadro 1:

Quadro 1 - Tolerância Linear Relativa

Qualidade da Poligonal	$(\epsilon_l)_{ad}$
Precisão baixa	1:500 a 1:1000
Precisão regular	1:1000 a 1:5000
Precisão média	1:5000 a 1:10000
Precisão boa	1:10000 a 1:100000
Precisão alta	Maior que 1:100000

Fonte: Adaptada de Brandão (2019)

Assim, segundo Brandão (2019), os levantamentos das poligonais, com ambas as estações totais, são classificados como de “precisão média”.

6.2.2 Análise das Medidas Angulares

6.2.2.1 Análise do Método Não-Orientado

Executados os processos topográficos do método não-orientado, a Tabela 6 apresenta os valores obtidos para as estações totais E1 e E2, com a tolerância angular conforme definição da NBR 13.133.

Tabela 6 - Medidas Angulares pelo Método Não-orientado

Estação Total nº 081814			
EST	Lev. Topográfico	Lev. Geodésico	Diferenças
m0/m1	128°52'43"	128°54'23"	- 00°01'40"
m1/m2	75°03'00"	75°03'23"	- 00°00'23"
m2/m3	75°40'43"	75°41'17"	- 00°00'34"
m3/m0	80°22'48"	80°20'57"	00°01'51"
$\sigma = 00^{\circ}00'38,89''$	$T \alpha = 00^{\circ}00'40''$	$\epsilon \alpha = 00^{\circ}00'46''$	RMSE = 00°01'17,47''
Estação Total nº 081816			
EST	Lev. Topográfico	Lev. Geodésico	Diferenças
m0/m1	128°53'52"	128°54'23"	- 00°00'31"
m1/m2	75°01'56"	75°03'23"	- 00°01'27"
m2/m3	75°41'42"	75°41'17"	00°00'25"
m3/m0	80°24'02"	80°20'57"	00°03'05"
$\sigma = 00^{\circ}01'42''$	$T \alpha = 00^{\circ}00'40''$	$\epsilon \alpha = 00^{\circ}01'32''$	RMSE = 00°01'44,14''

Fonte: Autor (2019)

Aplicado o valor do desvio padrão (σ) sobre o erro angular, o equipamento E1 dispõe da precisão da normativa para a classe de poligonal IIIP e demais ordens, contrário dos valores de E2 que atenderam somente a classe de poligonal IIPRC. Para a análise da precisão nominal conjunta do desvio padrão, ambos excederam a precisão de 05'', sendo que E1 foi quem mais aproximou-se deste valor com diferença para a precisão nominal de 02,11'' ($\epsilon \alpha - \sigma = 46'' - 38,89''$). No entanto, não foram aplicados os valores de desvio padrão, sendo considerada esta análise somente para discussão dos dados.

Dessa maneira, o equipamento E1 apresentou erro angular inferior que de E2, contudo, conforme NBR 13.133, nenhuma atendeu a precisão estabelecida para a classe de poligonal IIIP relevante deste trabalho. O mesmo aconteceu para a precisão nominal, onde nenhum dos equipamentos alcançou a precisão estabelecida de 05''.

A estação total E1, previsivelmente, apresentou menor desvio dos valores de referência nas visadas dos pontos mais distantes, uma vez que as leituras realizadas mais longínquas tendem a ser mais precisas, até quando verificada as condições de campo e observadas as possíveis interferências de medidas como refração, pressão, temperatura e outras. Tais interferências não apresentaram valores significativos visto que o tamanho da poligonal de estudo, com visadas inferiores a 100 metros, é consideravelmente pequeno.

Para a estação total E2, os valores angulares obtidos foram similares aos do primeiro equipamento, com exceção do ângulo formado para a estação m3/m0, onde apresentou

discrepância angular acima de 03'. Essa diferença pode ser causada por erro grosseiro, geralmente causado por falha humana, tais como, deslocamento do prisma, não nivelamento da estação total, de anotações, bem como de equipamentos, como danos gradativos pela má utilização e desgaste natural. Durante o levantamento topográfico foram tomados os devidos cuidados para evitar tais erros, no entanto, nesta etapa do trabalho não é possível a identificação do fator causa.

6.2.2.2 Análise do Método Pares Conjugados

Neste método, o levantamento topográfico foi realizado com as duas estações totais para obtenção das medidas angulares, segundo o método das direções com visadas na posição direta e inversa. Os valores médios obtidos estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Medidas Angulares pelo Método Par Conjugado

Estação Total nº 081814			
EST	Lev. Topográfico	Lev. Geodésico	Diferenças
m0/m1	128°52'41"	128°54'23"	- 00°01'42"
m1/m2	75°03'15"	75°03'23"	- 00°00'08"
m2/m3	75°40'35"	75°41'17"	- 00°00'42"
m3/m0	80°22'57"	80°20'57"	00°02'00"
$\sigma = 00^{\circ}00'45,01''$	$T \alpha = 00^{\circ}00'40''$	$\varepsilon \alpha = 00^{\circ}00'32''$	RMSE = 00°01'21,6''
Estação Total nº 081816			
EST	Lev. Topográfico	Lev. Geodésico	Diferenças
m0/m1	128°53'43"	128°54'23"	- 00°00'40"
m1/m2	75°02'12"	75°03'23"	- 00°01'11"
m2/m3	75°41'37"	75°41'17"	00°00'20"
m3/m0	80°24'03"	80°20'57"	00°03'06"
$\sigma = 00^{\circ}01'04,25''$	$T \alpha = 00^{\circ}00'40''$	$\varepsilon \alpha = 00^{\circ}01'34''$	RMSE = 00°01'42,04''

Fonte: Autor (2019)

Observou-se, em ambas estações totais, a similaridade aos dados do método não orientado, onde as três primeiras medidas angulares da estação total E1 foram inferiores aos de referência e, para a estação total E2, inferiores aos dois primeiros pontos. A posição m3/m0 permaneceu com os valores discrepantes. Aplicado o desvio padrão, ambas se classificaram de mesmo modo ao método anterior para as classes de poligonal da normativa supracitada.

