

Disciplina de Levantamentos

CONSIDERAÇÕES SOBRE A INSTRUMENTAÇÃO TOPOGRÁFICA

*Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências da Terra
Departamento de Geomática
Prof. Dr. Pedro Luís Faggion*

INDICE

INDICE	ii
LISTA DE FIGURAS	iii
1. TERMOS TÉCNICOS UTILIZADOS EM INSTRUMENTAÇÃO TOPOGRÁFICA E GEODÉSICA	01
1.1 Termos Técnicos Utilizados em Metrologia.....	01
1.2 - Termos Técnicos Utilizados em Tempo e Frequência	07
2. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS EM TOPOGRAFIA	09
2.1 TEODOLITO	09
2.1.1 - Sistema de Eixos	11
2.1.2 - Círculos Graduados (LIMBOS)	12
2.1.3 - Luneta de Visada	13
2.1.4 - Níveis de bolha e Digitais	14
2.2. NÍVEIS	14
3. VERIFICAÇÃO E RETIFICAÇÃO	15
3.1. TEODOLITOS ÓPTICOS.....	16
3.1.1. Verticalidade do Eixo Principal	16
3.1.1.1. Verificação	16
3.1.2. Interpretação do Erro de Colimação e Horizontalidade do Eixo Secundário utilizando os conceitos de Trigonometria Esférica	22
3.1.2.1. Erro de Colimação	22
3.1.2.2. Erro de Horizontalismo do Eixo Secundário	27
3.1.3. Determinação do Erro de Colimação com Observações de Campo	29
3.1.3.1. Verificação	29
3.1.3.2. Retificação	30
3.1.4. Determinação do Erro de Horizontalismo do Eixo Secundário com observações de Campo	31
3.1.4.1. Em Regiões Urbanas	31
3.1.4.2. No Campo	32
3.1.4.3. Retificação	33
3.1.5. Verificação do Prumo Óptico	33

3.1.5.1. Retificação	33
3.1.6. Determinação do Erro de Zênite	35
3.1.7. Erro de Zero no ATR	38
3.2. NÍVEIS ÓPTICOS.....	39
3.2.1. Verticalidade do Eixo Principal	39
3.2.2. Erro de Colimação Vertical do Nível	40
3.2.2.1. Exercícios	47
3.2.2.2. Método de Kukkamaki	49
3.3. VERIFICAÇÃO E RETIFICAÇÃO DE ESTAÇÕES TOTAIS E NÍVEIS DIGITAS	54
3.3.1. Estações Totais	54
3.3.2. Níveis Digitais	54
4. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	55

INDICE DE FIGURAS

Figura 01 - Exemplo de Teodolito Automáticos	09
Figura 02 - Exemplo de Manual de Equipamentos	11
Figura 03 - Sistema de Eixos dos Teodolitos	12
Figura 04 - Exemplo de Limbos Digitais	13
Figura 05 - Lunetas utilizadas em Teodolitos, Níveis e Estações Totais	13
Figura 06 - Níveis utilizados para a verticalização do Eixo Principal.....	14
Figura 07 - Exemplo de Níveis Automáticos	15
Figura 08 - Procedimento de Calagem de Equipamentos Topográficos	17
Figura 09 - Alinhamento do nível ortogonalmente à linha inicial	17
Figura 10 - Calagem da bolha atuando no parafuso ortogonal a linha inicial	18
Figura 11 - Representação Eixo Principal e Círculo Horizontal	18
Figura 12 - Verificação da Verticalidade do Eixo Principal	19
Figura 13 - Equipamento necessitando de Retificação	20
Figura 14 - Posição dos parafusos de Retificação do Nível Tubular	20
Figura 15 - Retificando o Equipamento	21
Figura 16 - Erro da falta de verticalidade do eixo principal	21
Figura 17 - triângulo esférico	22
Figura 18 - Desvio da linha de visada	25
Figura 19 - Inclinação do Eixo Secundário	27
Figura 20 - Teodolito e das Balizas para um Equipamento Retificado	30
Figura 21 - Procedimento de Retificação do Equipamento	30
Figura 22 - Posição dos parafusos de Retificação do Fio do Retículo	31
Figura 23 - Retículo tangenciando a aresta de um prédio	32
Figura 24 - Posição dos parafusos de Retificação (TC2002)	34
Figura 25 - Posição dos parafusos de Retificação (T100)	34
Figura 26 - Origem da medida de ângulos	35
Figura 27 - Exemplo de pontaria para a determinação do erro de zênite	36
Figura 28 - Configuração do erro de zênite	36
Figura 29 - Prisma refletor e retículo da estação sobreposto (erro do ATR) .	38
Figura 30 - Representação do erro de Verticalidade do Eixo Principal	39
Figura 31 - Sistema de eixos de um nível	41
Figura 32 - Determinação do desnível com visadas iguais	42
Figura 33 - Determinação do desnível com visadas extremas	43
Figura 34 - Parafusos de Retificação do fio de retículo (nível automático)	46
Figura 35 - Nível Mecânico Geodésico N3	46
Figura 36 - Parafusos de Rtfificação do nível tubular N3	47
Figura 37 - Representação do Método de Kukkamaki	49

INDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos Teodolitos	10
Tabela 2 - Influência do erro de colimação na medida de direções Horizontais.....	26
Tabela 3 - Influência do erro de não horizontalismo do eixo secundário na medida de direções horizontais	28

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Influência Do Erro De Colimação Nas Medidas De Direções Horizontais	26
Gráfico 2 - influência do erro do eixo secundário no ângulo horizontal	29

1. TERMOS TÉCNICOS UTILIZADOS EM INSTRUMENTAÇÃO TOPOGRÁFICA E GEODÉSICA

A terminologia utilizada em levantamentos geodésicos, principalmente no que se refere à instrumentação geodésica, gera muita incerteza e mesmo conflito de interpretação na comunidade. Na seqüência serão apresentados termos técnicos que podem contribuir para a compreensão do conteúdo abordado neste trabalho, como também para aprofundar a discussão da terminologia aplicada em instrumentação e metrologia no contexto deste estudo.

1.1 Termos Técnicos Utilizados em Metrologia

O INMETRO, através da publicação "Vocabulário de metrologia legal e Vocabulário de termos fundamentais e gerais de metrologia", define Verificação, Aferição e Calibração da seguinte forma (INMETRO, 1989):

VERIFICAÇÃO - Conjunto de operações, compreendendo o exame, a marcação e emissão de um certificado e que constate que o instrumento de medir ou medida materializada satisfaz às exigências regulamentares.

AFERIÇÃO - Conjunto de operações que estabelece, em condições especiais, a correspondência entre os valores indicados por um instrumento de medir, ou por um sistema de medição ou por uma medida materializada e os verdadeiros convencionais da grandeza medida.

Observações:

O resultado de uma aferição permite determinar os erros de indicação de um instrumento de medir;

Uma aferição pode também, através de ensaios, determinar outras propriedades metrológicas;

O resultado de uma aferição pode ser registrado num documento chamado certificado ou relatório de aferição.

CALIBRAÇÃO - Conjunto de operações que estabelece, em condições especiais, a correspondência entre o estímulo e a resposta de um instrumento de medir, sistema de medir ou mostrador de medição.

Observações:

O resultado de uma calibração pode permitir a determinação de um ou mais parâmetros da curva característica que relaciona o estímulo a resposta ou os valores das grandezas correspondentes às divisões de escalas identificadas de um instrumento de medir.

Os termos "Aferição" e "Calibração" estão reunidos nos termos "étalonnage" em francês, e Calibration em inglês.

CLASSIFICAR - Consiste em distribuir em classes ou grupos segundo um sistema de classificação. A norma brasileira NBR13133 (Execução de levantamentos topográficos), define as classes que deve ser enquadrados os instrumentos baseado no desvio padrão de um conjunto de observações obtidas seguindo uma metodologia própria (NBR13133,1994).

O Bureau Internacional de Pesos e Medidas mantém uma publicação, em Inglês e Francês, sobre os principais termos técnicos utilizados em metrologia. Com relação ao abordado nesta publicação devem ser destacadas, principalmente as definições vinculadas ao termo Calibração (ISBN, 1993).

CALIBRAÇÃO - Conjunto de operações que estabelece, em condições especificadas, a correlação entre valores de quantidades indicados por um instrumento medida, ou sistema de medida, ou uma medida materializada e os verdadeiros convencionais da grandeza medida.

Observações:

O resultado de uma calibração permite determinar os valores das medidas indicadas ou as correções com relativas aos valores indicados. Uma calibração também pode determinar outras propriedades mitológicas como, por exemplo, a influência da aplicação das correções nas medições.

O resultado de uma calibração pode ser registrado em um documento, chamado de certificado de calibração ou relatório de calibração. Trad. Pelo Autor.

A norma alemã DIN 2257 de novembro de 1982 define calibração da seguinte forma (DIN 2257, 1982).

CALIBRAÇÃO - É a determinação da relação (ou coerência) entre a quantidade de saída e a quantidade de entrada; por exemplo, entre a indicação de um aparelho de medir ou de um equipamento de medição e o valor da quantidade de medição.

Em regra, é averiguada a diferença entre a indicação real (ou instantânea) e o valor correto (ou valor nominal ou valor teórico). O resultado da calibração pode ser aplicado ou ajustado.

NOTA:

A denominação "aferição" deve ser evitada, por ser utilizada, também, no sentido legal e por isso pode conduzir para o mau entendimento. Trad. Pelo Autor.

A mais recente definição do termo calibração é encontrada em (MÖSER, et al 2000):

CALIBRAÇÃO - Entende-se por calibração a exame ("Chekup") de aparelhos de medição e a determinação de desvios desde o valor nominal (ou teórico) , ou então, a observância das fronteiras de erro.

Não se efetua junto da calibração nenhuma intervenção e nenhuma alteração no aparelho de medição; Todavia, eventualmente, a possibilidade de eliminar os desvios mediante a fixação dos valores de correção existe. Trad. Pelo Autor.

Os termos técnicos relacionados à metrologia, frequência e tempo apresentados na seqüência, foram estruturados a partir das bibliografias encontradas em. SISMETRA (2001) e ON (2001).

ACURÁCIA ⇒ Exatidão - Grau de conformidade de um valor medido ou calculado em relação à sua definição ou com respeito a uma referência padrão.

NOTA:

Na visão do autor exatidão é um termo descritivo de resultados de operações exatas, portanto desvinculadas de observações.

A definição acima cabe ao termo *Acurácia*. Este termo quando traduzido para o português pode ser vinculado à palavra *precisão e exatidão*, porém se sabe que em português suas definições são diferentes.

a) Acurácia de Medição - Grau de concordância entre o resultado de uma medição e um valor verdadeiro do mensurando.

b) Acurácia de um Instrumento de Medição - Aptidão de um instrumento de medição para dar respostas próximas a um valor verdadeiro

AJUSTABILIDADE - Capacidade de um dispositivo em reproduzir o mesmo valor quando parâmetros específicos são ajustados independentemente sob condições estabelecidas de uso.

CERTIFICAÇÃO - Procedimento pelo qual um organismo imparcial credenciado atesta por escrito que o sistema ou pessoas são competente para realizar tarefas específicas.

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO - Documento que atesta e fornece ao proprietário do equipamento as informações necessárias para a interpretação dos resultados da calibração, e a metodologia utilizada no processo de calibração.

ENVELHECIMENTO - Mudança sistemática em frequência, ao longo do tempo, devido a mudanças internas em um oscilador. Por exemplo, a frequência de 100 kHz de um oscilador a quartzo pode envelhecer até que sua frequência se torne 100,01 kHz (ver, deslizamento).

FAIXA NOMINAL - Faixa de indicação que se pode obter em uma posição específica dos controles de um instrumento de medição

FAIXA DE MEDIÇÃO - Conjunto de valores de um mensurando, para o qual admite-se que o erro de um instrumento de medição mantenha-se dentro dos limites especificados.

INCERTEZA DE MEDIÇÃO - Parâmetro associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser fundamentalmente atribuídos a um mensurando.

INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO - dispositivo utilizado para uma medição, sozinho ou em conjunto com dispositivo(s) complementar(es).

INDICAÇÃO (de um instrumento de medição): valor de uma grandeza fornecida por um instrumento de medição.

GRANDEZA (mensurável): atributo de um fenômeno, corpo ou substância que pode ser qualitativamente distinguido e quantitativamente determinado.

ESCALA (de um instrumento de medição): conjunto ordenado de marcas, associado a qualquer numeração, que faz parte de um dispositivo mostrador de um instrumento de medição.

MENSURANDO - Grandeza específica submetida à medição.

METROLOGIA - Ciência das medições.

METROLOGIA CIENTÍFICA - Parte da metrologia que trata da pesquisa e manutenção dos padrões primários. No Brasil o Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO) é o órgão que detém os padrões nacionais, no Laboratório Nacional de Metrologia, e que é encarregado de repassar os valores dos mesmos aos demais laboratórios nacionais, inclusive aos responsáveis pela metrologia legal.

METROLOGIA LEGAL - Parte da metrologia que trata das unidades de medida, métodos de medição e instrumentos de medição em relação às exigências técnicas e legais obrigatórias, as quais têm o objetivo de assegurar uma garantia pública do ponto de vista da segurança e da acurácia das medições. O principal objetivo estabelecido legalmente no campo econômico é proteger o consumidor enquanto comprador de produtos e serviços medidos, e o vendedor, enquanto fornecedor destes. Atualmente, não só atividades no campo comercial são submetidas à supervisão governamental em países desenvolvidos, mas também, instrumentos de medição usados em atividades oficiais, no campo médico, na fabricação de medicamentos, bem como nos campos de proteção ocupacional, ambiental e da radiação são submetidos, obrigatoriamente, ao controle metrológico. A exatidão das medições assume especial importância no campo médico face aos vários efeitos negativos que resultados de menor confiabilidade podem provocar à saúde humana.

