

Aferição dos Ângulos horizontais e verticais das Estações Totais

Tássia Conrado Macedo ¹
Prof. Dr. Luiz Guimarães Barbosa ²
Prof. João Gonçalves Bahia ³

^{1,2,3} UFRRJ - Departamento de Engenharia
23890-000 Seropédica - RJ
¹ Tassiacnrado@yahoo.com.br
² luizgbarbosa@gmail.com
³ jbahia@ufrj.br

Resumo – Pelo fato da maioria dos trabalhos de engenharia exigir precisão e alta qualidade dos dados e observações, os aparelhos e instrumentos utilizados nos levantamentos topográficos e geodésicos devem atender tal exigência. Esses equipamentos devem ser submetidos a processos de aferições, calibrações, retificações e classificação, os quais devem ser realizados periodicamente conforme especificação do equipamento e normas. Este estudo tem como finalidade realizar a classificação angular horizontal e vertical de quatro estações totais, da marca FOIF recentemente adquiridas pela UFRRJ, em ambiente de campo através de testes completos baseado na norma ISO 17.123 e classificado segundo a norma NBR 13.133/94. As estações totais aferidas possuem uma classificadas como de média precisão.

Palavras Chaves: Classificação angular, Precisão angular

Abstract - Because the majority of engineering work requires precision and high quality of data and observations, equipment and instruments used in surveying and geodetic must meet this requirement. This equipment should be subjected to processes of measurements, calibrations, corrections and classification, which should be performed periodically as specified by the equipment and standards. This study aims to sort horizontal and vertical angle of four total stations, FOIF brand, recently acquired by UFRRJ in a field environment through thorough testing based on ISO 17123 and classified according to NBR 13.133/94. The total stations have measured an angular accuracy rating of $\pm 5''$ and after all testing had better precision than nominal and were classified as medium accuracy.

Key words: Rated angular, Angular precision

1 Introdução

Levantamentos topográficos e geodésicos vêm sendo cada vez mais empregados em trabalhos de engenharia, englobam-se nesse contexto, determinações de desníveis, locações de obras, monitoramento de estruturas, georreferenciamento e outras aplicações. Sabe-se ainda que a maioria dos trabalhos executados nessas áreas exige precisão e grande qualidade dos dados e observações, dessa forma, devem atender a especificação contida em normas brasileiras e internacionais. Portanto é extremamente necessário que os aparelhos e instrumentos utilizados atendam a essas exigências. Para isso processos de aferições, calibrações, retificações e classificação desses instrumentos devem ser realizados periodicamente conforme especificação do equipamento e normas.

Os processos citados acima devem ser realizados periodicamente visto que vários fatores que agem sobre as peças e procedimentos inadequados causam danos aos equipamentos fazendo com que estes percam em qualidade e trabalhem fora dos padrões estabelecidos em fábrica. Esses fatores podem ser enumerados como armazenamento em longo período de tempo, procedimentos inadequados, uso intenso e contínuo, entre tantos outros que justificam a perda de precisão dos equipamentos.

No âmbito internacional existe uma norma, a qual estabelece as diretrizes para procedimentos de testes com instrumentos ópticos denominada de ISO 17123, essa norma tem como finalidade o estabelecimento de procedimentos para a aferição angular horizontal e vertical. Em sua parte 3: *Theodolites* são resumidamente apresentados considerações de normas auxiliares, modelos matemáticos e modelos de medições de ângulos horizontais e verticais, termos e definições.

No território brasileiro, existe a norma NBR 13.133 a qual fixa as condições exigíveis para a execução de levantamento topográfico, e em um dos seus itens detalha a classificação dos equipamentos usados em levantamentos. Nessa classificação são estabelecidos valores de referência para a classificação de instrumentos geodésicos e topográficos, tais como, as estações totais em função da precisão angular e linear e os teodolitos de acordo com a precisão angular.

De fato, a classificação desses instrumentos deve ser realizada por entidades oficiais e Universidades, em condições apropriadas, segundo a norma NBR 13.133.