O equipamento E1, segundo a NBR 13.133, apresentou valores precisos para a classe de poligonal de controle, diferente de E2 que sobre-excedeu o valor de 54''. Este método, apesar

de adotar técnicas para a correção de determinados erros (item 5.3.2) do equipamento, não apresentou valores de melhoras significativas do erro angular. Dessa forma, entende-se que tais erros vinculados aos equipamentos não possuem valores expressivos. Tendo por base a precisão nominal, nenhum dos equipamentos apresentaram valores satisfatórios (precisão de 05”).

6.2.2.3 Análise do Métodos das Repetições

A Tabela 8 apresenta a média dos valores angulares das estações totais E1 e E2 respectivamente. Por apresentarem redundâncias (10 visadas para cada ponto) em suas medidas, estimava-se que este método apresentasse de maneira mais precisa que os demais métodos:

Tabela 8 - Medidas Angulares pelo Método das Repetições

Estação Total nº 081814			
EST	Levantamento Topográfico	Levantamento Geodésico	Diferenças
m0/m1	128°52'58"	128°54'23"	- 00°01'25"
m1/m2	75°02'59"	75°03'23"	- 00°00'24"
m2/m3	75°40'40"	75°41'17"	- 00°00'37"
m3/m0	80°23'05"	80°20'57"	00°02'08"
$\sigma = 00^{\circ}00'41,19''$	$T \alpha = 00^{\circ}00'40''$	$\epsilon \alpha = 00^{\circ}00'18''$	RMSE = 00°01'19,93''
Estação Total nº 081816			
EST	Levantamento Topográfico	Levantamento Geodésico	Diferenças
m0/m1	128°53'46"	128°54'23"	- 00°00'37"
m1/m2	75°02'04"	75°03'23"	- 00°01'19'
m2/m3	75°40'15"	75°41'17"	- 00°01'02"
m3/m0	80°23'58"	80°20'57"	00°03'01"
$\sigma = 00^{\circ}00'54,76''$	$T \alpha = 00^{\circ}00'40''$	$\epsilon \alpha = 00^{\circ}00'0,05''$	RMSE = 00°01'45,14

Fonte: Autor (2019)

O método dos pares conjugados foi o que apresentou melhor resultado em suas medidas angulares. O equipamento E1, que para os métodos anteriores apresentou maior precisão angular, comparados aos valores de E2, neste, apesar de tolerável para a precisão exigida da classe de poligonal IIIIP, apresentou menor precisão que o equipamento E2, que por sua vez apresentou a maior precisão de todos os métodos com o valor de 05”, satisfazendo a precisão exigida para todas as classes de poligonal.

6.3 Transformação das Coordenadas

O processo de transformação das coordenadas geodésicas em coordenadas plano-retangulares, de todos os pontos levantados na área de abrangência do STL, deu-se a partir do ponto de origem para os eixos X e Y em 150.000,000 e 250.000,000 metros respectivamente. A Tabela 9 apresenta os valores das coordenadas geodésicas e os respectivos valores após a transformação para o STL dos valores tidos como verdade de campo.

Tabela 9 - Transformação das Coordenadas Geodésicas para o STL

EST	Coordenadas Geodésicas			Sistema Topográfico Local		
	Este (m)	Norte (m)	h (m)	Este (m)	Norte (m)	h (m)
mc0	238202,055	7926451,236	887,830	150000,0000	250000,0000	887,8300
mc1	238234,548	7926460,710	887,370	150032,6118	250009,0178	887,3700
mc2	238205,203	7926509,167	886,250	150003,9533	250057,8637	886,2500
mc3	238170,126	7926473,459	887,910	149968,3933	250022,6586	887,9100

Fonte: Autor (2019)

Após a transformação, foi realizada uma rotação no plano para orientação das coordenadas dos levantamentos topográficos, tendo por base o alinhamento mc0 x mc1 obtido com *GNSS/RTK*, onde os valores escalares, ou seja, as medidas lineares e angulares dos pontos permaneceram constantes. As Tabelas 10 e 11 apresentam os valores das coordenadas geodésicas e seus respectivos valores para no STL, que foram usados como referência na orientação/rotação e como verdade de campo.

Tabela 10 - Transformação das Coordenadas Geodésicas para o STL - E1

N° 081814	Coordenadas Geodésicas			Sistema Topográfico Local		
Não-orientado						
EST	Este (m)	Norte (m)	h (m)	Este (m)	Norte (m)	h (m)
mc0	238202,0470	7926451,2160	887,818	150000,0000	250000,0000	887,3654
mc1	238234,0230	7926462,4515	887,3654	150032,6635	250009,0442	887,8180
mc2	238202,0619	7926509,2870	886,2462	150003,9475	250057,9367	886,2462
mc3	238168,9721	7926471,7124	887,8949	149968,3891	250022,6893	887,8949
Rotação = 03°52'59"						
Pares Conjugados						
EST	Este (m)	Norte (m)	h (m)	Este (m)	Norte (m)	h (m)
mc0	238202,0470	7926451,2160	887,8180	150000,0000	250000,0000	887,4065
mc1	238234,0245	7926462,4518	887,4065	150032,6652	250009,0438	887,8180
mc2	238202,0672	7926509,2897	886,2451	150003,9540	250057,9389	886,2451
mc3	238168,9757	7926471,7164	887,8929	149968,3932	250022,6936	887,8929
Rotação = 03°53'03"						
Repetição						
EST	Este (m)	Norte (m)	h (m)	Este (m)	Norte (m)	h (m)
mc0	238202,0470	7926451,2160	887,8180	150000,0000	250000,0000	887,3659
mc1	238234,0250	7926462,4503	887,3659	150032,6650	250009,0443	887,8180
mc2	238202,0657	7926509,2881	886,2470	150003,9489	250057,9376	886,2470
mc3	238168,9748	7926471,7148	887,8950	149968,3910	250022,6901	887,8950
Rotação = 03°52'50"						

Fonte: Autor (2019)