PADRÃO - Medida materializada, instrumento de medição, material de referência ou sistema de medição destinado a definir, realizar, conservar ou reproduzir uma unidade ou um ou mais valores de uma grandeza para servir como referência.

PADRÃO INTERNACIONAL - Padrão reconhecido por um acordo internacional para servir, internacionalmente, como base para estabelecer valores a outros padrões da grandeza a que se refere.

PADRÃO NACIONAL - Padrão reconhecido por uma decisão nacional para servir, em um país, como base para estabelecer valores a outros padrões da grandeza a que se refere.

PADRÃO PRIMÁRIO - Padrão que é designado ou amplamente reconhecido como tendo as mais altas qualidades metrológicas e cujo valor é aceito sem referência a outros padrões de mesma grandeza.

PADRÃO SECUNDÁRIO - Padrão cujo valor é estabelecido por comparação a um padrão primário da mesma grandeza.

PADRÃO DE REFERÊNCIA - Padrão, geralmente tendo a mais alta qualidade metrológica disponível em um dado local ou em uma dada organização, a partir do qual as medições lá executadas são derivadas.

PADRÃO DE TRABALHO - Padrão utilizado rotineiramente para calibrar ou controlar medidas materializadas, instrumentos de medição ou materiais de referência.

PRECISÃO - O grau de concordância mútua entre uma série de medidas individuais. A precisão é muitas vezes, mas não necessariamente, expressa pelo desvio padrão das medidas.

RASTREABILIDADE - Propriedade do resultado de uma medição ou do valor de um padrão estar relacionado a referências estabelecidas, geralmente padrões nacionais ou internacionais, através de uma cadeia contínua de comparações, todas tendo incertezas estabelecidas.

REPRODUTIBILIDADE - Quando se refere às medidas realizadas por um conjunto independente de dispositivos semelhantes, a reprodutibilidade constitui a habilidade desses dispositivos em reproduzir os mesmos resultados.

RESOLUÇÃO - Resolução de uma medida é o algarismo menos significativo que pode ser medido, e depende do instrumento utilizado para realizar a medida. Por exemplo, a medida de deslocamentos lineares feitos com um interferômetro LASER pode ter uma resolução de $1\mu.m$

1.2 - Termos Técnicos Utilizados em Tempo e Frequência

AMBIGÜIDADE EM TEMPO - Condição em que se tenha mais do que um valor possível. Por exemplo, se um relógio de 24 horas mostra 15 horas, 5 minutos e 8 segundos, há uma ambigüidade em relação ao dia, mês e ano.

FASE - Medida de uma fração do período de um fenômeno repetitivo, em relação a alguma característica bem definida do fenômeno em si. Nos serviços de frequência padrão e sinais horários, são consideradas principalmente as diferenças de fase em tempo tais como as diferenças de tempo entre duas fases identificadas do mesmo fenômeno ou de dois fenômenos diferentes.

a) Salto de Fase - Uma mudança súbita de fase em um sinal.

b) Afastamento de Fase - Uma mudança intencional em fase a partir de uma referência.

c) Desvio de fase - A diferença da fase a partir de uma referência.

d) Marca da Fase - Um deslocamento deliberado de fase para a identificação de um sinal.

FREQÜÊNCIA - Razão de variação temporal de um fenômeno periódico.

Afastamento de frequência - Mudança em frequência a partir de um padrão de referência.

a) Desvio de frequência - Diferença entre valores de frequência de um mesmo sinal em dois instantes diferentes ou a diferença entre a frequência instantânea de um sinal e a frequência média do sinal.

Diferença de frequência - A diferença entre as frequências de dois sinais diferentes.

b) Deslocamento de frequência - A diferença de frequência entre um valor obtido e o valor da frequência de referência. O deslocamento não é obrigatoriamente referido ao valor nominal. Por exemplo, durante testes de irradiação, o deslocamento é referido à frequência anterior à irradiação.

Deslizamento de frequência - O componente linear (primeira ordem) de uma mudança sistemática em frequência de um oscilador ao longo do tempo. O deslizamento é devido ao envelhecimento mais as mudanças ambientais e outros fatores externos ao oscilador (Ver envelhecimento).

c) Estabilidade de frequência - Estimativa estatística das flutuações na frequência de um sinal em um dado intervalo de tempo.

d) Padrão de frequência - Um gerador de frequência tal como rubídio, césio ou maser de hidrogênio cujas saídas de frequência são usadas como referência.

Padrão primário de frequência - Um padrão cuja frequência corresponde a definição adotada para o segundo com a obtenção da sua acurácia especificada, sem necessidade de calibração externa. Na atualidade, somente os padrões de frequência de césio são definidos como padrões primários. Células a gás de rubídio, masers de hidrogênio, e outros tipos de padrões atômicos não são por definição, considerados padrões primários.

e) Padrões secundários de frequência - Um padrão de frequências que requer calibração externa.

ESTABILIDADE EM LONGO PERÍODO - Normalmente envolve médias de medidas realizadas em intervalos de 100 ou mais segundos.

Estabilidade em curto período - Normalmente envolve médias de medidas realizadas em intervalos de décimos de segundo a 100s.

NOTA:

Geralmente, há uma distinção entre efeitos sistemáticos tais como deslizamentos de frequência e flutuações estocásticas de frequência. Variâncias especiais foram desenvolvidas para a caracterização dessas

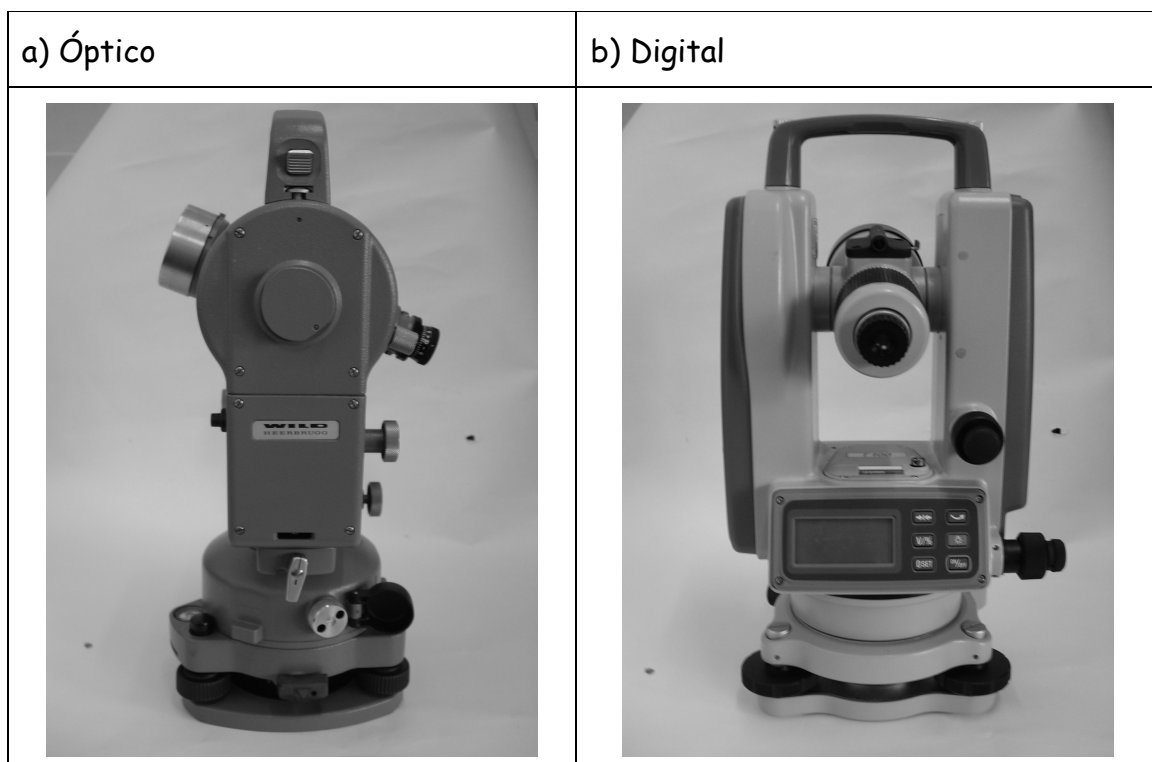
flutuações. Instabilidades sistemáticas podem ser causadas por radiação, pressão, temperatura, e umidade. Instabilidades randômicas ou estocásticas são caracterizadas tipicamente no domínio do tempo ou da frequência. Elas são tipicamente dependentes da largura de banda do sistema de medidas ou nas amostragens de tempo ou tempo de integração

2. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS EM TOPOGRAFIA

2.1 TEODOLITO

Os teodolitos são equipamentos destinados à medição de direções, horizontais e ângulos verticais, zenitais ou nadirais, objetivando a determinação dos ângulos internos ou externos de uma poligonal, bem como a posição tridimensional de determinados detalhes necessários ao levantamento (figura 1) (VEIGA, et.al, 2006).

Figura 01 - Exemplo de Teodolito Automáticos



Fonte: Autor

Atualmente existem diversas marcas e modelos de teodolitos, os quais podem ser classificados:

- a) Pela finalidade:
Topográficos, geodésicos e astronômicos (Em desuso);
- b) Quanto à forma:
Mecânicos - Ópticos
Automáticos - Ópticos ou Digitais;
- c) Quanto a precisão:

A NBR 13133 classifica os teodolitos segundo o desvio padrão de uma direção observada em duas posições da luneta, conforme tabela 1 (ABNT, 1994, p. 6).

Tabela 1 - Classificação dos Teodolitos.

Classe de Teodolitos	Desvio-padrão precisão angular
1 - precisão baixa	$\leq \pm 30''$
2 - precisão média	$\leq \pm 07''$
3 - precisão alta	$\leq \pm 02''$

Fonte: ABNT (1994, p.6)

A precisão nominal do equipamento, utilizado como parâmetro para classificá-lo segundo a norma NBR13133, pode ser obtida do manual do mesmo (figura 02). Esta informação serve também como parâmetro quando do processo de verificação e retificação, procedimento fundamental antes de submeter o equipamento ao processo de classificação. A não verificação e se necessário retificação do instrumento pode levar a uma classificação do mesmo em uma categoria inferior da qual o equipamento pertence.

Figura 02 - Exemplo de Manual de Equipamentos

Datos técnicos		
Anteojo:		
• Totalmente basculable		
• Imagen derecha		
• Diámetro del objetivo	40 mm (1.57 in)	
• Distancia mínima de enfoque	1.6 m (5.2 ft)	
• Campo visual	1°21'	
	23.6 m/100m (124.6 ft/1000 ft)	
• Aumentos	30x	
Medida de ángulo:		
• absoluta, continua		
• unidades elegibles:	360° (sexag.), 400gon, 360° (sexag. decimal), 6.300mil	
• Desviación típica (según DIN 18723)	T105 5" (1.5 mgon) T107 7" (2.0 mgon)	
• Resolución de la pantalla	360s 1" gon 0.001 gon 360d 0.001° mil 0.01 mil	
Nivel esférico:		
• Sensibilidad del nivel:	6' / 2 mm	
Plomada láser:		
• en alidada, giro con instrumento		
• precisión: diámetro de rotación máx. del punto láser: ± 1.0mm/1.5m		
• diámetro del punto láser: 2,5mm/1,5m		
Compensador:		
• compensador de aceite		
• rango de trabajo: comp. ángulo V ±4' (±0.07 gon)		

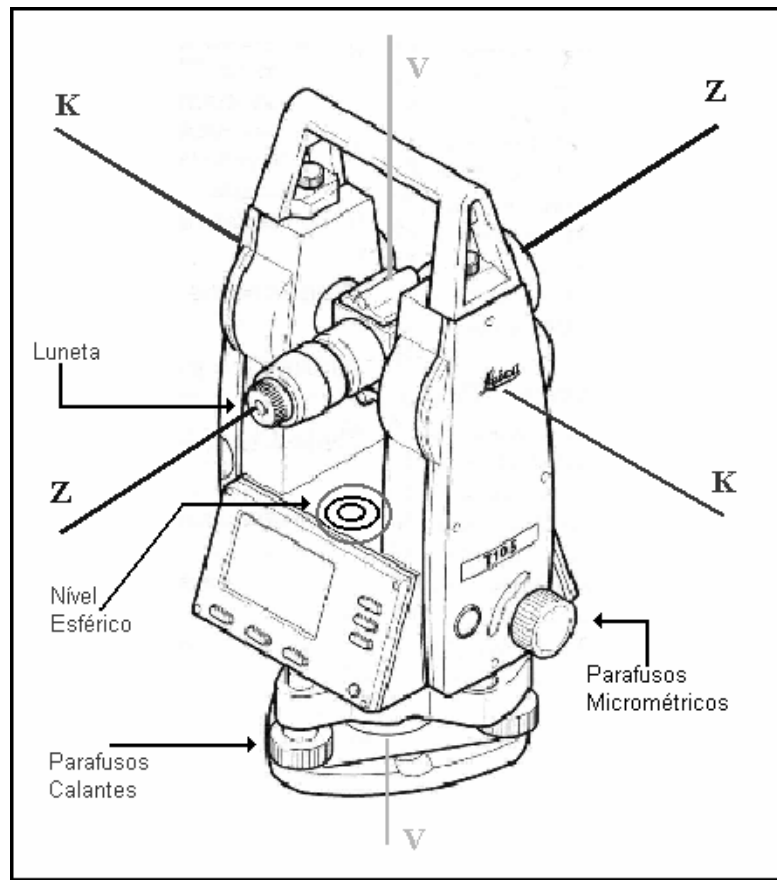
Veiga et al, 2005

Como elementos principais que constituem os teodolitos, podemos citar:

2.1.1 - Sistema de Eixos:

Para que se possa entender os princípios da verificação de um Teodolito ou da componente angular das Estações Totais, primeiro é necessário conhecer o sistema de eixos que o caracterizam (figura 03).