Considerando que recentemente a UFRRJ adquiriu quatro estações totais da marca FOIF, este trabalho irá realizar a aferição e em seguida a classificação das componentes angular vertical e horizontal das referidas estações totais, obedecendo às normas acima citadas.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo geral determinar a precisão operacional e a classificação angular horizontal e vertical de quatro estações totais da marca FOIF existentes no Departamento de Engenharia da UFRRJ.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Montar a parte física da base de aferição de medidores angulares horizontais e verticais, segundo a norma ISO 17123-3, para as verificações e classificações angulares horizontais;
- Determinar a precisão operacional e classificação das estações totais referentes às componentes angulares horizontais e verticais utilizando os procedimentos de campo, segundo a norma ISO 17123-3;

1.2 Justificativa

Nos últimos anos houve um aumento considerável de alunos tanto do curso de Engenharia de Agrimensura como de outros cursos no Departamento de Engenharia da UFRRJ que necessitam de equipamentos topográficos e geodésicos para seu aprendizado. Diante disto a universidade adquiriu recentemente vários equipamentos, sendo um deles estações totais da marca FOIF. Como há a necessidade de se conhecer a precisão operacional destas estações em condições de campo, torna necessário aferi-las para que possamos conhecer sua verdadeira potencialidade.

Por todo o motivo acima explicitado é que surgiu a necessidade de classificar as estações totais contidos no departamento. Essa classificação feita sobre os ângulos horizontais e verticais das estações possibilita para a comunidade usuária o conhecimento do potencial dos equipamentos topográficos e geodésicos de medição, fazendo com que se conheça a priori a qualidade que se consegue obter nas medições utilizando os referidos equipamentos.

2 Metodologia

A metodologia desenvolvida neste trabalho corresponde à empregada para avaliar a existência de erros nas leituras das direções horizontais e verticais. Essa metodologia para a classificação das componentes angulares (horizontal e vertical) de estações totais segue a norma ISO 17123-3. Este trabalho foi realizado no campus da UFRRJ.

A parte 3 da referida norma internacional estabelece as diretrizes para procedimentos de testes com instrumentos ópticos. Nessa parte da norma que são indicadas as configurações necessárias para a montagem da base de campo e a sequência de cálculos realizada em função de equações de ajustamento de observações. É importante ressaltar que essa norma estabelece testes completos e testes simplificados de campo.

Para esse trabalho, optou-se pelo teste completo de campo, por esse apresentar uma metodologia mais completa e detalhada nas classificações. O teste simplificado de campo é útil para avaliar rapidamente um equipamento quanto a sua classificação angular, ele avalia um equipamento com um número reduzido de observações sendo constituído de apenas uma série de observações. O teste simplificado tem com utilidade as avaliações periódicas dos equipamentos, sendo depois necessária uma avaliação completa. Contudo, o teste simplificado pode indicar uma classificação menos rigorosa, devido ao número de observações serem reduzidos se comparado com o teste completo, assim os parâmetros para a análise do equipamento podem ficar prejudicados.

2.1. Classificação angular horizontal através do teste completo de campo

Os testes completos de campo são realizados baseados em algumas características. Ele é constituído pela observação de 5 alvos, nos quais devem ser realizadas 4 séries de medidas, sendo que cada série é formada por 3 conjuntos de observações. Cada conjunto é formado pela observação em posição direta (PD) e posição inversa (PI) dos cinco alvos distribuídos em torno de um pilar central. Portanto, um teste completo possui 60 observações em PD e 60 observações em PI, somando ao final do teste 120 observações (ISO17123-3, p.04). A figura 1 representa a área onde foi realizado o teste de campo da classificação horizontal, essa área pertence ao campus da UFRRJ. Na figura abaixo as elipses vermelhas representam os alvos e suas disposições na área.