Tabela 11 - Transformação das Coordenadas Geodésicas para o STL - E2

N° 081816	Coordenadas Geodésicas			Sistema Topográfico Local		
Não-orientado						
EST	Este (m)	Norte (m)	h (m)	Este (m)	Norte (m)	h (m)
mc0	238202,0470	7926451,2160	887,8180	150000,0000	250000,0000	887,3679
mc1	238233,9638	7926462,4307	887,3679	150032,6032	250009,0267	887,8180
mc2	238202,0240	7926509,2038	886,2483	150003,9055	250057,8561	886,2483
mc3	238168,9744	7926471,6730	886,8929	149968,3893	250022,6506	886,8929
Rotação = 03°53'04"						
Pares Conjugados						
EST	Este (m)	Norte (m)	h (m)	Este (m)	Norte (m)	h (m)
mc0	238202,0470	7926451,2160	887,8180	150000,0000	250000,0000	887,3681
mc1	238233,9635	7926462,4308	887,3681	150032,6029	250009,0268	887,8180
mc2	238202,0273	7926509,2056	886,2492	150003,9088	250057,8577	886,2492
mc3	238168,9758	7926471,6763	887,8938	149968,3908	250022,6537	887,8938
Rotação = 03°53'04"						
Repetição						
EST	Este (m)	Norte (m)	h (m)	Este (m)	Norte (m)	h (m)
mc0	238202,0470	7926451,2160	887,8180	150000,0000	250000,0000	887,3678
mc1	238233,9612	7926462,4323	887,3678	150032,6013	250009,0268	887,8180
mc2	238202,0257	7926509,2073	886,2488	150003,9104	250057,8593	886,2488
mc3	238168,9866	7926471,6679	887,8936	149968,4021	250022,6462	887,8936
Rotação = 03°53'15"						

Fonte: Autor (2019)

6.4 Análise do Teste de F - Hipótese

O Teste de F foi aplicado para cada método do equipamento E1 e E2, totalizando um total de seis análises. Para o método não orientado, o Teste de F não validou E1, onde o valor de F calculado apresentou valor fora do intervalo de confiança. Ao contrário, em todos dados de E2, aceitou-se a hipótese nula, apresentando o valor crítico superior ao calculado.

Na realização do método dos pares conjugados, apesar de observada uma melhora na qualidade das medidas, E1 manteve situação constante ao método anterior, com a presença de erros significativos. Posteriormente, o equipamento E2 apresentou valores satisfatórios com F calculado igual a 9,143268409 e F crítico de 9,276628153 (F calculado $<$ F crítico), sobre um nível de confiança de 95% das medidas, aceitando a hipótese nula.

No método das repetições, observou-se para o equipamento E1, a imprecisão das medidas, uma vez que os resultados apresentaram valores com F calculado fora do intervalo de

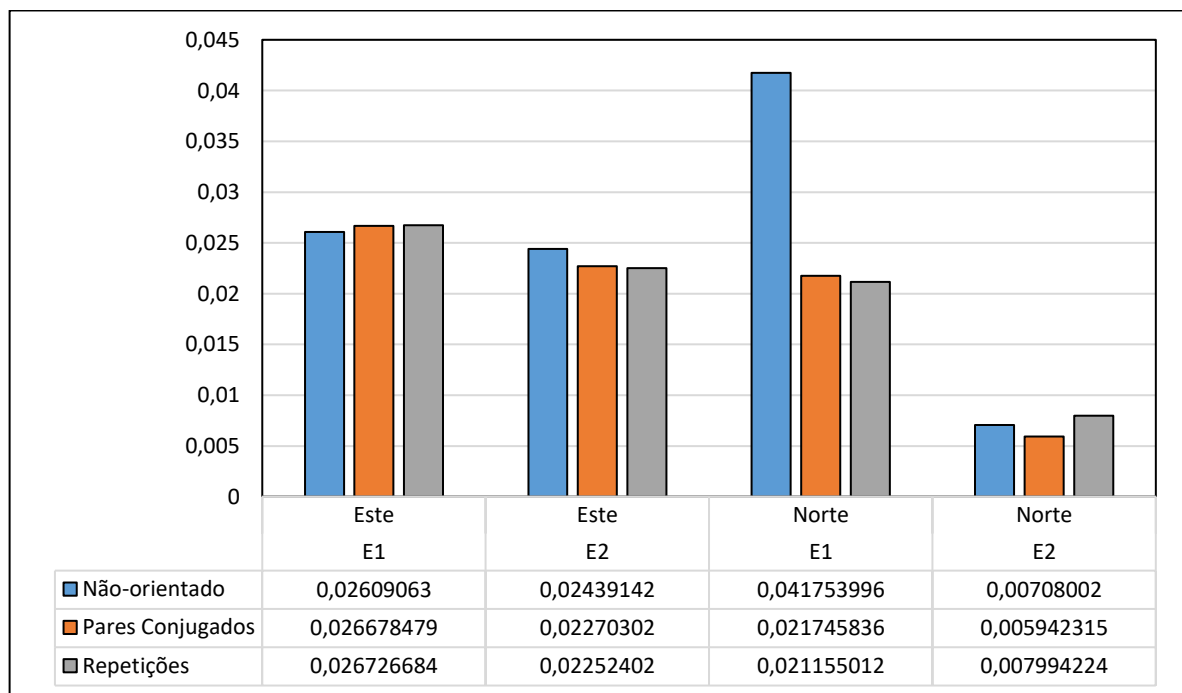
confiança. Dessa maneira, o equipamento E1 não apresentou a exatidão estimada para o Teste de F em nenhum dos métodos aplicados.

De posse da análise dos seis valores de Teste de F , avaliou-se a ocorrência de variação entre os pares de dados (levantamento geodésico e levantamento topográfico) e observou-se a qualidade de medidas para cada método proposto do equipamento E2. O método não orientado, apresentou menor qualidade em suas medidas, seguido do método dos pares conjugados. No método das repetições, onde o número de observações foi maior, o Teste de F apresentou os valores mais satisfatórios (F calculado $<$ F crítico) das duas estações totais e dos três métodos propostos, podendo considerar os erros inerentes com valor nulo.