Figura 03 - Sistema de Eixos dos Teodolitos



Veiga et al, 2005

VV : Eixo Vertical, Principal ou de rotação do Teodolito;

ZZ : Eixo de Colimação ou Linha de Visada;

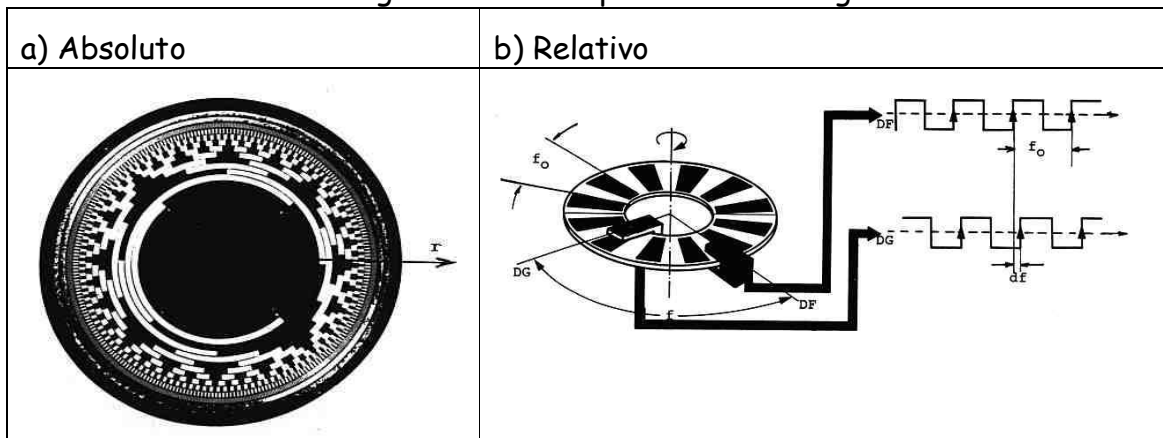
KK : Eixo Secundário ou de Rotação da luneta.

2.1.2 - Círculos Graduados (LIMBOS):

Quanto aos círculos graduados, utilizados para leituras angulares, os mesmos podem ter escalas demarcadas de diversas maneiras, como por exemplo (figura 04):

- Tinta sobre plástico;
- Ranhuras sobre metal;
- Traços gravados sobre cristal.

Figura 04 - Exemplo de Limbos Digitais

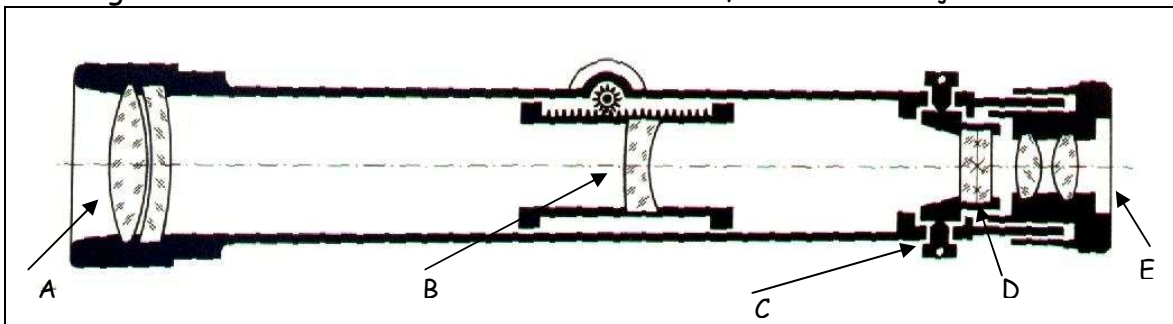


Veiga et al, 2005

2.1.3 - Luneta de Visada

Dependendo da aplicação do instrumento à capacidade de ampliação pode chegar a até 80 vezes (teodolito astronômico WILD T4). Em Topografia normalmente utilizam-se lunetas com poder de ampliação de 30 vezes.

Figura 05 - Lunetas utilizadas em Teodolitos, Níveis e Estações Totais



FONTE: KAHMEN e FAIG, 1988, p. 45.

Onde:

- A : Objétiua
- B : Sistema de focalização
- C : Parafusos de ajuste dos fios de retículo
- D : Retículos
- E : Ocular

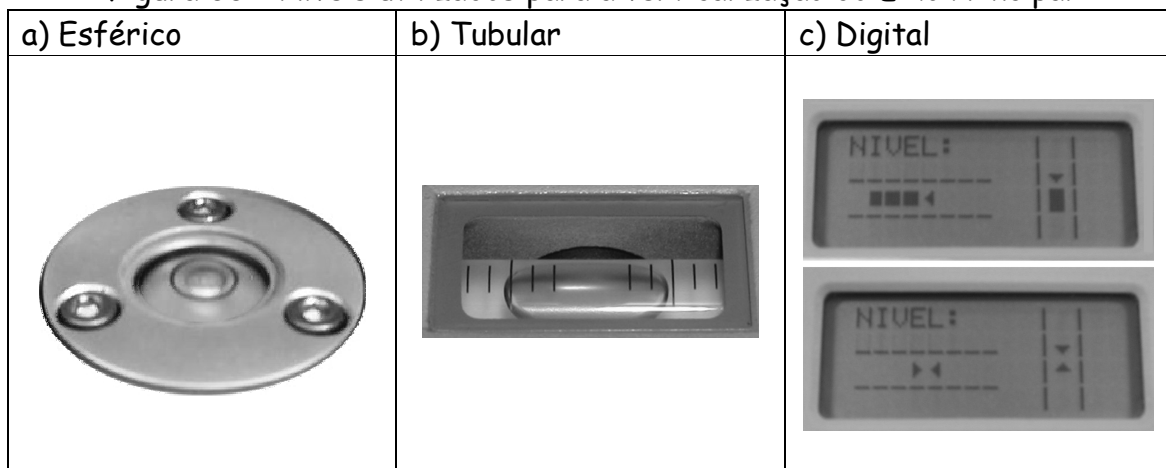
2.1.4 - Níveis de bolha e Digitais

Estes níveis são utilizados para a definição da verticalidade do Eixo Principal.

Podem ser: esféricos (com menor precisão), tubulares, ou digitais, nos equipamentos mais recentes.

Os níveis de bolha esféricos ou tubulares são constituídos de um tubo de vidro fechado, dobrado segundo um certo raio, onde é feito um vácuo e parcialmente preenchidos com um líquido, bastante fluído em geral álcool etílico, ficando uma pequena parte preenchida com o vapor do próprio fluído.

Figura 06 - Níveis utilizados para a verticalização do Eixo Principal

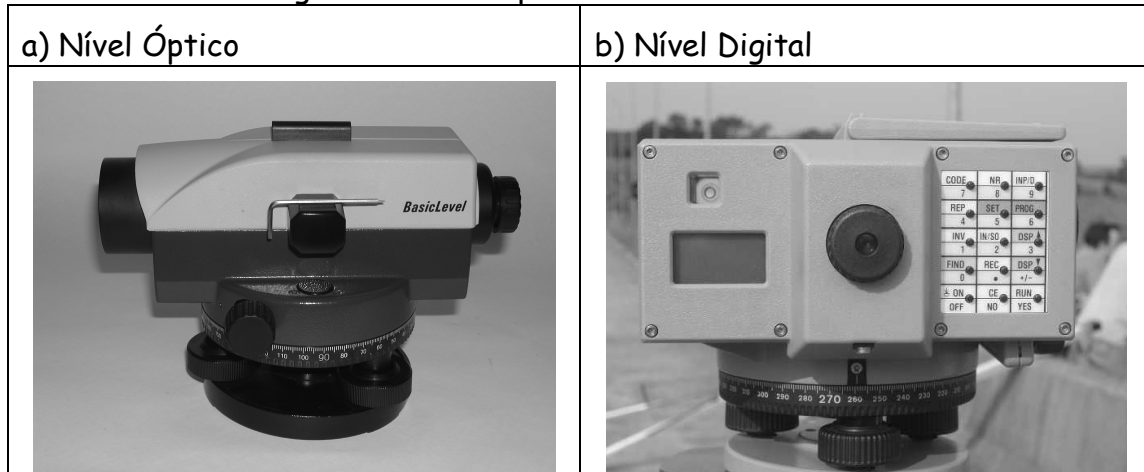


2.2. NÍVEIS

De maneira geral os níveis são equipamentos destinados à determinação de desníveis entre dois ou mais pontos. Estes equipamentos consistem de uma luneta associada a um nível tubular de precisão (Níveis Ópticos Mecânicos) ou uma luneta associada a um nível esférico, de baixa precisão, e um sistema de pêndulo que tem a função do nível de precisão nos Níveis Ópticos Automáticos (figura 06 - a).

Recentemente surgiram os níveis digitais que podem ser classificados como níveis automáticos, porém com um sistema de leitura digital (Código de Barras) (figura 06 - b).

Figura 07 - Exemplo de Níveis Automáticos



Fonte: Autor

3. VERIFICAÇÃO E RETIFICAÇÃO

Em qualquer trabalho de coleta de dados no campo, em especial para trabalhos que buscam resultados com precisão, é essencial que os instrumentos de medição estejam verificados, se necessário retificados, classificados e calibrados, para que se possa alcançar a precisão exigida.

Existem alguns erros instrumentais, que afetam a precisão e acurácia das medidas, entre eles destacam-se:

- ✓ Verticalidade do eixo principal;
- ✓ Erro de colimação ou linha de visada;
- ✓ Erro de inclinação do eixo secundário;
- ✓ Erro de zênite;
- ✓ Excentricidade do limbo;
- ✓ Erro de desvio do compensador;
- ✓ Erro de desvio da vertical;
- ✓ Erro de zero;
- ✓ Fator de Escala;
- ✓ Prumo Óptico.

Estes erros podem ser corrigidos ou compensados, uns através de modelagem matemática e outros através da retificação ou calibração dos instrumentos.

Na seqüência apresenta-se a descrição dos procedimentos para a verificação e retificação de alguns destes erros, utilizando procedimentos de campo.

3.1. TEODOLITOS

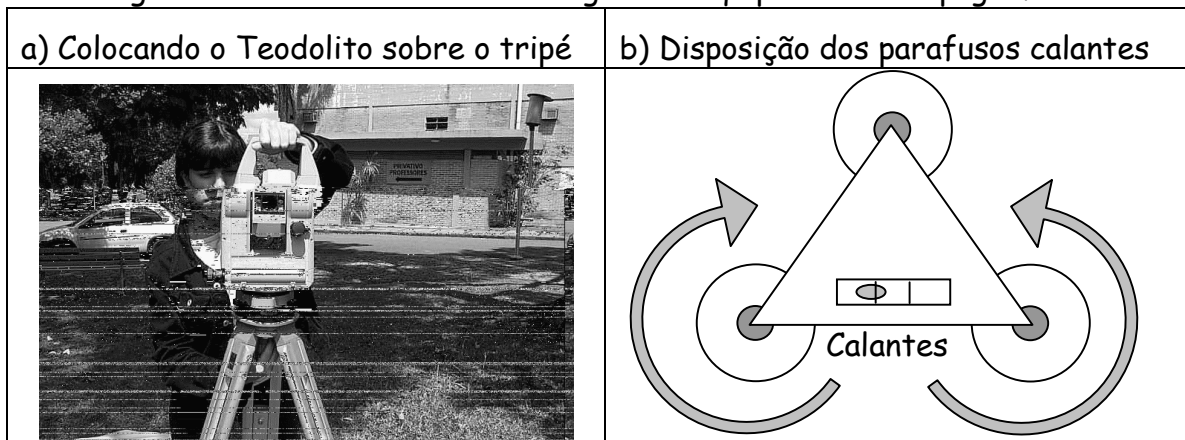
3.1.1. Verticalidade do Eixo Principal

3.1.1.1. Verificação

A verificação da verticalidade do eixo principal é extremamente importante, pois nenhum procedimento de campo na coleta dos dados elimina este erro. O procedimento para realização desta verificação consiste nos seguintes passos:

- a) Instalar o Teodolito sobre o tripé (figura 07 a);
- b) Realizar a calagem, para tal:
 - ✓ Liberar o movimento horizontal do instrumento;
 - ✓ Centrar o nível atuando nos dois parafusos alinhados ao nível tubular fazendo com que a bolha se desloque até a posição central do nível (figura 07b). Cabe salientar que os parafusos devem ser girados em sentidos opostos a fim de calar a bolha do nível;

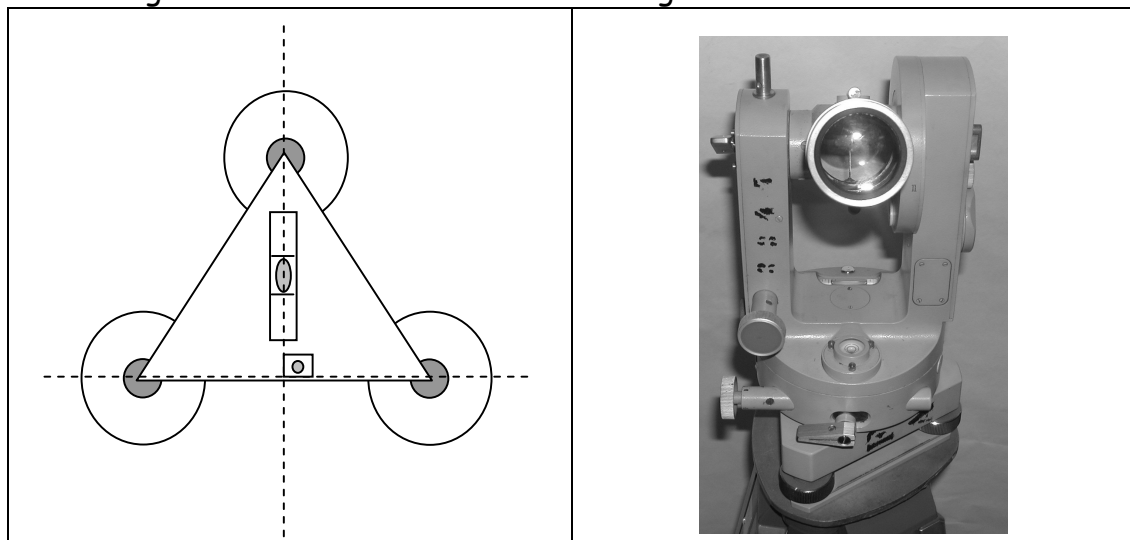
Figura 08 - Procedimento de Calagem de Equipamentos Topográficos



Fonte: (Veiga, et. al, 2005)

✓ Após a bolha estar calada, gira-se o equipamento de 90° , de forma que o nível tubular esteja agora ortogonal à linha definida anteriormente (figura 08).