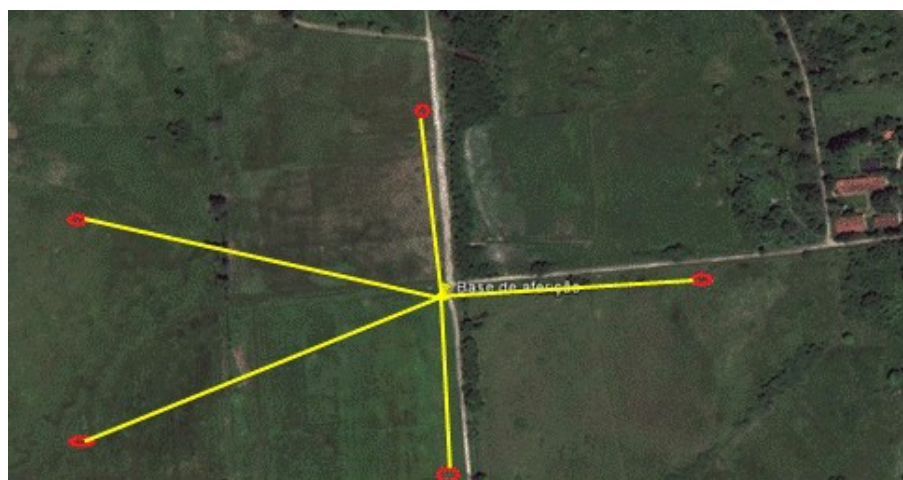


Figura 1 : Base de aferição angular na UFRRJ

Para que seja feita a verificação da precisão dos equipamentos deve ser analisado o desvio-padrão experimental obtido por cada instrumento. Esse desvio-padrão experimental é entendido como a raiz quadrada da soma dos quadrados dos resíduos das diferentes séries medidas, já a avaliação dos valores medidos é feita em função de equações de ajustamento de observações.

Com os resultados obtidos em campo (observações em PD e PI), foi possível a utilização de uma planilha eletrônica de cálculo, desenvolvida em ambiente Excel e baseada na planilha desenvolvida por SILVA (2008) para a classificação do equipamento. Essa planilha foi formulada de acordo com a norma fornecida pela NBR 13.133/1994 e seu desenvolvimento lógico segue o memorial de cálculo explicitado pela norma internacional tomada como base para este estudo.

Na planilha, primeiramente deve-se entrar com os dados dos parâmetros m , que representa o número de séries que serão realizadas no teste, o parâmetro j que indica o número de conjuntos pertencentes a cada série e o parâmetro k revela o número de alvos empregados.

Em seguida, é necessário entrar com os dados de observação, ou seja, os ângulos medidos em PD e PI.

A próxima coluna da planilha segue com a transformação de graus sexagesimais para graus decimais.

Em seguida os valores médios são calculados segundo a fórmula:

$$x_{j,k} = \frac{x_{j,k,I} + x_{j,k,II} \pm 180^\circ}{2}; j = 1, 2, 3; k = 1, \dots, 5 \quad (1)$$

Dando continuidade, a redução da direção representada pela figura 3.4 é calculada por:

$$x'_{j,k} = x_{j,k} - x_{j,1}; j = 1, 2, 3; k = 1, \dots, 5 \quad (2)$$

Os valores médios das direções resultantes de n=3 conjuntos para todos os k= 5 alvos são:

$$x_k = \frac{x'_{1,k} + x'_{2,k} + x'_{3,k}}{3}; k = 1, \dots, 5 \quad (3)$$

Para cada conjunto de medidas, as médias aritméticas resultam em:

$$d_j = \frac{d_{j,1} + d_{j,2} + d_{j,3} + d_{j,4} + d_{j,5}}{5}; j = 1, 2, 3 \quad (4)$$

A partir do qual os resíduos resultam:

$$r_{j,k} = d_{j,k} - d_j; j = 1, 2, 3; k = 1, \dots, 5 \quad (5)$$

Exceto para arredondamento de erros, cada conjunto deve atender a condição:

$$\sum_{k=1}^5 r_{j,k} = 0; j = 1, 2, 3 \quad (6)$$

A soma dos quadrados dos resíduos das i^{th} séries é calculada por:

$$\sum r^2_i = \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^5 r^2_{j,k} \quad (7)$$

Para n = 3 conjuntos de direções e t = 5 alvos o número de graus de liberdade é:

$$\nu_i = (3 - 1) \times (5 - 1) = 8 \quad (8)$$

O desvio padrão experimental s_i de uma direção $x_{j,k}$, tomado em um conjunto observado em ambas as posições da luneta, válido para a série de medições i^{th} equivale a:

$$s_i = \sqrt{\frac{\sum r^2_i}{\nu_i}} = \sqrt{\frac{\sum r^2_i}{8}} \quad (9)$$