6.5 Erro Posicional

O erro posicional, ou seja, o erro decorrente da variação das coordenadas do levantamento topográfico em relação as coordenadas geodésicas, após a transformação de ambos os sistemas de coordenadas para o STL, é expresso no Apêndice C, que apresenta ainda a variância posicional para as coordenadas com distribuição dos erros angulares (Tabela 15 e 16) para as estações totais E1 e E2. Os valores de RMSE referentes ao erro posicional sem distribuição estão representados na Figura 19 em valores métricos:

Figura 18 - Representação Gráfica do Valores de RMSE



Fonte: Autor (2019)

Relacionado aos valores do Teste de F , observou-se coerência dos erros posicionais, com proporcionalidade direta em ambas as análises. Para os valores de coordenada Este (E), o equipamento E1 apresentou erro posicional superior à 25cm, diferentemente de E2, que obteve valor inferior a este em todas as observações. Para o valor Norte (N), o erro posicional de E1 permaneceu superior à E2 em todos os métodos. Os valores para altimetria (h) foram desconsiderados, em razão de que o estudo se baseou na projeção das coordenadas sobre um plano, podendo desprezar esta medida.

Quando comparado o erro posicional entre os métodos, diferente da Figura 19 que relacionou os métodos com a verdade de campo, a Tabela 17 permite observar a conjuntura das medidas, com aproximação dos valores de variação de coordenadas entre os métodos propostos. Conclui-se que, embora o equipamento E2 tenha apresentado maior precisão, os valores dos erros inerentes às medidas possuem valores próximos.

Tabela 12 - Cálculo de RMSE entre os Métodos

Método	E1			E2		
	E (m)	N (m)	h (m)	E (m)	N (m)	h (m)
Não-orientado	0,003945934	0,002436656	0,020581667	0,001860263	0,001737705	0,500450212
Pares Conjugado	0,002801760	0,001902478	0,020349324	0,005764227	0,003844175	0,000269258
Repetições	0,001405460	0,000601383	0,000474342	0,006940991	0,002703268	0,500350065

Fonte: Autor (2019)

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo permitiu analisar as medidas lineares, angulares e posicionais obtidas com as estações totais e GNSS/RTK, de modo a classificar os equipamentos quanto seus erros de fechamento angular e linear, baseado em suas precisões normalizadas e nominais e cálculo do RMSE.

Das considerações da NBR 13.133 - Execução de Levantamento Topográfico, nota-se a ausência de suporte para a realização de trabalhos específicos. A elaboração desta norma foi no ano de 1994. Ao longo deste período, os equipamentos topográficos, bem como os aspectos operacionais relativos as atividades normalizadas, sofreram alterações e avanços que necessitam de atualização. Dessa maneira, foram definidos tipos e classes de poligonais de outra ordem que mais adequaram-se as características deste estudo, uma vez que não era especificado diretrizes para a execução de poligonais sem apoio.

Executada análise das medidas angulares e lineares, conclui-se que para fins de análise, a redundância de medidas é de extrema importância para que os valores referentes sejam estimados com maior precisão. O método das repetições foi o que apresentou melhores resultados, com os valores coerentes aos estabelecidos pela NBR 13.133 para a poligonal do tipo 1 e classe de poligonal IIIP, podendo ainda, o equipamento E2 ser empregado para as classes de ordem superior e o equipamento E1 com exceção apenas da classe IP. O método não-orientado e pares conjugados, apresentaram proximidades em seus resultados, com erro angular fora das tolerâncias exigidas e desvio padrão relativamente maior que o método por repetição.

Dentre as medidas angulares, o ponto m3/m0 do equipamento E2, destacou-se dos demais pontos pela sua discrepância superior à 03' em relação ao valor de referência nos métodos não-orientado e par conjugado. Tal fator, implicou diretamente nos valores de desvio padrão, RMSE e erro angular. Dessa maneira, para recomendações de trabalhos futuros, atentar-se para correção deste tipo de erro, bem como o estudo de comportamentos das medidas angulares e lineares dos equipamentos por meio de observações a longo período (mensal ou anual) para a verificação de danos gradativos ou outros.

Para análise das medidas angulares, o equipamento E2, tanto no método não-orientado como no métodos dos pares conjugados, não apresentou valores dentro das tolerâncias estabelecidas pela NBR 13.133. Para o método das repetições, apresentou valor preciso, demonstrando aptidão para a realização de levantamentos para todos os tipos de classes de poligonal. Da mesma maneira o equipamento E1, que apesar de valor do erro angular superior ao de E2, apresentou similaridade com valores dentro da tolerância, estando não propício apenas para a realização de trabalhos da classe de poligonal IP. O método não-orientado para E1, atendeu a precisão para as classes de poligonal IVP, VP e IIPRC e para o método dos pares conjugados as classes de poligonal IIIP, IVP, VP e IIPRC.

Calculado o RMSE para os valores de erro posicional dos equipamentos E1 e E2, as medidas apresentaram-se inaptas para trabalhos que exijam precisão acima de 30cm. No entanto, podem suceder desenvoltura na realização de outros trabalhos, como por exemplo, o Georreferenciamento de Imóveis Rurais, em atendimento à Lei nº10.267, sob responsabilidade do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), onde estabelece que a precisão posicional deve ser inferior ou igual a 50cm. Assim, observa-se que todos os pontos observados estão com precisão posicional dentro dos limites propostos pela Lei nº10.267.

Após calculado os valores de RMSE e aplicado a análise estatística das medidas (Teste de F), observou-se que o equipamento E2 apresenta melhores condições de trabalho, oferecendo

maior precisão para os métodos aplicados. O equipamento E1, após análise dos dados, classificou-se como inadequado para a realização de levantamento topográfico, onde o valor de F calculado, não foi aceito em nenhuma das hipóteses para os métodos realizado. Consequentemente, o valor de RMSE apresentou maior valor para o erro posicional.