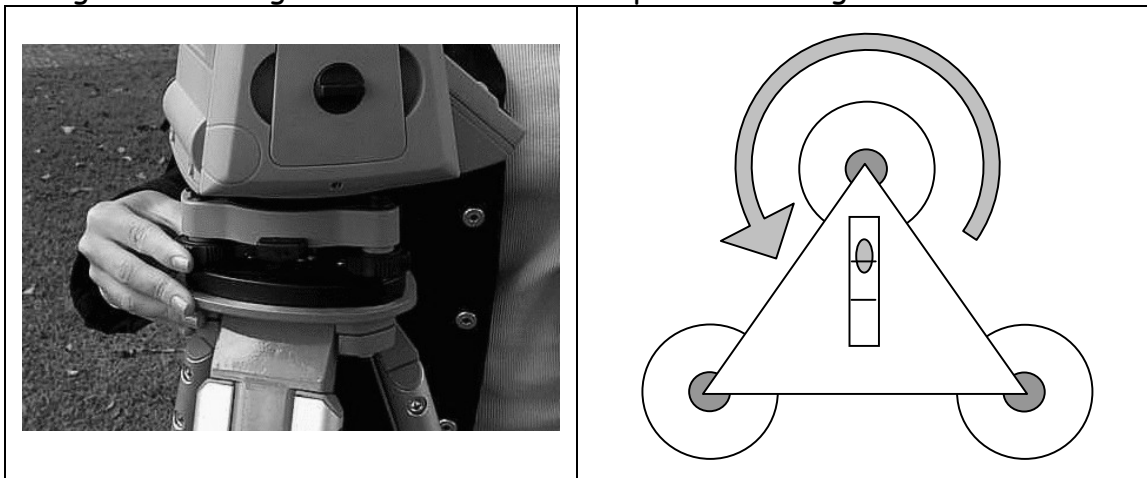
Figura 09 - Alinhamento do nível ortogonalmente à linha inicial.



Fonte: (Veiga, et. al, 2005)

✓ Atuando-se somente no parafuso que está alinhado com o nível, realiza-se a calagem da bolha (figura 09).

Figura 10 - Calagem da bolha atuando no parafuso ortogonal a linha inicial.

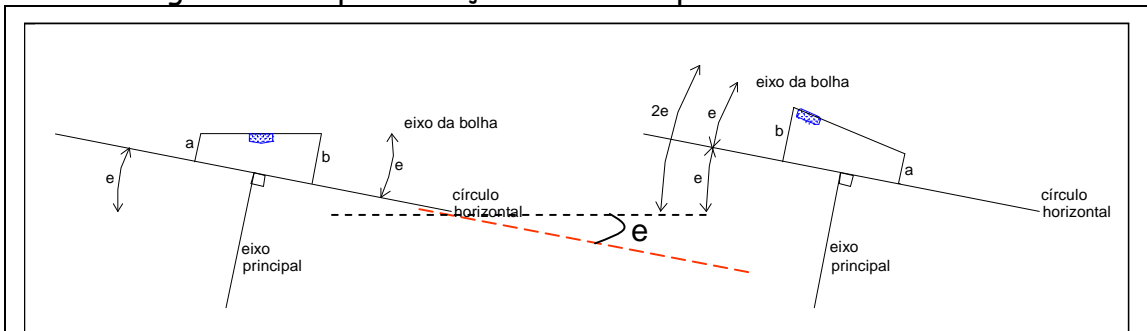


Fonte: (Veiga, et. al, 2005)

✓ Repete-se o procedimento até que, ao girar o equipamento, este esteja sempre calado em qualquer posição. Caso isto não ocorra, deve-se verificar a condição de verticalidade do eixo principal e se necessário, retificar o equipamento.

Por construção, o Eixo Principal do equipamento é perpendicular ao plano horizontal definido pelos níveis do prato quando da calagem do mesmo. Caso estes níveis não estejam retificados e não definam um plano horizontal o eixo principal também não estará materializando a vertical (figura 10).

Figura 11 - Representação Eixo Principal e Círculo Horizontal

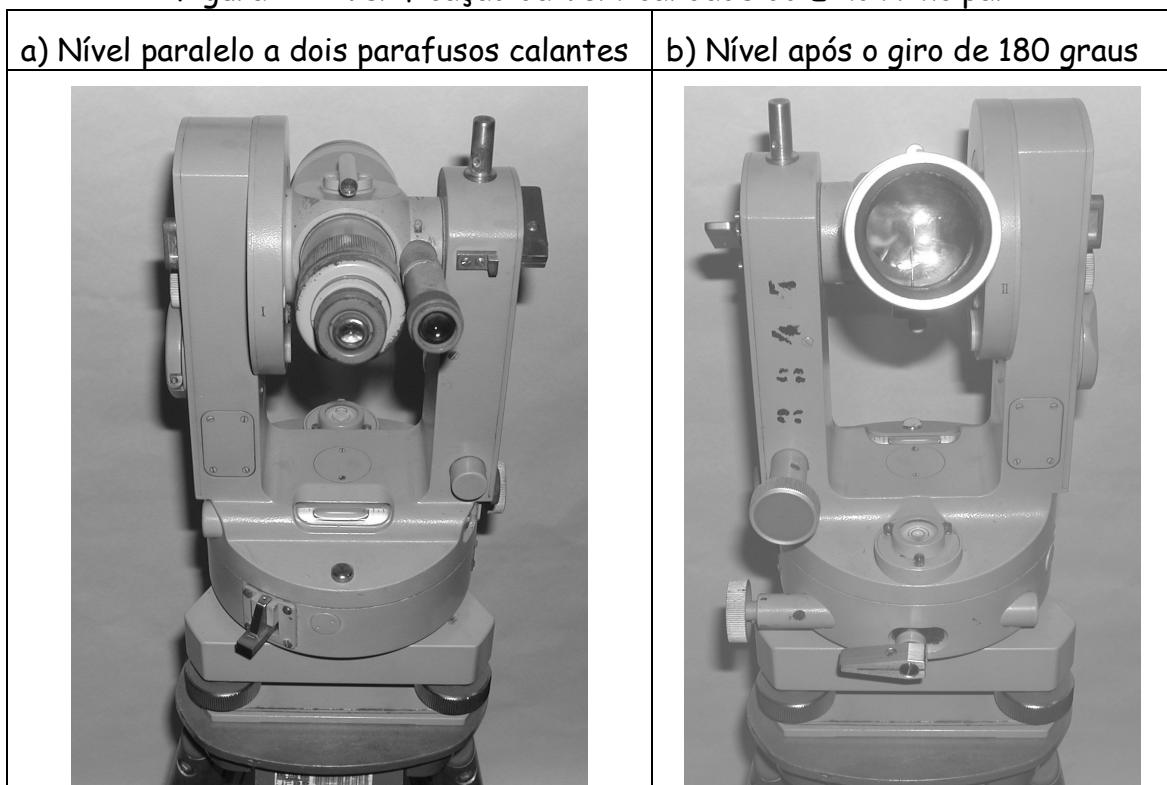


Fonte: Autor

Para realizar a verificação desta condição (Verticalidade do Eixo principal) procede-se da seguinte maneira:

- ✓ Com o instrumento calado, seguindo os procedimentos descritos nos itens "a" e "b" da seção 3.1.1.1, colocar o nível tubular paralelo a dois parafusos calantes (figura 11 a);
- ✓ Dar um giro de 180° no instrumento
- ✓ Se o eixo principal do instrumento estiver perpendicular ao eixo da bolha à mesma permanecerá centrada (figura 11 b);

Figura 12 - Verificação da Verticalidade do Eixo Principal



Fonte: Autor

- ✓ Caso isso não ocorra figura 12, é necessário retificar o instrumento.

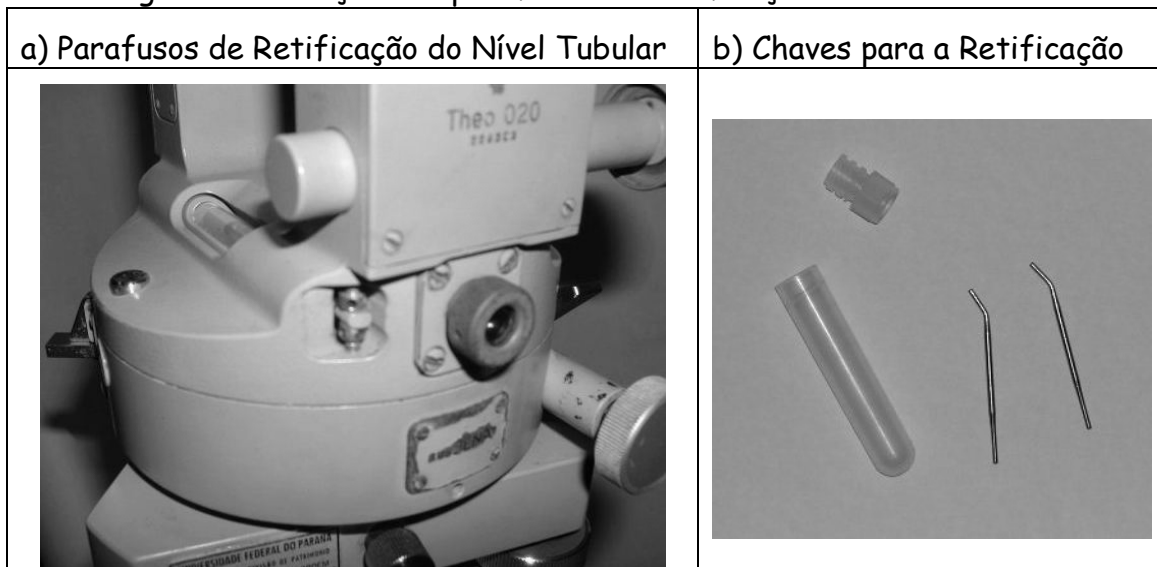
Figura 13 - Equipamento necessitando de Retificação



Fonte: Autor

✓ A retificação consiste em corrigir a metade do deslocamento da bolha com um parafuso quente, paralelos a mesma e a outra metade nos parafusos de retificação (figuras 12 e 13).

Figura 14 - Posição dos parafusos de Retificação do Nível Tubular



Fonte: Autor

Figura 15 - Retificando o Equipamento

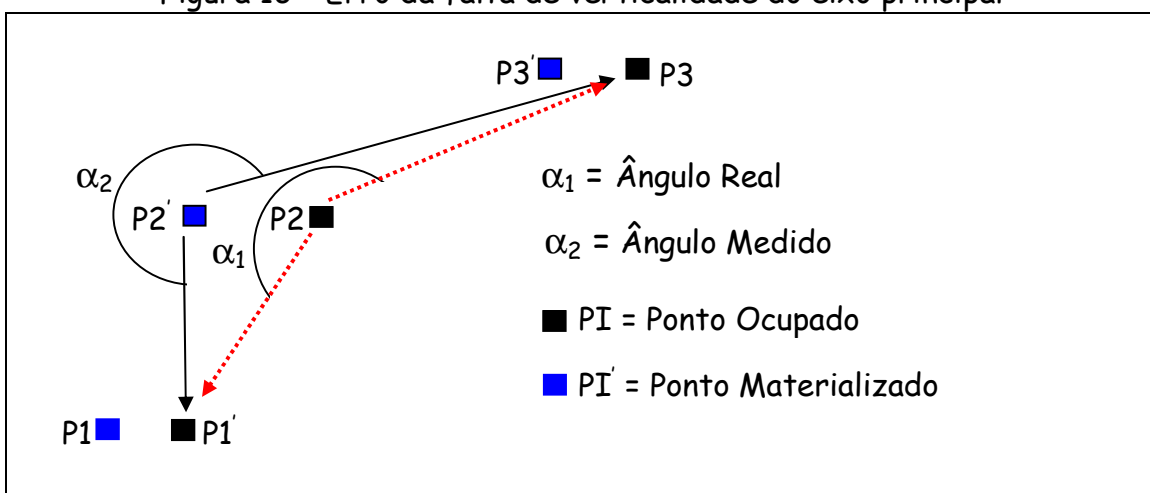


Fonte: Autor

- ✓ Após a retificação, repetir a calagem e refazer a verificação. Caso a bolha do nível não fique centrada retificar novamente o instrumento;
- ✓ Repetir os procedimentos de retificação quantas vezes forem necessárias.