O desvio padrão experimental, s, da direção horizontal observada em um conjunto (média aritmética das leituras em ambas as posições da luneta) de acordo com a parte 3 da ISO17123, calculado a partir de todas as 4 séries de medidas, proporcionando um grau de liberdade de:

$$\nu = 4 \times \nu_i = 32 \quad (10)$$

chega-se a:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 \sum r^2_i}{32}} = \sqrt{\sum_{i=1}^4 s_i^2} \quad (11)$$

2.1.1 Testes estatísticos para a classificação angular horizontal

Para os testes estatísticos, são interpretados os resultados obtidos para o desvio-padrão experimental, s, de uma direção horizontal observada em ambas as posições da luneta (PD e PI), que deve satisfazer as seguintes condições (ISO17123-3, P.06):

- O desvio-padrão experimental, s, é menor do que o valor, σ , indicado pelo fabricante ou menor do que outro valor pré-determinado para, σ .
- Dois desvios-padrão experimentais, pertencentes à mesma população, assumem que ambas possuem mesmo grau de liberdade, ν .

Com relação aos dois desvios-padrão experimentais, s e \bar{s} , mencionados acima, podem ser obtidos das seguintes formas (ISO17123-3, P.07):

- a) Duas amostras de observações do mesmo equipamento, obtidas por diferentes observadores;
- b) Duas amostras de observações do mesmo equipamento, em diferentes horários ou épocas;
- c) Duas amostras de observações de diferentes instrumentos.

Para a continuação da análise estatística, define-se o nível de confiança das observações como sendo $1-\alpha = 0,95$ e o número de graus de liberdade, como definido anteriormente, $\nu = 32$. No quadro 1, são apresentadas as considerações possíveis para os testes estatísticos (ISO17123-3, P.07).

Avaliação	Hipótese nula	Hipótese alternativa
Desvio padrão experimental é \leq ao desvio padrão dado pelo fabricante	$s \leq \sigma$	$s > \sigma$
Os dois desvios padrão analisados pertencem à mesma amostra	$s = \bar{s}$	$s \neq \bar{s}$

Quadro 1 – Avaliação dos testes estatísticos

As considerações matemáticas acerca dos testes estatísticos são apresentadas a seguir (ISO17123-3, p.07):

Avaliação a: a hipótese nula é aceita se o desvio padrão experimental, s , de uma direção horizontal observada em duas posições da luneta, for igual ou menor do que um valor teórico ou predeterminado pelo fabricante do equipamento, σ . Para isso a seguinte condição deve ser satisfeita:

$$s \leq \sigma \times \sqrt{\frac{\chi^2_{1-\alpha}}{\nu}} \quad (12)$$

$$\chi^2_{0,95}(32) = 46,19 \text{ (valor tabelado)}$$

Caso contrário à hipótese nula é rejeitada.

Avaliação b: a hipótese nula é aceita caso as duas amostras analisadas pertençam à mesma população, $s = \bar{s}$. Para isso, a seguinte condição deve ser satisfeita:

$$\frac{1}{F_{1-\alpha/2}(\nu, \nu)} \leq \frac{s^2}{\bar{s}^2} \leq F_{1-\alpha/2}(\nu, \nu) \quad (13)$$

$$F_{0,975}(32,32) = 2,02 \text{ (valor tabelado)}$$

Caso contrário, a hipótese nula é rejeitada.

2.2. Classificação angular vertical através do teste completo de campo

Assim como a classificação angular horizontal, a classificação angular vertical também segue as definições da norma internacional que apresenta considerações de normas auxiliares, termos e definições, modelos matemáticos e modelos de medições de ângulos verticais.

Nesse teste, o equipamento deve ser instalado a uma distância de aproximadamente 50 metros do conjunto de alvos.

Para o teste simplificado é necessário $m = 1$ série de medidas, $x_{j,k}$ de um conjunto observado em ambas às posições da luneta. Esta série de medidas consiste em $n = 3$ conjuntos (j), com 4 alvos (k) cada conjunto.

Porém, neste trabalho o teste realizado foi o completo. O teste completo de classificação angular vertical exige $m = 4$ séries de medidas (i), $x_{j,k}$ de um conjunto observado em ambas às posições da luneta. Cada

série medida consiste em $n = 3$ conjuntos, com 4 alvos (k) cada conjunto (ISO17123-3, p.08). Os cálculos e análises dos resultados são encontrados na referida norma. A figura abaixo mostra o esquema de classificação vertical das estações.