Das recomendações, para trabalhos que exijam maior precisão linear e angular, recomenda-se dar preferência para métodos que possuam redundâncias de medidas como o método das repetições e pares conjugados.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13.133 - Normas Técnicas para a Execução de Levantamento Topográfico**. Rio de Janeiro. 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 14.166 - Rede de Referência Cadastral Municipal – Procedimento**. Rio de Janeiro. 1998.
- BARBOSA, E. M. et al. **Integridade no Posicionamento RTK e RTK em Rede**. Boletim de Ciências Geodésicas, Curitiba, v. 16, n. 4, p.591-605, dez. 2010.
- BORRE, K. **Mathematical Foundation of Geodesy: Selected Papers of Torben Krarup**. 1. ed. Heidelberg: Springer, 2006. Disponível em: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-33767-9_18>. Acesso em: 25 set. 2018.
- BRANDÃO, A. C. **Cálculo Analítico de Poligonais Apoiadas e Fechadas (Anel)**. Disponível em:<<http://www.geodesia.ufba.br/site/sites/cascabgrad.edu.br/files/CalculoAnaliticoPoligonaisApoiadaFechada.pdf>>. Acesso em: 03 maio 2019.
- CANTERI, M. G. et al. **SASM-AGRI - Sistema para Análise e Separação de Médias em Experimentos Agrícolas pelos Métodos Scott-knott, Tukey e Duncan**. Revista Brasileira de Agrocomputação, Ponta Grossa, v. 1, n. 2, p.18-24, dez. 2001.
- CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO - COBRAC. **Análise Local da Altitude Ortométrica Obtida Através de Posicionamento Relativo e a Altitude Nivelada**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.
- FAGGION, P. L. **Considerações sobre a Instrumentação Topográfica**, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Departamento de Geomática, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná - UFPR. Curitiba, 2006.
- FONTES, L. C. A. A. **A Evolução Histórica e Tecnológica do Instrumental Topográfico**.

[s.i]: Universidade Federal da Bahia, 2005. Disponível em:

<<http://www.topografia.ufba.br/evolucao%20tecnologicatop.pdf>> Acesso em: 06 set. 2018.

GONÇALVES, J. A.; MADEIRA, S.; SOUZA, J. J. **Topografia – Conceitos e Aplicações**. 3. ed. [s.i.]: Lidel, 2012.

INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. **Manual Técnico de Posicionamento**. Brasília, 2013.

LEICA GEOSYSTEMS. **Simplificando o Levantamento Topográfico**. Disponível em: <http://w3.leica-geosystems.com/downloads123/zz/general/general/brochures/Surveying_pt.pdf>. Acesso em: 08 nov. 2018.

MCCOMARC, J. **Topografia**. 5. Ed [s.i.]: Ltc, 2007

MIRANDA, F. D. A. **Monitoramento Topográfico em Tempo-Real com a Utilização de um Sistema Semi-Automatizado**. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: Descrição, Fundamentos e Aplicações**. 2. ed. São Paulo: Unesp, 2008.

NOGUEIRA, F. **Modelagem e Simulação - Modelos de Previsão**, 2009. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/epd042/files/2009/02/previsao1.pdf>>. Acesso em: Acesso em: 30 de outubro de 2018.

NOGUEIRA, L. C. A. **Integração GNSS e Topografia com Diferentes Métodos de Levantamento para Determinação de Pontos de Apoio**. 2016. 42 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica, Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Monte Carmelo, 2016.

PASTANA, C. E. T. **Topografia I e II** - Anotações de Aulas. 2010. Disponível em: <<http://civilnet.com.br/Files/topo2/TOPOGRAFIA-APOSTILA-2010-1.pdf>>. Acesso em: 18 set. 2018.

PITTELLA, M. S.; SALBEGO, A. G. **Aplicação da Topografia na Engenharia Civil**. Bagé: Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, Bagé. Universidade Federal do Pampa, 2014. Disponível em: <<http://seer.unipampa.edu.br/index.php/siepe/article/view/7833>>. Acesso em: 09 jul. 2018.

SOUZA, I. A. M. **A Calibração de Instrumentos de Medições Topográficas e Geodésicas: a Busca pela Acreditação Laboratorial**. 2010. 198 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo - USP, São Carlos, 2010.

SUÁREZ, H. A. **Uso do Método Compacto para Calibração de Estações Totais**. 2014. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18143/tde-23102014-085221/publico/HeymarArancibiaSuarez.pdf>>. Acesso em: 01 set. 2018.

TOPCON. *Hiper V Operator's Manual*. 2012.

TRESCASTRO, F. P.; THUM, A. B. **Análise Local da Altitude Ortométrica Obtida Através de Posicionamento Relativo e a Altitude Nivelada**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

VEIGA, L. A. K.; ZANETTI, M. A. Z.; FAGGION, P. L. **Fundamentos de Topografia**. [s.i.]: UFPR, 2012. 274 p. Disponível em: <http://www.cartografica.ufpr.br/docs/topo2/apos_topo.pdf>. Acesso em: 01 set. 2018.

XAVIER, V. A. **Levantamento Topográfico para Cálculo de Volume**. Rio de Janeiro: Mundogeo, 2010. Disponível em: <<http://mundogeo.com/blog/2010/08/12/levantamento-topografico-para-calculo-de-volume/>>. Acesso em: 26 maio 2018.

ZANETTI, M. A. Z. **Implicações Atuais no Relacionamento entre Sistemas Terrestres de Referência de Origem Local e Geocêntrica.** Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

APÊNDICE A

Equações usadas para transformação das coordenadas geodésicas em coordenadas plano-retangulares segundo NBR 14.166:

$$X_p = 150.000 + x_p \quad (1)$$

$$Y_p = 250.000 + y_p \quad (2)$$

$$x_p = -\Delta\lambda_p \cos\phi_p N_p \text{ arc}1'' \text{ x c} \quad (3)$$

$$y_p = \frac{1}{B} [\Delta\phi_1 + C x_p^2 + D (\Delta\phi_1)^2 + E (\Delta\phi_1) x_p^2 + E C x_p^4] \text{ x c} \quad (4)$$

$$\Delta\lambda = \Delta\lambda_p - \Delta\lambda_0 \quad (5)$$

$$\Delta\phi = \Delta\phi_p - \Delta\phi_0 \quad (6)$$

$$\Delta\lambda_1 = \Delta\lambda'' [1 - 3,9173 \times 10^{-12} (\Delta\lambda'')^2] \quad (7)$$

$$\Delta\phi_1 = \Delta\phi'' [1 - 3,9173 \times 10^{-12} (\Delta\phi'')^2] \quad (8)$$