A não retificação do equipamento da falta de verticalidade do eixo principal provoca erros na coleta dos dados que podem ser vistos na figura 14.

Figura 16 - Erro da falta de verticalidade do eixo principal



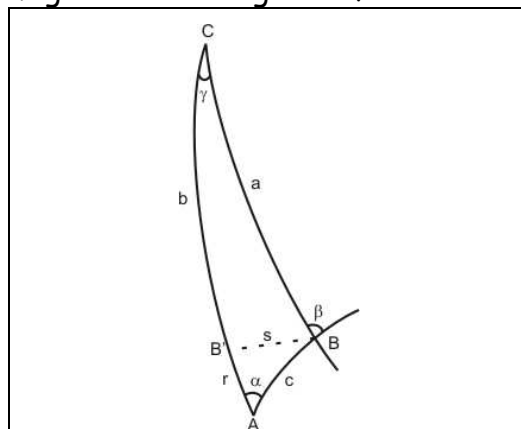
Fonte: Autor

3.1.2. Interpretação do Erro de Colimação e Horizontalidade do Eixo Secundário utilizando os conceitos de Trigonometria Esférica

3.1.2.1. Erro de Colimação

A figura 15 mostra um triângulo esférico ABC não retângulo, o qual será utilizado para deduzir as fórmulas que traduzem os dois erros axiais:

Figura 17 - triângulo esférico



Fonte: Adaptado de JORDAN (1981)

Segundo JORDAN (1981), seja o triângulo esférico de raio infinitesimal com um ângulo agudo acentuado (γ) e um lado oposto (c) muito pequeno e uma reta perpendicular (BB') passando por B' no lado b , forma-se um triângulo retângulo ABB' . No triângulo CBB' , também retângulo, tem-se:

$$\text{sen } \gamma = \frac{\text{sen } s}{\text{sen } \alpha} \quad (1)$$

Por " γ " e " s " serem quantidades muito pequenas, tem-se:

$$\gamma = \frac{s}{\text{sen } a} \quad (2)$$

$$s = \gamma \cdot \text{sen}(a) \quad (3)$$

Com igual aproximação, pode-se escrever, sendo $AC = b$:

$$s = \gamma \cdot \text{sen}(b) \quad (4)$$

Também do triângulo pode-se concluir:

$$\frac{\text{sen } \beta}{\text{sen } \alpha} = \frac{\text{sen } b}{\text{sen } a} \quad (5)$$

Por serem aproximadamente iguais, β e α , pode-se escrever:

$$\beta = \alpha + (\beta - \alpha) \quad (6)$$

$$b = a + r \quad (7)$$

Com o qual, desenvolvendo os senos correspondentes, tem-se:

$$\text{sen}(\beta) = \text{sen}(\alpha) + (\beta - \alpha) \cdot \cos(\alpha) \quad (8)$$

Ou

$$\text{sen}(b) = \text{sen}(a) + r \cdot \cos(a) \quad (9)$$

Sabendo da igualdade em (5), tem-se:

$$1 + (\beta - \alpha) \cdot \cotg(\alpha) = 1 + r \cdot \cotg(a) \quad (10)$$

Ou

$$\beta - \alpha = r \cdot \cotg(a) \cdot \tg(\alpha) \quad (11)$$

Da figura 15, deduz-se ainda que:

$$r.tg(\alpha) = s \quad \text{ou} \quad s = c.sen(\alpha) \quad (12)$$

Substituindo (6 e 7) na (11) resulta:

$$\beta - \alpha = \gamma.cos(a) \quad (13)$$

E a (12) na (11) resulta:

$$\beta - \alpha = c.sen(\alpha).cotg(a) \quad (14)$$

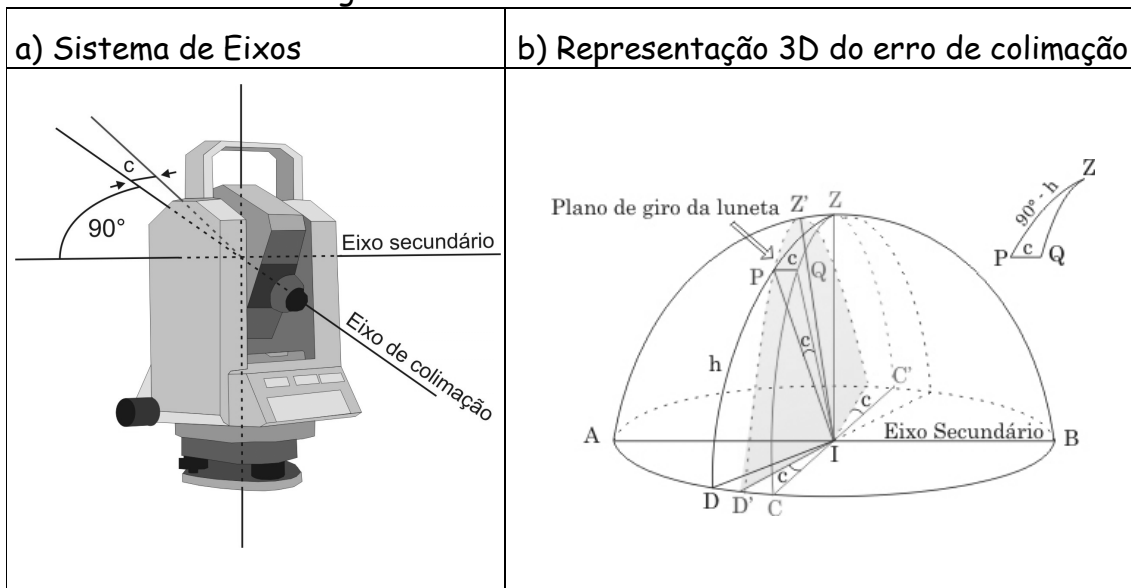
Depois do exposto é possível calcular o erro que se comete na medida de direções, supondo conhecidos os dois erros axiais do teodolito, que são os seguintes, segundo JORDAN (1981):

1. O eixo de colimação não é perpendicular ao eixo secundário, que deve formar um ângulo de $(90^\circ - c)$, sendo c o erro do eixo de colimação de sua posição correta;
2. O eixo secundário, ou horizontal, não é perpendicular ao eixo principal, que deve formar um ângulo de $(90^\circ - i)$, onde i é o erro do eixo secundário de sua posição normal;

Em primeiro lugar, não se considera juntamente os dois erros dos eixos c e i , mas sim isoladamente. Neste trabalho os erros projetados no limbo horizontal de uma visada serão representados por c' e i' .

O erro de colimação ou erro da linha de visada é causado pelo desvio c entre a linha óptica de visada e a linha perpendicular ao eixo secundário (figura 16). Este erro afeta as medidas angulares no limbo horizontal, ou seja, influencia nas medidas do ângulo horizontal.

Figura 18 - Desvio da linha de visada



Fonte: Adaptado de ZOLOTI, (2005)

De acordo com a figura 16, tem-se:

AB o eixo horizontal;

IZ o eixo vertical;

IZ', IP, ID' as três posições erradas do eixo de colimação contidas no mesmo plano;

IZ, IQ, IC, as três posições corretas do eixo de colimação contidas no mesmo plano formando o plano correto;

$ZIZ' = QIP = CID' = c$, o ângulo que representa o desvio do eixo de colimação;

Seja P um ponto visado, cujo ângulo de altura é $DIP = h$ e PQ uma parte do círculo máximo que passa por APB, tem-se, segundo a fórmula (17).

$$c = Z.\text{sem}(90^\circ - h)$$

ou

$$c = Z \cdot \cos(h) \quad (2.10)$$

O efeito c' produzido por c é calculado da seguinte forma:

$$c' = \frac{c}{\cos(h)} \quad (15)$$

Para se ter uma idéia da magnitude deste erro, basta variar o ângulo vertical do teodolito, após ter determinado o erro de colimação c .

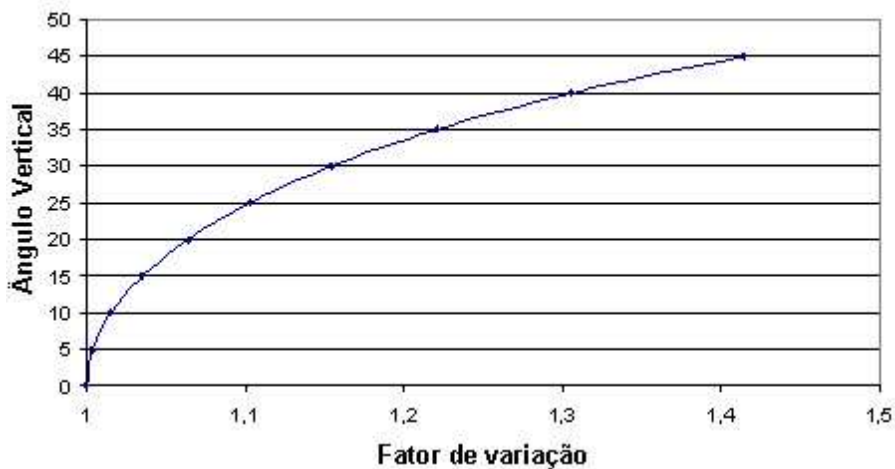
A tabela 02 apresenta, para um erro de colimação de $1'$, a influência na medida da direção horizontal com a variação do ângulo vertical.

C	Ângulo Vertical ou Altura da Luneta				
	1°	5°	10°	20°	45°
1'	1' 0"	1' 0,2"	1' 0,9"	1' 3,5"	1' 24,8"

A variação da projeção deste erro nas medidas da direção horizontal é em função do cosseno do ângulo vertical (gráfico 1). Sua amplitude depende da magnitude do erro, logo manifesta-se segundo um fator de variação, dado pela função cosseno.

gráfico 1 - influência do erro de colimação nas medidas de direções horizontais

Influência do Erro de Colimação



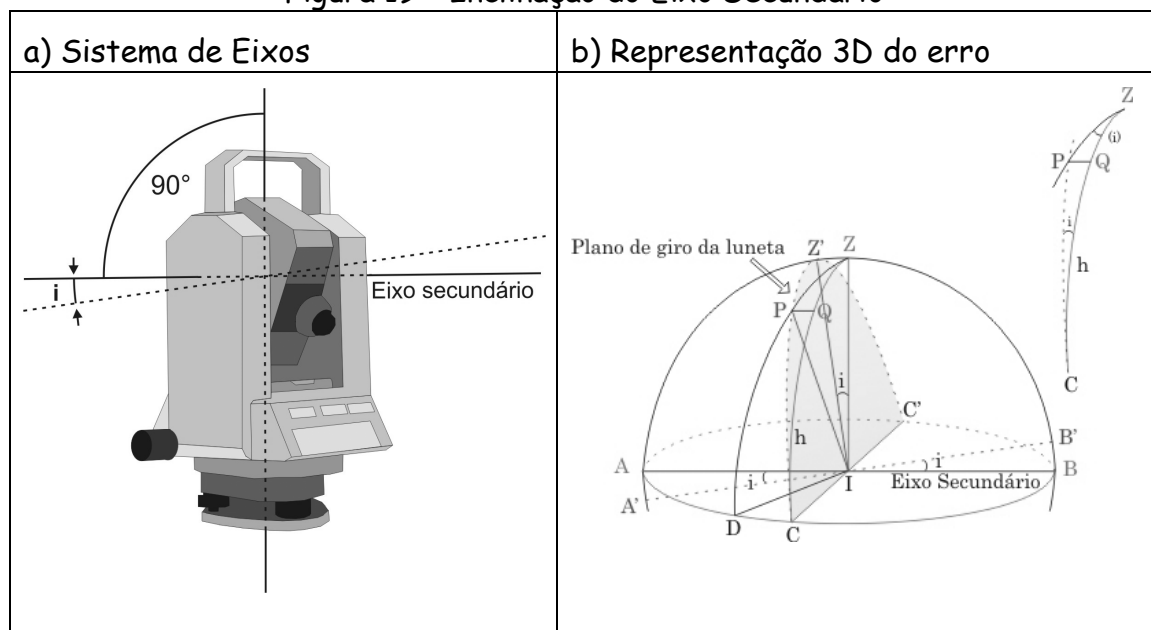
Fonte: Adaptado de ZOCOLOTI, (2005)

Se o instrumento está afetado por um erro de colimação com magnitude de $1'$, para um ângulo vertical de 25° , haverá um erro projetado na direção horizontal de $1,1''$ multiplicado pelo de erro colimação, resultando num erro na determinação da direção horizontal de $1' 06''$.