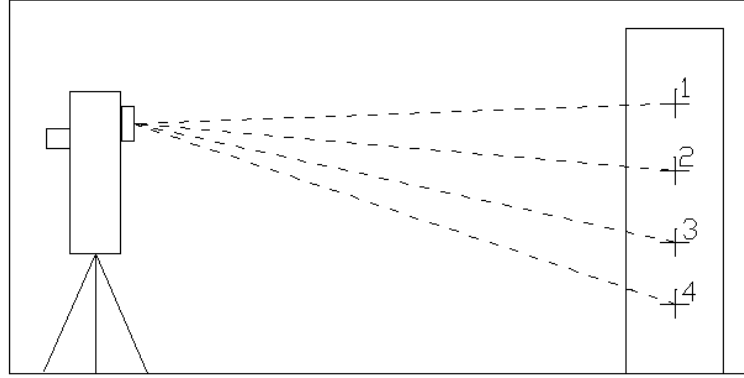


Figura 2 : Esquema de campo para a classificação vertical das estações)

A avaliação das observações medidas para o teste é realizada por um ajustamento por mínimos quadrados das equações de observação. Sendo que as (i) séries de medidas, para um ângulo vertical (normalmente ângulo zenital) é observado nas duas posições da luneta. No teste completo, cada uma das 4 séries de medidas é analisada separadamente. Os procedimentos de cálculo envolvidos são explícitos na referida norma.

Primeiramente os ângulos verticais devem ser coletados em campo.

Em seguida são calculados os valores médios:

$$x'_{j,k} = \frac{x_{j,k,I} - x_{j,k,II} + 360^\circ}{2}; j = 1, 2, 3; k = 1, \dots, 4 \quad (14)$$

As leituras são calculadas em ambas as faces I e II da luneta. Esses valores não são afetados pelo erro de índice vertical, δ_i . O erro de índice vertical, δ_i , deve ser calculado para cada série de medições separadamente:

$$\delta_i = \frac{1}{n \times t} \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^4 \frac{x_{j,k,I} + x_{j,k,II} - 360^\circ}{2} \quad (15)$$

$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^4 \delta_i}{4} \quad (16)$$

Os valores médios dos ângulos verticais resultantes de $n = 3$ conjuntos são:

$$x_k = \frac{x'_{1,k} + x'_{2,k} + x'_{3,k}}{3}; k = 1, \dots, 4 \quad (17)$$

Os resíduos resultantes:

$$r_{j,k} = x'_{j,k} - x_k; j = 1, 2, 3; k = 1, \dots, 4 \quad (18)$$

Exceto para arredondamento de erros, cada conjunto deve atender a condição:

$$\sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^4 r_{j,k} = 0 \quad (19)$$

A soma dos quadrados dos resíduos das i^{th} séries é calculada por:

$$\sum r^2_i = \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^4 r_{j,k}^2 = 0 \quad (20)$$

A soma dos quadrados dos resíduos das i^{th} séries é calculada por:

$$\sum r^2_i = \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^4 r_{j,k}^2 \quad (21)$$

Para $n=3$ conjuntos de ângulos verticais para $t=4$ alvos, em cada caso o número de graus de liberdade é:

$$\nu_i = (3 - 1) \times 4 = 8 \quad (22)$$

O desvio padrão experimental s_i de uma direção $x_{j,k}$, tomado em um conjunto observado em ambas as posições do telescópio, válido para a série de medições i^{th} equivale a:

$$s_i = \sqrt{\frac{\sum r_i^2}{v_i}} = \sqrt{\frac{\sum r_i^2}{8}} \quad (23)$$

Para o desvio padrão experimental, s , calculado a partir de todos os $m=4$ séries de medições, o número de graus de liberdade é:

$$v = 4 \times v_i = 32 \quad (24)$$

O desvio padrão experimental do ângulo vertical de ambas as posições, é calculado para todas as $m = 4$ séries de medições:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 \sum r_i^2}{v}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 \sum r_i^2}{32}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 s_i^2}{4}} \quad (25)$$

2.2.1 Teste estatísticos para a classificação angular vertical

Para interpretação dos resultados, os testes estatísticos devem ser efetuados utilizando o Quadro 2 e o conhecimento das incógnitas abaixo referidas:

- O desvio-padrão experimental, s , de um ângulo vertical observado em ambas as posições da luneta;
- O erro de índice vertical, δ , (orientação do círculo vertical) e seu desvio-padrão experimental, s_δ .