$$B = \frac{1}{M_0 \text{ arc}1''} \quad (9)$$

$$C = \frac{\tan\phi_0}{2 M_0 N_0 \text{ arc}1''} \quad (10)$$

$$D = \frac{3e^2 \text{ sen}\phi_0 \cos\phi_0 \text{ arc}1''}{2(1 - e^2 \text{ sen}^2\phi_0)} \quad (11)$$

$$E = \frac{1 + 3 \tan\phi_0}{6N_0^2} \quad (12)$$

$$c = \frac{R_0 + H_t}{R_0} \quad (13)$$

$$R_0 = \sqrt{M_0 \times N_0} \quad (14)$$

$$M_0 = \frac{a(1 - e^2)}{(1 - e^2 \sin^2 \phi_0)^{3/2}} \quad (15)$$

$$N_0 = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \phi_0)^{1/2}} \quad (16)$$

$$N_p = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \phi_0)^{1/2}} \quad (17)$$

$$e = \left(\frac{a^2 - b^2}{a^2} \right)^{1/2} \quad (18)$$

onde:

X, Y = coordenadas plano-retangulares no Sistema Topográfico Local;

φ_p, λ_p = coordenadas geodésicas (latitude e longitude, respectivamente) do vértice P considerado;

φ_0, λ_0 = coordenadas geodésicas do ponto origem do sistema;

M_0 = raio de curvatura da seção meridiana do elipsoide de referência em P_0 (origem do sistema);

N_0 = raio de curvatura da seção normal ao plano meridiano do elipsoide de referência em P_0 ;

N_p = raio de curvatura da seção normal ao plano meridiano do elipsoide de referência em P;

c = fator de elevação;

a = o semi-eixo maior de referência;

b = o semi-eixo menor de referência;

e = a primeira excentricidade de referência;

f = o achatamento do elipsóide de referência;

H_t = altitude ortométrica média do terreno ou altitude do plano topográfico local.

APÊNDICE B

Figura 19 - Relatório de Estação Geodésica

IBGE		Relatório de Estação Geodésica	
Estação :	99658	Nome da Estação :	99658
Município :	MONTE CARMELO	Tipo :	Estação GPS
Última Visita :	17/01/2017	Situação Marco Principal :	Bom
		UF :	MG

DADOS PLANIALTIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	18 ° 44 ' 13,14554 " S	Altitude Ortométrica(m)		Gravidade(mGal)	
Longitude	47 ° 28 ' 58,42882 " W	Fonte		Datum	
Altitude Geométrica(m)	887,828	Sigma Altitude(m)		Data Medição	
Fonte	GPS Geodésico	Datum		Data Cálculo	
Origem	Ajustada	Data Medição			
Datum	SIRGAS2000	Data Cálculo			
Data Medição	17/01/2017				
Data Cálculo	10/03/2017				
Sigma Latitude(m)	0,003				
Sigma Longitude(m)	0,004				
Sigma Altitude Geométrica(m)	0,016				
UTM(N)	7.926.451,236				
UTM(E)	238.202,055				
MC	-45				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 30/07/2018 - Relatório em :
ftp://geoflp.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rede_altimetrica/relatorio/relatorio_REALT_2018.pdf
 - Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em :
ftp://geoflp.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rede_planialtimetrica/relatorio/re_l_sirgas2000.pdf
 - Para obtenção de Altitude Ortométrica referente a levantamento SAT utilizar o MAPGEO2015 disponível em :
<https://www.ibge.gov.br/geociencias-novportal/modelos-digitaais-de-superficie/modelos-digitaais-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://geoflp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/rpr_01_2015_sirgas2000.pdf

Localização
Nas dependências do SESI, próximo da quadra de futebol, Rua Goiás, nº 2000, Bairro Vila Nova.

Descrição
Tronco de pirâmida de concreto, medindo 0,3 m X 0,3 m na base e 0,18 m X 0,18 m no topo, altura de 0,4 m.

Observação
Homologação de Marco Geodésico

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 218181 Email: ibge@ibge.gov.br

Página 1 de 1
 25/1/2019

IBGE - DGC - Coordenação de Geodésia

Fonte: Autor (2019)

Figura 20 - Relatório de Informação de Estação RBMC - Parte 01



 RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS Relatório de Informação de Estação MGMT - Monte Carmelo	
0. Formulário	
Preparado por: Centro de Controle Eng. Kátia Duarte Pereira - RBMC	
Data: 12/04/2017	
Atualização: 17/11/2017 - Atualização de Firmware	
1. Identificação da estação GPS	
Nome da Estação:	MONTE CARMELO
Ident. da Estação:	MGMT
Código SAT:	99680
Código Internacional:	48057M001
2. Informação sobre a localização	
Cidade: Monte Carmelo	
Estado: Minas Gerais	
Informações Adicionais: Cilindro de concreto, medindo 30 cm de diâmetro, altura de 1,4 m, sobre base circular de 80 cm de diâmetro e 20 cm de altura. Possui dispositivo de centragem forçada no seu topo. Na Universidade Federal de Uberlândia - UFU, no campus de Monte Carmelo, Rodovia LMG 746, km 1.	
3. Coordenadas oficiais	
3.1. SIRGAS2000 (Época 2000.4)	
Coordenadas Geodésicas	
Latitude:	- 18° 43' 26,77271" Sigma: 0,001 m
Longitude:	- 47° 31' 25,66202" Sigma: 0,001 m
Alt. Elip.:	912,469 m Sigma: 0,003 m
Coordenadas Cartesianas	
X:	4.081.095,4123 m Sigma: 0,002 m
Y:	-4.457.449,2140 m Sigma: 0,002 m
Z:	-2.034.743,2647 m Sigma: 0,001 m
Coordenadas Planas (UTM)	
UTM (N):	7.927.817,000 m
UTM (E):	233.867,337 m
MC:	-45
4. Informações do equipamento GNSS	
4.1. Receptor	
4.1.1 Tipo do Receptor	- TRIMBLE NETR8
Número de Série	- 4923K35493
Versão do Firmware	- 48.01 (Principal)
Atualização do Firmware	- 17/11/2017 às 11:05 UTC
4.1.2 Tipo do Receptor	- TRIMBLE NETR8
Número de Série	- 4923K35493
Versão do Firmware	- 4.87 (Principal)
Data de Instalação	- 01/12/2016 às 18:00 UTC
4.2. Antena	