3.1.2.2. Erro de Horizontalismo do Eixo Secundário

O erro de não horizontalismo do eixo secundário, ou simplesmente erro do eixo secundário, é causado pelo desvio i do eixo mecânico de rotação da luneta com a linha perpendicular ao eixo principal, ou vertical, que é o eixo de rotação do limbo horizontal (figura 18). Este erro afeta indiretamente as medidas de direções horizontais, pois se projeta no limbo horizontal.

Figura 19 - Inclinação do Eixo Secundário



Fonte: Adaptado de ZOCOLOTI, (2005)

Na figura 17b, AB é a posição normal, ou correta, do eixo horizontal e $A'B'$ a posição incorreta, formando entre si o ângulo. Ao bascular ou tombar a luneta, move-se o eixo de colimação sobre o plano CPZ' , ao invés de mover-se sobre o plano CQZ . Se um ponto P é visado, a projeção deste estará erroneamente localizada no ponto C , ao invés de estar sobre o ponto D , formando o erro $DC = i'$. Este valor corresponde também ao ângulo PZQ ,

representado à parte, na figura 18, onde é possível também visualizar o ângulo $i = PCQ$ e a altura $h = CQ$, cujo complemento é $90^\circ - h = QZ$. Dos triângulos PQZ e PQC deduz-se aplicando as equações (16 e 17)

$$PQ = i' . \text{sen}(90^\circ - h)$$

Ou

$$PQ = i' . \text{cos}(h) \tag{16}$$

de onde chega-se a:

$$i' . \text{cos}(h) = i . \text{sen}(h)$$

Ou

$$i' = i . \text{tg}(h) \tag{17}$$

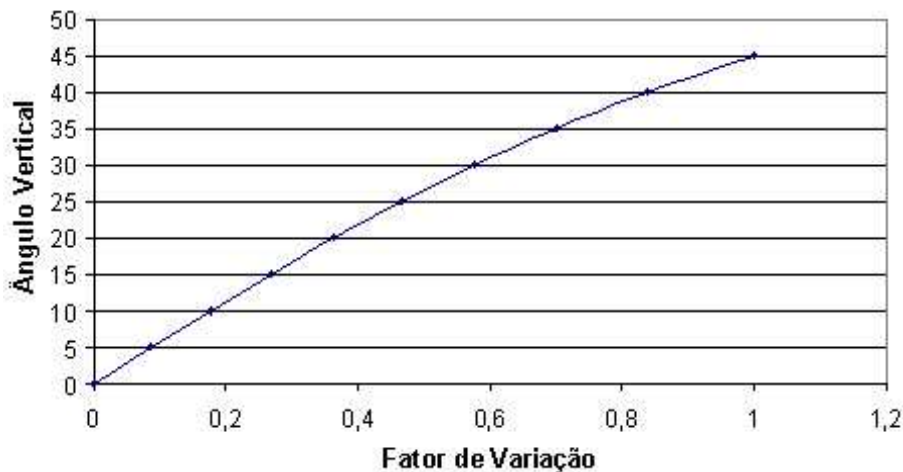
Para se ter uma idéia da magnitude deste erro, basta variar o ângulo vertical do teodolito, após ter determinado o erro de não horizontalismo do eixo secundário. Na tabela 3 é apresentada, para um erro de 1', a influência nas medidas de direção horizontal quando se altera o valor do ângulo vertical.

Tabela 3 -Influência do erro de não horizontalismo do eixo secundário na medida de direções horizontais					
i	Ângulo Vertical ou Altura da Luneta				
	1°	5°	10°	20°	45°
1'	1,05"	5,25"	10,6"	21,8"	60"

A variação da projeção deste erro nas medidas das direções horizontais é em função da tangente do ângulo vertical. Sua amplitude depende da magnitude do erro, logo se manifesta segundo um fator de variação dado pela função tangente, como apresentado no gráfico 2.

Gráfico 2 - influência do erro do eixo secundário no ângulo horizontal

Influência do Erro do Eixo Secundário



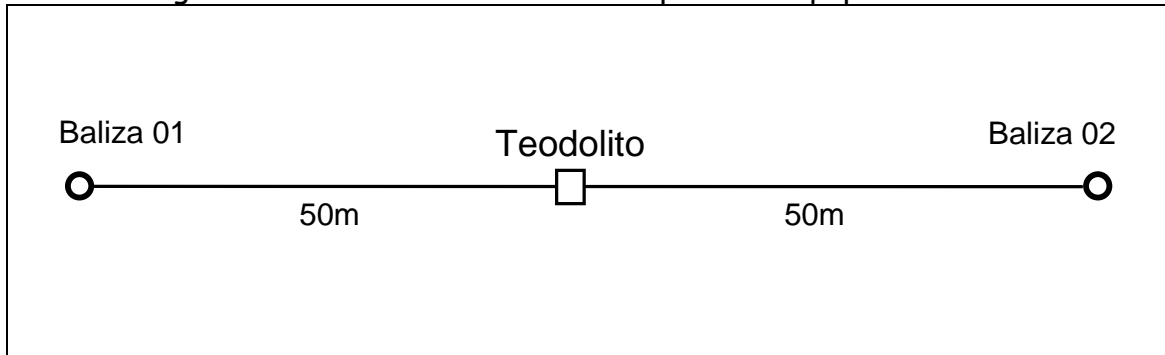
3.1.3. Determinação do Erro de Colimação com Observações de Campo

3.1.3.1. Verificação

Na seqüência será visto os procedimentos de campo para verificar o Erro de Colimação utilizando procedimentos de campo.

1. Escolher um terreno plano que permita visadas de aproximadamente 100m;
2. Com o teodolito em PD (posição Direta da Luneta) apontar para uma baliza cravada no terreno, ou um alvo bem definido, afastada do teodolito de aproximadamente 50m;
3. Tombar a luneta, teodolito em PI (posição Invertida da Luneta) e definir a posição de outra baliza, ou um alvo bem definido, afastada também de aproximadamente 50 m do teodolito na direção oposta;
4. Girar o Teodolito no sentido horário ou anti-horário, mantendo o equipamento em PI, e apontar novamente para a primeira baliza;
5. Tombar novamente a luneta, portanto equipamento novamente em PD. Se a condição acima (perpendicularidade entre a linha de visada e eixo secundário) é atendida pelo equipamento, esta visada deve coincidir com a segunda baliza. Se não houver esta coincidência o equipamento deve ser retificado (figura 18).

Figura 20 - Teodolito e das Balizas para um Equipamento Retificado

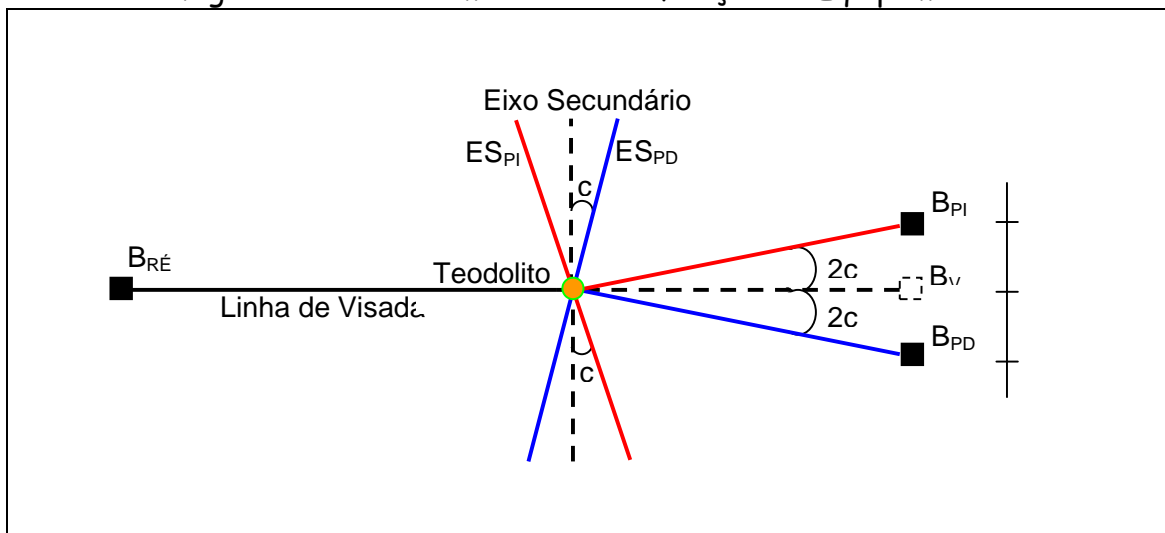


3.1.3.2. Retificação

Caso o teodolito não responda a condição de perpendicularidade entre o eixo de colimação e o eixo secundário, apresentado na figura 18, é necessário realizar a retificação do equipamento. O procedimento consta dos seguintes passos:

1. Cravar uma terceira baliza correspondente a direção definida pelo segundo tombamento da luneta. Na figura 19 esta baliza está identificada por (B_{PI});

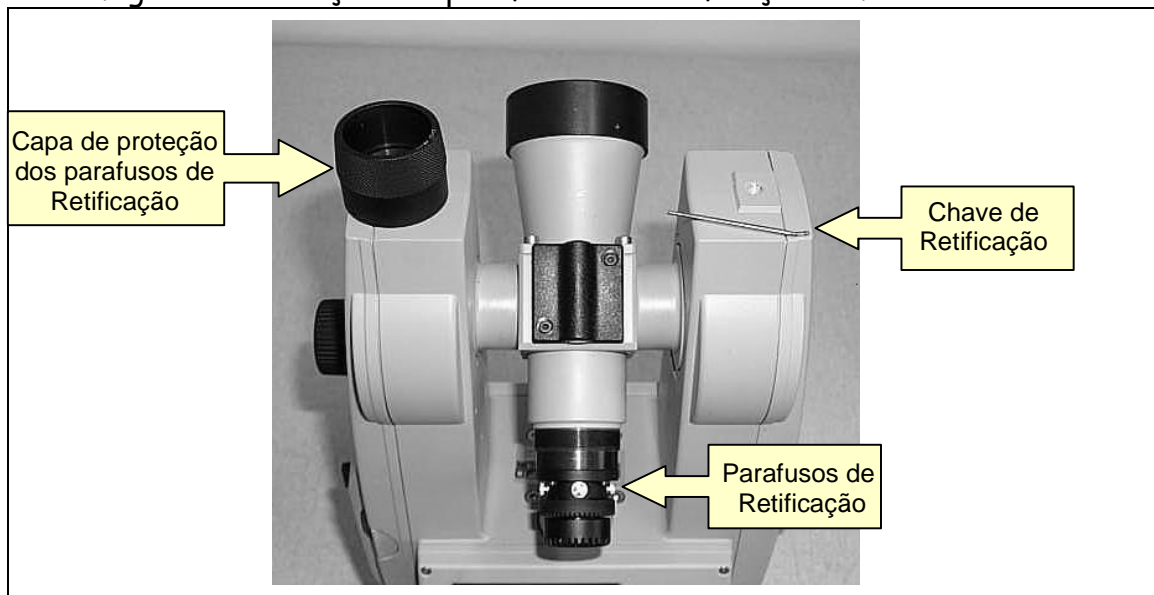
Figura 21 - Procedimento de Retificação do Equipamento



Fonte: Autor

2. Cravar uma quarta baliza, na figura identificado por B_V , na posição intermediária entre as balizas B_{PI} e B_{PD} ;
3. Deslocar o retículo, atuando nos parafusos de retificação do movimento horizontal (figura 20), fazendo com que o fio vertical coincida com a quarta baliza (B_V) (Figura 19);
4. Repetir os itens 1, 2, 3 até que haja a sobreposição das Balizas B_{PI} , B_{PD} e B_V .

Figura 22 - Posição dos parafusos de Retificação do Fio do Rtiículo



Fonte: Autor

3.1.4. Determinação do Erro de Horizontalismo do Eixo Secundário com observações de Campo

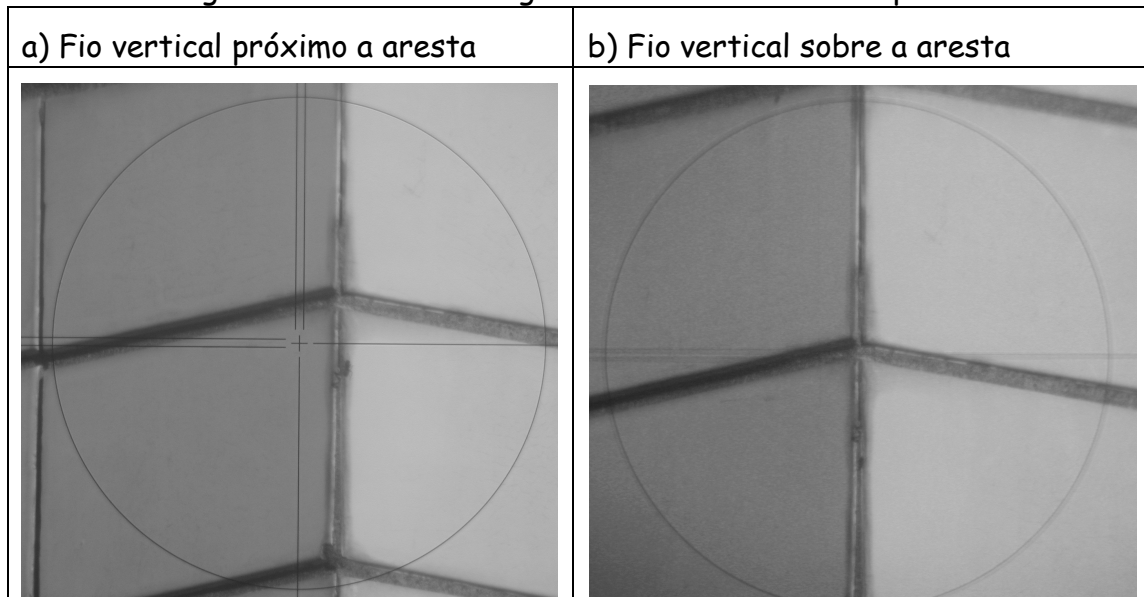
Este erro ocorre por falta de perpendicularidade entre o eixo principal e o secundário. Sua verificação no campo pode ser feita de duas maneiras.