Hipótese nula	Hipóteses alternativas
$s \leq \sigma$	$s > \sigma$
$s = \bar{s}$	$s \neq \bar{s}$
$\delta = 0$	$\delta \neq 0$

Quadro 2 – Avaliação dos testes estatísticos

Fonte: ISO17123-3

A hipótese nula é aceita se o desvio padrão experimental, s , de uma direção horizontal observada em duas posições da luneta, for igual ou menor do que um valor teórico ou predeterminado pelo fabricante do equipamento, σ . Para isso a seguinte condição deve ser satisfeita:

$$s \leq \sigma \times \sqrt{\frac{\chi^2_{1-\alpha}(v)}{v}} \quad (26)$$

$$s \leq \sigma \times \sqrt{\frac{\chi^2_{0,95}(32)}{32}} \quad (27)$$

$$\chi^2_{0,95}(32) = 46,19 \quad (28)$$

$$s \leq \sigma \times \sqrt{\frac{46,19}{32}} \quad (29)$$

$$s \leq \sigma \times 1,20 \quad (30)$$

Caso o contrário, a hipótese nula é rejeitada.

No caso de duas amostras diferentes, um teste indica se os desvios-padrão experimentais, s e \bar{s} , pertencem à mesma população. A hipótese nula, $s = \bar{s}$, não é rejeitada se seguirem as condições:

$$\frac{1}{F_{1-\alpha/2}(v,v)} \leq \frac{s^2}{\bar{s}^2} \leq F_{1-\alpha/2}(v,v) \quad (31)$$

$$\frac{1}{F_{0,975}(32,32)} \leq \frac{s^2}{\bar{s}^2} \leq F_{0,975}(32,32) \quad (32)$$

$$F_{0,975}(32,32) = 2,02 \quad (33)$$

$$0,49 \leq \frac{s^2}{\bar{s}^2} \leq 2,02 \quad (34)$$

Caso o contrário, a hipótese nula é rejeitada.

A hipótese do erro de índice, δ , é igual a zero não é rejeitada quando as seguintes condições são cumpridas:

$$|\delta| \leq s_{\delta} \times t_{1-\frac{\alpha}{2}}(v) \quad (35)$$

$$|\delta| \leq s_{\delta} \times t_{0,975}(32) \quad (36)$$

$$s_{\delta} = \frac{s}{\sqrt{12}} \times \frac{1}{\sqrt{4}} \quad (37)$$

$$t_{0,975}(32) = 2,04 \quad (38)$$

$$|\delta| \leq \frac{s}{\sqrt{48}} \times 2,04 \quad (39)$$

$$|\delta| \leq s \times 0,3 \quad (40)$$

Caso o contrário, a hipótese nula é rejeitada. Portanto, o número de graus de liberdade corresponde aos valores do teste $\chi^2_{1-\alpha}(v)$, $F_{1-\frac{\alpha}{2}}(v,v)$ e $t_{1-\frac{\alpha}{2}}(v)$ e o número de graus de liberdade se alteram conforme diferentes medições são analisadas.

3. Análise e Discussão dos Resultados

3.1 Resultados dos testes completos de campo para a classificação angular horizontal

Estes testes foram realizados com o objetivo de verificar se a precisão nominal de 5" informada pelo fabricante das estações da marca FOIF correspondem com a realidade do equipamento, e com isso obter um parecer quanto a sua classificação de acordo com sua precisão.

De acordo com a norma de levantamentos topográficos NBR 13.133 todas as estações totais aferidas são classificadas como equipamento de média precisão.

No Quadro 3 são apresentados a classificação das 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	$\leq \pm 02''$	$\pm (3\text{mm} + 3 \text{ ppm} \times D)$

Quadro 3 - Classificação angular vertical conforme sugestão para a classificação angular horizontal. Fonte: NBR 13.133 (1994)

Os dados de campo foram anotados em uma planilha e depois inseridos na planilha Excel, e feito o cálculo do desvio-padrão experimental e posterior classificação do equipamento. A seguir na Tabela 1 são apresentados os valores do desvio padrão experimental e classificação horizontal de cada equipamento aferido.