Figura 21 - Relatório de Informação de Estação RBMC - Parte 02

 RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS Relatório de Informação de Estação MGMT - Monte Carmelo	
4.2.1	<p>Tipo de Antena - GNSS CHOKE RING (TRM59800.00)</p> <p>URL imagem - http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/LoadImage?name=TRM59800.00%2BNONE.gif</p> <p>Número de Série - 4951353652</p> <p>Altura da Antena (m) - 0,0080 (distância vertical do topo do dispositivo de centragem forçada à base da antena)</p> <p>Data de Instalação - 01/12/2016 às 18:00 UTC</p>
<h3>5. Informações Complementares</h3>	
<p>5.1. Para informações técnicas contatar:</p> <p>Nome: IBGE/DGC/Coordenação de Geodésia</p> <p>Endereço: Av. Brasil, 15.671, CEP 21.241-051, Rio de Janeiro, RJ</p> <p>Telefone: (21) 2142-4935</p> <p>FAX: (21) 2142-4859</p> <p>Home Page: www.ibge.gov.br</p> <p>Contato: rbmc@ibge.gov.br</p>	
<p>5.2. Para informações sobre comercialização e aquisição de dados contatar:</p> <p>Nome: Centro de Documentação e Disseminação de Informações - CDDI/IBGE</p> <p>Endereço: Rua General Canabarro, 706, CEP 20271-201, Rio de Janeiro, RJ</p> <p>Telefone: 0800-721-8181</p> <p>Contato: ibge@ibge.gov.br</p>	
<p>5.3. Instituições participantes</p> <p>A RBMC conta com o apoio das seguintes instituições:</p> <p>http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/parcerias.shtml</p>	
<hr/>	
<p><small>IBGE - DGC - Coordenação de Geodésia - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo</small></p>	
<p><small>Página 2 de 2</small></p>	
<p><small>Data de Referência: 30/08/18</small></p>	

Fonte: Autor (2019)

APÊNDICE C

Tabela 13 - Erro Posicional de E1

Não-orientado									
EST	Levantamento Topográfico			Levantamento Geodésico			Diferenças		
	Este (m)	Norte (m)	Δh (m)	Este (m)	Norte (m)	Δh (m)	Este (m)	Norte (m)	Δh (m)
m0	150000,0000	250000,0000	887,3654	150000,0000	250000,0000	887,8300	0,0000	0,0000	0,4646
m1	150032,6635	250009,0442	887,8180	150032,6118	250009,0178	887,3700	0,0517	0,0264	0,4480
m2	150003,9475	250057,9367	886,2462	150003,9533	250057,8637	886,2500	- 0,0058	0,0730	- 0,0038
m3	149968,3891	250022,6893	887,8949	149968,3933	250022,6586	887,9100	- 0,0042	0,0307	- 0,0151
Pares Conjugados									
EST	Levantamento Topográfico			Levantamento Geodésico			Diferenças		
	Este (m)	Norte (m)	Δh (m)	Este (m)	Norte (m)	Δh (m)	Este (m)	Norte (m)	Δh (m)
m0	150000,0000	250000,0000	887,4065	150000,0000	250000,0000	887,8300	0,0000	0,0000	- 0,4235
m1	150032,6652	250009,0438	887,8180	150032,6118	250009,0178	887,3700	0,0534	0,0260	0,4480
m2	150003,9540	250057,9389	886,2451	150003,9533	250057,8637	886,2500	0,0007	0,0752	- 0,0049
m3	149968,3932	250022,6936	887,8929	149968,3933	250022,6586	887,9100	- 0,0001	0,0350	- 0,0171
Repetição									
EST	Levantamento Topográfico			Levantamento Geodésico			Diferenças		
	Este (m)	Norte (m)	Δh (m)	Este (m)	Norte (m)	Δh (m)	Este (m)	Norte (m)	Δh (m)
m0	150000,0000	250000,0000	887,3659	150000,0000	250000,0000	887,8300	0,0000	0,0000	- 0,4641
m1	150032,6650	250009,0443	887,8180	150032,6118	250009,0178	887,3700	0,0532	0,0265	0,4480
m2	150003,9489	250057,9376	886,2470	150003,9533	250057,8637	886,2500	- 0,0044	0,0739	- 0,0030
m3	149968,3910	250022,6901	887,8950	149968,3933	250022,6586	887,9100	- 0,0023	0,0315	- 0,0150

Fonte: Autor (2019)

Tabela 14 - Erro Posicional de E2

Não-orientado									
EST	Levantamento Topográfico			Levantamento Geodésico			Diferenças		
	Este (m)	Norte (m)	Δh (m)	Este (m)	Norte (m)	Δh (m)	Este (m)	Norte (m)	Δh (m)
m0	150000,0000	250000,0000	887,3679	150000,0000	250000,0000	887,8300	0,0000	0,0000	- 0,4621
m1	150032,6032	250009,0267	887,8180	150032,6118	250009,0178	887,3700	- 0,0086	0,0089	0,4480
m2	150003,9055	250057,8561	886,2483	150003,9533	250057,8637	886,2500	- 0,0478	- 0,0076	- 0,0017
m3	149968,3893	250022,6506	886,8929	149968,3933	250022,6586	887,9100	- 0,0040	- 0,0080	- 1,0171
Pares Conjugados									
EST	Levantamento Topográfico			Levantamento Geodésico			Diferenças		
	Este (m)	Norte (m)	Δh (m)	Este (m)	Norte (m)	Δh (m)	Este (m)	Norte (m)	Δh (m)
m0	150000,0000	250000,0000	887,3681	150000,0000	250000,0000	887,8300	0,0000	0,0000	- 0,4619
m1	150032,6029	250009,0268	887,8180	150032,6118	250009,0178	887,3700	- 0,0089	0,0090	0,4480
m2	150003,9088	250057,8577	886,2492	150003,9533	250057,8637	886,2500	- 0,0445	- 0,0060	- 0,0008
m3	149968,3908	250022,6537	887,8938	149968,3933	250022,6586	887,9100	- 0,0025	- 0,0049	- 0,0162
Repetição									
EST	Levantamento Topográfico			Levantamento Geodésico			Diferenças		
	Este (m)	Norte (m)	Δh (m)	Este (m)	Norte (m)	Δh (m)	Este (m)	Norte (m)	Δh (m)
m0	150000,0000	250000,0000	887,3678	150000,0000	250000,0000	887,8300	0,0000	0,0000	- 0,4622
m1	150032,6013	250009,0268	887,818	150032,6118	250009,0178	887,3700	- 0,0105	0,0090	0,4480
m2	150003,9104	250057,8593	886,2488	150003,9533	250057,8637	886,2500	- 0,0429	- 0,0044	- 0,0012
m3	149968,4021	250022,6462	887,8936	149968,3933	250022,6586	887,9100	0,0088	- 0,0124	- 0,0164