3.1.4.1. Em Regiões Urbanas

1. Instalar o teodolito em uma região plana, que seja possível visualizar a aresta de uma edificação alta;
2. Apontar para a parte superior da aresta da edificação e tangenciar o fio vertical do retículo (figura 21);

3. Soltar o movimento vertical do Teodolito e baixar a luneta até a parte inferior da construção;
4. O fio vertical deve tangenciar a aresta durante todo o deslocamento;
5. Caso isso não ocorra é necessário retificar o instrumento.

Figura 23 - Retículo tangenciando a aresta de um prédio



Fonte: Autor

3.1.4.2. No Campo

1. Instalar o teodolito em uma região, que seja possível visualizar uma árvore alta;
2. Amarrar uma corda com um peso, em um galho com um peso, de forma que simule um fio de prumo;
3. Apontar para a parte superior do fio de prumo e sobrepor o fio vertical do retículo;
4. Soltar o movimento vertical e baixar a luneta até a parte inferior do fio de prumo;
5. O fio vertical, deve sobrepor o fio de prumo durante todo o deslocamento;
6. Caso isso não ocorra é necessário retificar o instrumento.

3.1.4.3. Retificação

Erguer ou baixar o eixo secundário, com os parafusos de retificação correspondente até que, em qualquer movimento vertical da luneta o fio de retículo o coincida com a aresta do prédio ou com o fio de prumo.

3.1.5. Verificação do Prumo Óptico

O fio de prumo, prumo óptico ou prumo laser materializam uma linha tangente a vertical do local. Para realizar esta verificação no campo, deve-se seguir os seguintes passos:

1. Instalar o teodolito sobre o tripé em um terreno plano e realizar a calagem;
2. Sobre o terreno, na vertical materializada pelo prumo óptico do teodolito, colocar uma prancheta com uma folha de papel milimetrado;
3. Marcar, no papel milimetrado, a posição observada pelo prumo óptico;
4. Girar o teodolito, movimento horizontal, em 90° e novamente marcar no papel milimetrado a posição observada através do prumo óptico;
5. Repetir o quarto passo para as posições 180° e 270° ;

Se o prumo óptico estiver definindo uma única vertical, o procedimento realizado nos passos anteriores descreverá, no papel milimetrado, um ponto. Caso contrário descreverá uma circunferência. Neste caso é necessário retificar.

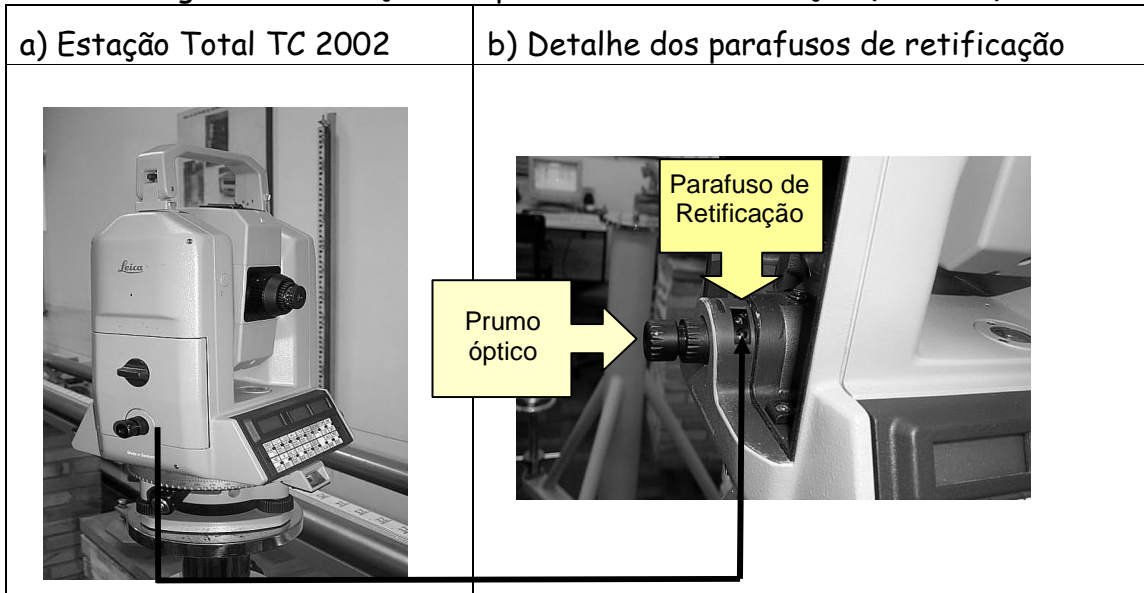
3.1.5.1. Retificação

1. Calcular o raio da circunferência e marcar no papel milimetrado o centro da mesma;
2. Com os parafusos de retificação (figura 22, 23) deslocar o centro do prumo óptico sobre o ponto que materializa o centro da circunferência;

É bom lembrar que sempre que se realiza qualquer retificação em um teodolito, deve-se soltar um parafuso de retificação e apertar da mesma

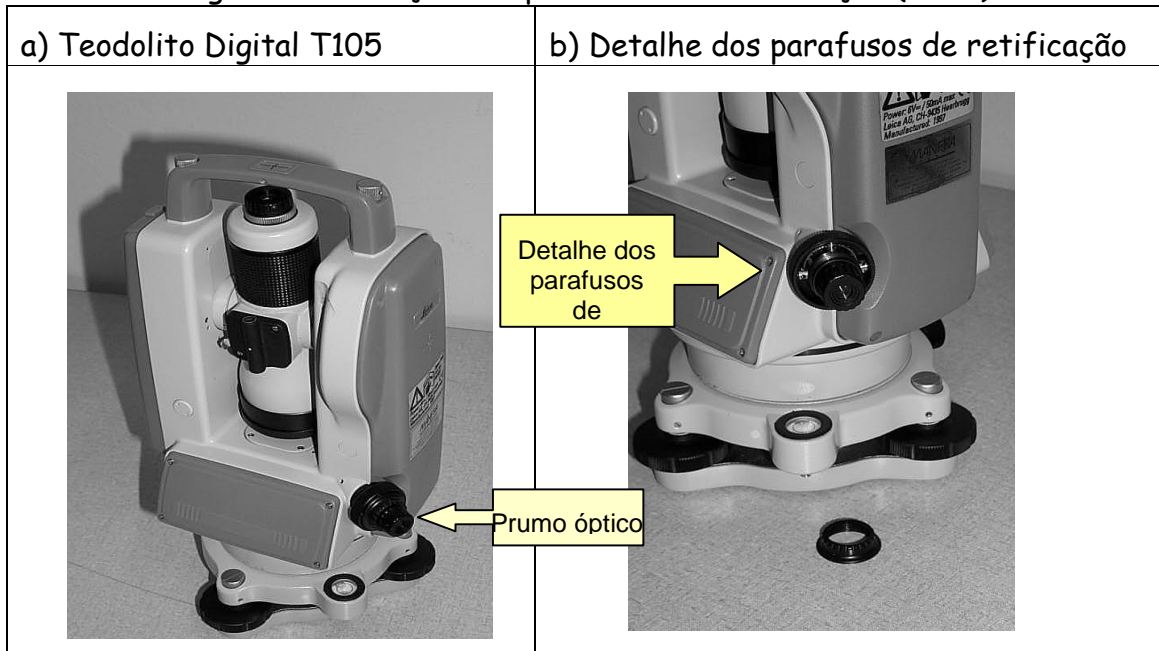
quantidade o parafuso oposto a ele. Atuando desta forma o sistema que foi retificado permanece fixo.

Figura 24 - Posição dos parafusos de Retificação (TC2002)



Fonte: Autor

Figura 25 - Posição dos parafusos de Retificação (T100)

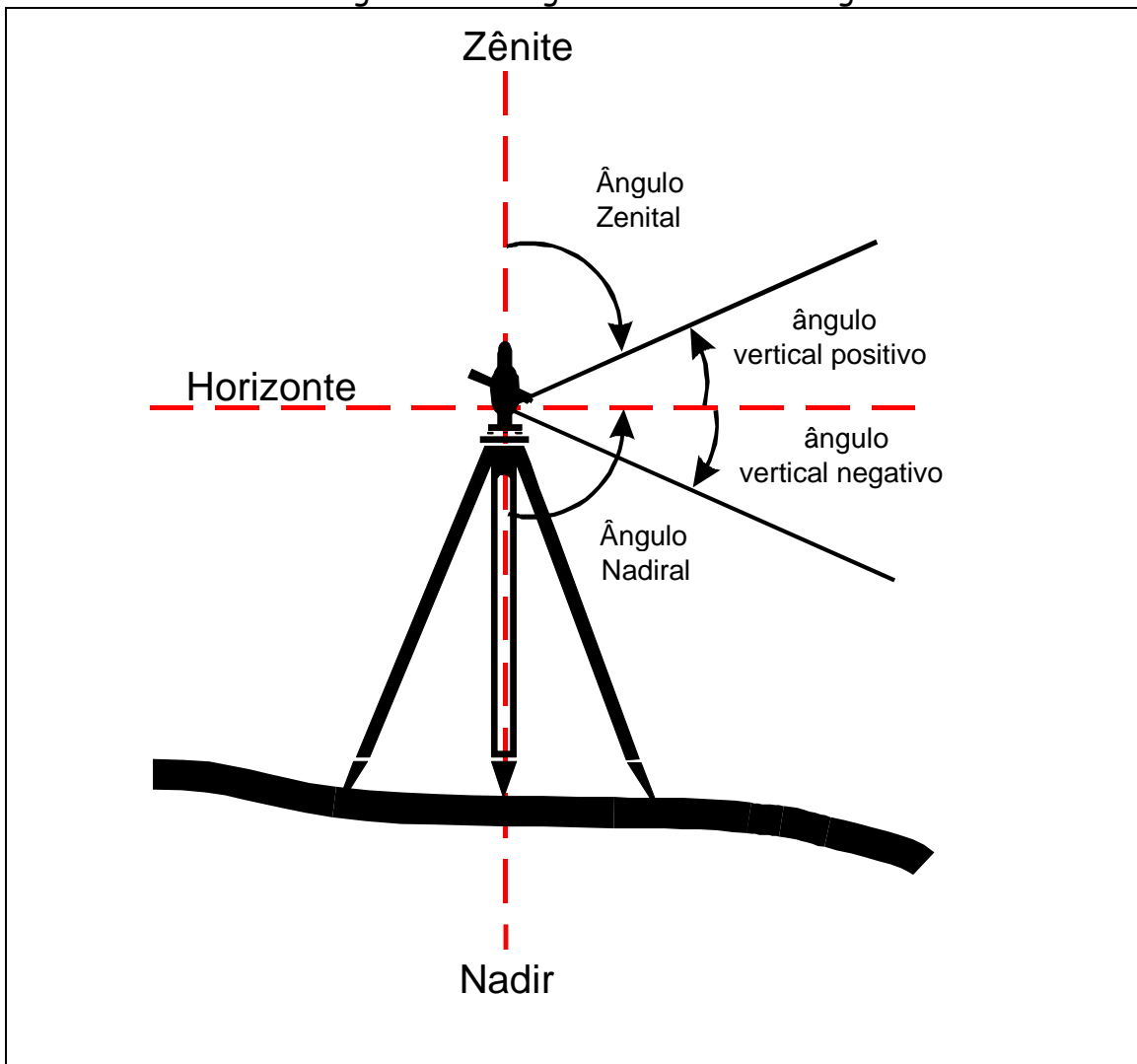


Fonte: Autor

3.1.6. Determinação do Erro de Zenite

Em um teodolito, a origem da medida do ângulo pode ser vertical (horizonte), zenital (zênite) e nadiral (nadir) (Figura 24).