Tabela 1 – Classificação Horizontal dos instrumentos

Marca	Nº do equipamento	Desvio padrão experimental s (")	$s \leq \sigma \times 1,20$
FOIF	268.055	4,8	passou
FOIF	268.057	3,9	passou
FOIF	268.058	1,7	passou
FOIF	268.060	2,2	passou

A Tabela 1 demonstra que todas as estações da marca FOIF comprada pela UFRRJ atendem a precisão nominal de $\pm 05''$ indicada pelo fabricante.

Com o intuito de que haja uma validação dos resultados, os valores obtidos na base de laboratório são submetidos à avaliação dos parâmetros estatísticos. O primeiro teste estatístico realizado analisou o desvio-padrão experimental (s) em relação ao desvio padrão fornecido pelo fabricante (σ). Veja na Tabela 1 que a hipótese nula do teste é aceita, pois o desvio padrão calculado é menor que o fornecido pelo fabricante.

3.2. Resultados dos testes completos de campo para a classificação angular vertical

Embora não haja nenhuma normativa brasileira que contemple a questão angular vertical, optou-se por classificar os equipamentos testados na base de campo vertical com a mesma classificação sugerida pela NBR 13.133 para a classificação angular horizontal. Desta forma, os testes de classificação foram baseados na ISO17123-3 e a classificação em função do desvio-padrão experimental obtido em função da NBR 13.133. Na Tabela 2 é apresentado os resultados dos testes realizados em cada estação total.

Tabela 2 – Resultados dos testes estatísticos da classificação vertical da base de campo:

Marca	Nº do equipamento	Desvio padrão experimental s (")	$s \leq \sigma \times 1,20$ $\sigma = 5''$
FOIF	268.055	1,8	passou
FOIF	268.057	1,6	passou
FOIF	268.058	2,2	passou
FOIF	268.060	1,7	passou

Observando-se a Tabela 2, verifica-se que o desvio padrão experimental de todas as estações totais aferidas estão abaixo da precisão nominal informada pelo fabricante ($\pm 5''$) quanto à medição do ângulo vertical.

Neste estudo avaliou-se também a existência de erro de índice nas estações totais, como se pode observar na Tabela 3.

Tabela 3 – Testes estatísticos para a verificação de erro de índice

Marca	Nº do equipamento	Desvio padrão experimental s (")	Erro de índice δ (")	$ \delta \leq s \times 0,30$
FOIF	268.055	1,8	-0,7	não passou
FOIF	268.057	1,6	0,5	não passou
FOIF	268.058	2,2	-6,4	não passou
FOIF	268.060	1,7	-10,5	não passou

Com base nos erros de índices apresentados na Tabela 3 fez-se o primeiro teste estatístico que consistiu em considerar a hipótese nula quando o erro de índice vertical pode ser considerado zero. Observa-se que todas as estações totais testadas possuem um erro de índice que difere significativamente de zero com 95% de confiança.

4. Conclusões

Em suma, os estudos e experimentos desenvolvidos neste trabalho visaram atender as necessidades da comunidade usuária de equipamento de medição angular, com relação à precisão operacional e sua classificação angular horizontal e vertical, para isso, os testes foram realizados de acordo com a ISO17123 e todas as estações da UFRRJ aferidas foram aprovadas, ou seja, possuem um desvio experimental ou precisão operacional menor do que a precisão nominal fornecido pelo fabricante. Desta forma a classificação das referidas estações é a mesma relativa à precisão nominal que é de $\pm 5''$, ficando assim classificado segundo a NBR 13133 como estação total de média precisão quanto à medição angular. Os testes mostraram também que as referidas estações possuem erros de índices que podem ser considerados significativos a um nível de 95% de confiança.

Frente a isso pode-se concluir que o objetivo inicial da proposta de pesquisa foi plenamente atingido.

5. Referências

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13.133: *Execução de levantamento topográfico*. Rio de Janeiro, 35 p., 1994.

International Standard. ISO17123-3: *Optics and instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments – Part 3: Theodolites*. Switzerland, 21p., 2002.

SILVA, M. M. S da. *Metodologia para a criação de um laboratório para a classificação das componentes angulares horizontal e vertical, de teodolitos e estações totais*. Tese de doutorado pela Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, 139 p., 2008.