Fonte: Autor (2019)

Tabela 15 - Erro Posicional com Distribuição dos Erros Angulares E1

Não-orientado									
EST	Levantamento Topográfico			Levantamento Geodésico			Diferenças		
	Este (m)	Norte (m)	Δh (m)	Este (m)	Norte (m)	Δh (m)	Este (m)	Norte (m)	Δh (m)
m0	150000,0000	250000,0000	887,3654	150000,0000	250000,0000	887,830	0,0000	0,0000	-0,4646
m1	150032,6499	250009,0283	887,8180	150032,6118	250009,0178	887,370	0,0381	0,0105	0,4480
m2	150003,9565	250057,9146	886,2462	150003,9533	250057,8637	886,250	0,0032	0,0509	-0,0038
m3	149968,3846	250022,6922	887,8949	149968,3933	250022,6586	887,910	-0,0087	0,0336	-0,0151
Pares Conjugados									
EST	Levantamento Topográfico			Levantamento Geodésico			Diferenças		
	Este (m)	Norte (m)	Δh (m)	Este (m)	Norte (m)	Δh (m)	Este (m)	Norte (m)	Δh (m)
m0	150000,0000	250000,0000	887,8180	150000,0000	250000,0000	887,830	0,0000	0,0000	-0,0120
m1	150032,6507	250009,0286	887,4140	150032,6118	250009,0178	887,370	0,0389	0,0108	0,0440
m2	150003,9599	250057,9158	886,2650	150003,9533	250057,8637	886,250	0,0066	0,0521	0,0150
m3	149968,3870	250022,6933	887,9238	149968,3933	250022,6586	887,910	-0,0063	0,0347	0,0138
Repetição									
EST	Levantamento Topográfico			Levantamento Geodésico			Diferenças		
	Este (m)	Norte (m)	Δh (m)	Este (m)	Norte (m)	Δh (m)	Este (m)	Norte (m)	Δh (m)
m0	150000,0000	250000,0000	887,8180	150000,0000	250000,0000	887,830	0,0000	0,0000	-0,0120
m1	150032,6580	250009,0306	887,3659	150032,6118	250009,0178	887,370	0,0462	0,0128	-0,0041
m2	150003,9670	250057,9185	886,2470	150003,9533	250057,8637	886,250	0,0137	0,0548	-0,0030
m3	149968,4083	250022,6937	887,8950	149968,3933	250022,6586	887,910	0,0150	0,0351	-0,0150

Fonte: Autor (2019)

Tabela 16 - Erro Posicional com Distribuição dos Erros Angulares E2

Não-orientado									
EST	Levantamento Topográfico			Levantamento Geodésico			Diferenças		
	Este (m)	Norte (m)	Δh (m)	Este (m)	Norte (m)	Δh (m)	Este (m)	Norte (m)	Δh (m)
m0	150000,0000	250000,0000	887,8180	150000,0000	250000,0000	887,830	0,0000	0,0000	-0,0120
m1	150032,6580	250009,0306	887,3679	150032,6118	250009,0178	887,370	0,0462	0,0128	-0,0021
m2	150003,9670	250057,9185	886,2483	150003,9533	250057,8637	886,250	0,0137	0,0548	-0,0017
m3	149968,4083	250022,6937	887,8929	149968,3933	250022,6586	887,910	0,0150	0,0351	-0,0171
Pares Conjugados									
EST	Levantamento Topográfico			Levantamento Geodésico			Diferenças		
	Este (m)	Norte (m)	Δh (m)	Este (m)	Norte (m)	Δh (m)	Este (m)	Norte (m)	Δh (m)
m0	150000,0000	250000,0000	887,8180	150000,0000	250000,0000	887,830	0,0000	0,0000	-0,0120
m1	150032,5983	250009,0141	887,3681	150032,6118	250009,0178	887,370	-0,0135	-0,0037	-0,0019
m2	150003,9274	250057,8408	886,2492	150003,9533	250057,8637	886,250	-0,0259	-0,0229	-0,0008
m3	149968,4177	250022,6561	887,8938	149968,3933	250022,6586	887,910	0,0244	-0,0025	-0,0162
Repetição									
EST	Levantamento Topográfico			Levantamento Geodésico			Diferenças		
	Este (m)	Norte (m)	Δh (m)	Este (m)	Norte (m)	Δh (m)	Este (m)	Norte (m)	Δh (m)
m0	150000,0000	250000,0000	887,8180	150000,0000	250000,0000	887,830	0,0000	0,0000	-0,0120
m1	150032,5943	250009,0130	887,3678	150032,6118	250009,0178	887,370	-0,0175	-0,0048	-0,0022
m2	150003,9288	250057,8402	886,2488	150003,9533	250057,8637	886,250	-0,0245	-0,0235	-0,0012
m3	149968,4195	250022,6500	887,8936	149968,3933	250022,6586	887,910	0,0262	-0,0086	-0,0164

Fonte: Autor (2019)

Observações: Quando comparada as Tabelas 13 e 14 com 15 e 17, é possível notar diferença nos valores de erro posicional quando aplicada a distribuição do erro angular sobre os pontos levantados. No entanto, isso não implica diretamente em uma redução destes valores, visto que a correção foi aplicada somente para as medidas angulares. Os erros lineares permaneceram constantes para esta análise.