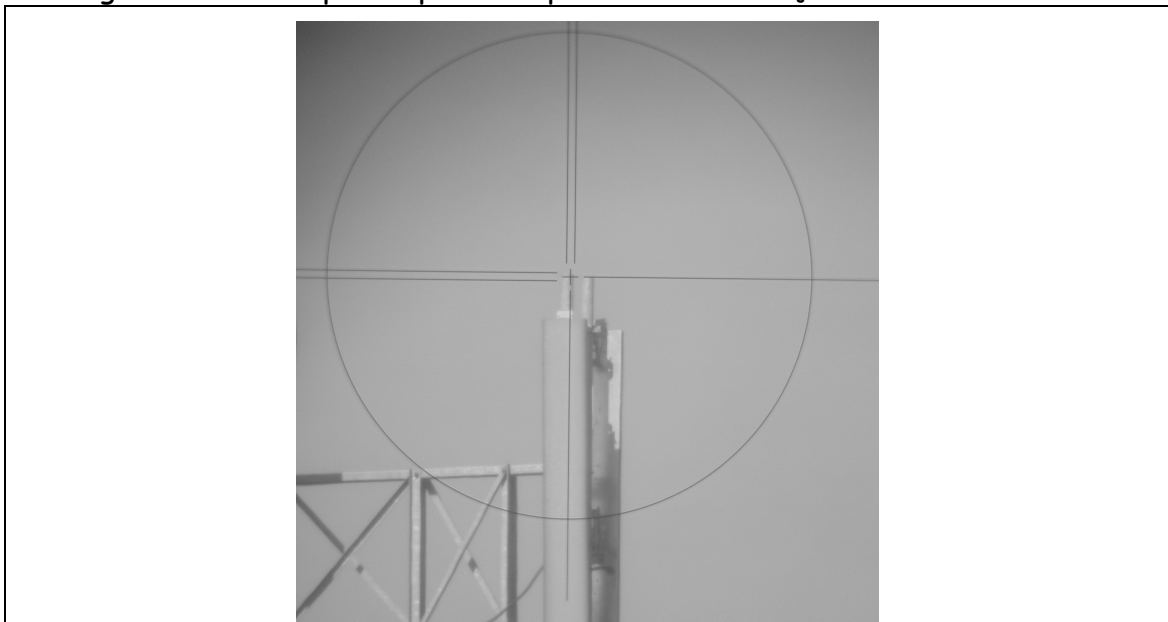
Figura 26 - Origem da medida de ângulos



Fonte: (Veiga, et. al, 2005)

Para sua determinação basta instalar o teodolito em uma posição que seja possível observar um alvo bem definido. Realizar pontarias sobre este alvo em posição direta e invertida da luneta.

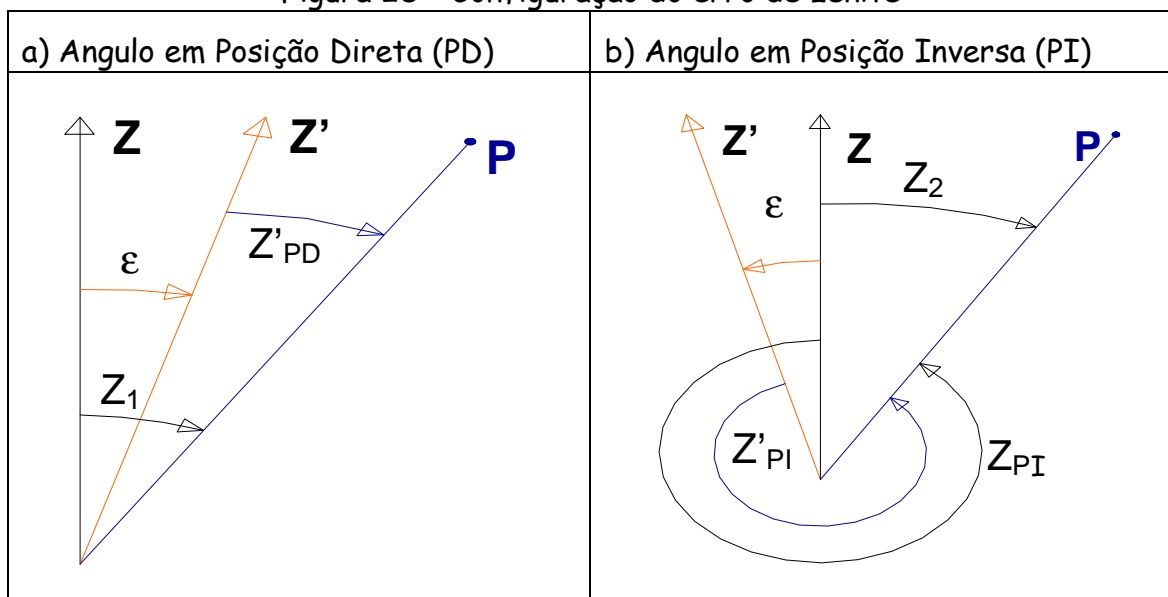
Figura 27 - Exemplo de pontaria para a determinação do erro de zênite



Fonte: Autor

A determinação deste erro é um procedimento rápido e de fácil execução. Sua configuração pode ser vista na figura 26.

Figura 28 - Configuração do erro de zênite



Fonte: Autor

Onde:

Z : Origem de medida do ângulo zenital para equipamentos sem erro de zênite;

Z' : Origem de medida do ângulo zenital para equipamentos com erro de zênite;

Z_1 : Ângulo zenital, em posição direta da luneta, isento do erro de zênite;

Z'_{PD} : Ângulo zenital, em posição direta da luneta, com erro de zênite instrumental;

ε : Erro de zênite instrumental;

Z'_{PI} : Ângulo zenital, em posição inversa da luneta, com erro de zênite instrumental;

Z_{PI} : Ângulo zenital, em posição inversa da luneta, isento do erro de zênite instrumental;

Z_2 : Ângulo zenital, em posição invertida da luneta, isento do erro de zênite;

Da figura 26a, teodolito visando o ponto P em posição direta da luneta (PD), se pode escrever a seguinte equação:

$$Z_{PD} = Z_1 = Z'_{PD} + \varepsilon \quad 18$$

Da figura 26b, teodolito visando o ponto P em posição inversa da luneta (PI), se pode escrever a seguinte equação:

$$Z_{PI} = Z_2 = 360 - Z'_{PI} - \varepsilon \quad 19$$

Para obter a Erro de Zênite Instrumental, basta subtrair as equações 18 da 19:

$$Z_1 - Z_2 = Z'_{PD} + \varepsilon - 360^\circ + Z'_{PI} + \varepsilon \quad 20$$

$$\varepsilon = \frac{360^\circ - (Z'_{PD} + Z'_{PI})}{2} \quad 21$$

Para obter a Distância Zenital isenta do erro, basta somar as equações 18 e 19:

$$Z_1 + Z_2 = Z'_{PD} + \varepsilon + 360^\circ - Z'_{PI} - \varepsilon \quad 22$$

$$Z = \frac{Z'_{PD} - Z'_{PI}}{2} + 180^\circ \quad 21$$

3.1.7. Erro de Zero no ATR

Este erro é encontrado em medições realizadas com estações totais que dispõe da ferramenta de busca automática de alvos, que é o caso da Leica TCRA 1205. Este, corresponde a não coincidência da pontaria com o centro do prisma, figura 27.

Figura 29 - Prisma refletor e retículo da estação sobreposto (erro do ATR)



Fonte: Adaptado de ZOCOLTI, (2005)

Mesmo após um correto ajustamento do ATR, os fios de retículo da estação podem não ficar posicionados exatamente no centro do prisma (figura29) (ZOCOLOTI, 2005).

Esta ocorrência é normal. Para acelerar a medição em modo ATR, a mira telescópica não está posicionada normalmente exatamente no centro do prisma. Os pequenos desvios e os desvios do modo ATR, que são aqueles determinados pela calibração, são medidos individualmente para cada medição e corrigidos eletronicamente. Isto significa que as direções horizontais e os ângulos zenitais são corrigidos duas vezes: Primeiro, pela determinação dos erros ATR e, depois pelos pequenos desvios individuais da pontaria atual.

3.2. NÍVEIS:

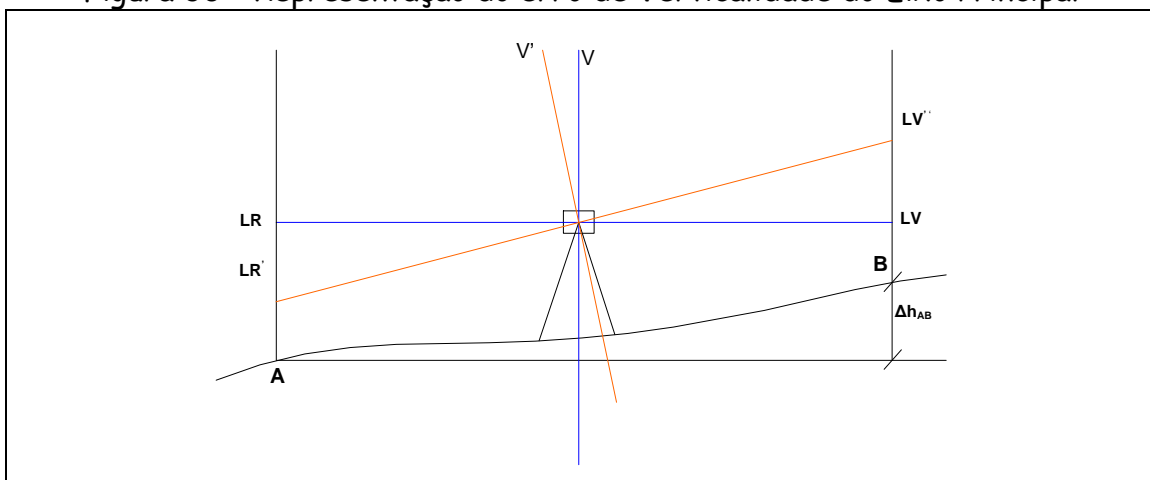
Os níveis, independente de serem ópticos ou digitais, devem passar por um processo de verificação antes de sua utilização no campo, a saber:

1. Verticalidade do Eixo Principal;
2. Erro de colimação vertical.

3.2.1. Verticalidade do Eixo Principal

O procedimento para a verificação da verticalidade do Eixo Principal em Níveis é exatamente igual ao procedimento descrito para Teodolitos.

Figura 30 - Representação do erro de Verticalidade do Eixo Principal



Fonte: Autor

Onde:

LR: Leitura da mira em Ré com o equipamento isento de erro;

LV: Leitura da mira em Vante com o equipamento isento de erro;

LR': Leitura da mira em Ré com o equipamento apresentando o erro;

LV': Leitura da mira em Vante com o equipamento apresentando de erro;

Δh_{AB} : Desnível entre os Pontos A e B;

V : Representação do Eixo Principal de um equipamento retificado;

V' : Representação do Eixo Principal de um equipamento não retificado.

A figura 28 apresenta um exagero na representação do erro de verticalidade do eixo principal, objetivando chamar a atenção sobre as conseqüências da não retificação do instrumento na determinação de desníveis.

Supondo:

a) Equipamento sem Erro

$$LR = 1,245\text{m}$$

$$LV = 0,875\text{m}$$

$$\Delta h_{AB} = LR - LV$$

$$\Delta h_{AB} = 1,245\text{m} - 0,875\text{m}$$

$$\Delta h_{AB} = 0,370\text{m}$$

b) Equipamento com Erro

$$LR' = 0,756\text{m}$$

$$LV = 1,920\text{m}$$

$$\Delta h_{AB} = LR' - LV'$$

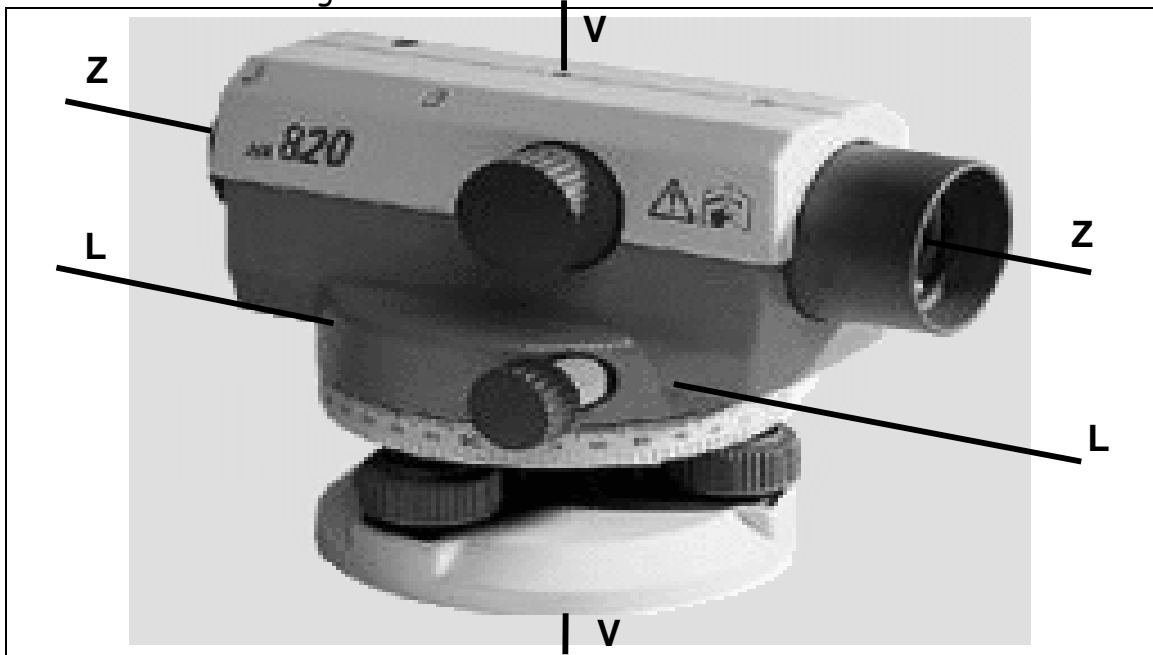
$$\Delta h_{AB} = 0,756\text{m} - 1,920\text{m}$$

$$\Delta h_{AB} = -1,344\text{m}$$

3.2.2. Erro de Colimação Vertical do Nível

Este erro é provocado pela falta de paralelismo entre a linha de visada e o eixo do nível tubular, nos níveis mecânicos. Nos níveis automáticos é a falta de paralelismo entre a linha de visada e o plano formado pelo sistema de pêndulo (figura 29).

Figura 31 - Sistema de eixos de um nível



Onde:

ZZ : Eixo de Colimação ou Linha de visada;

LL : Eixo do Nível Tubular (Níveis Mecânicos);

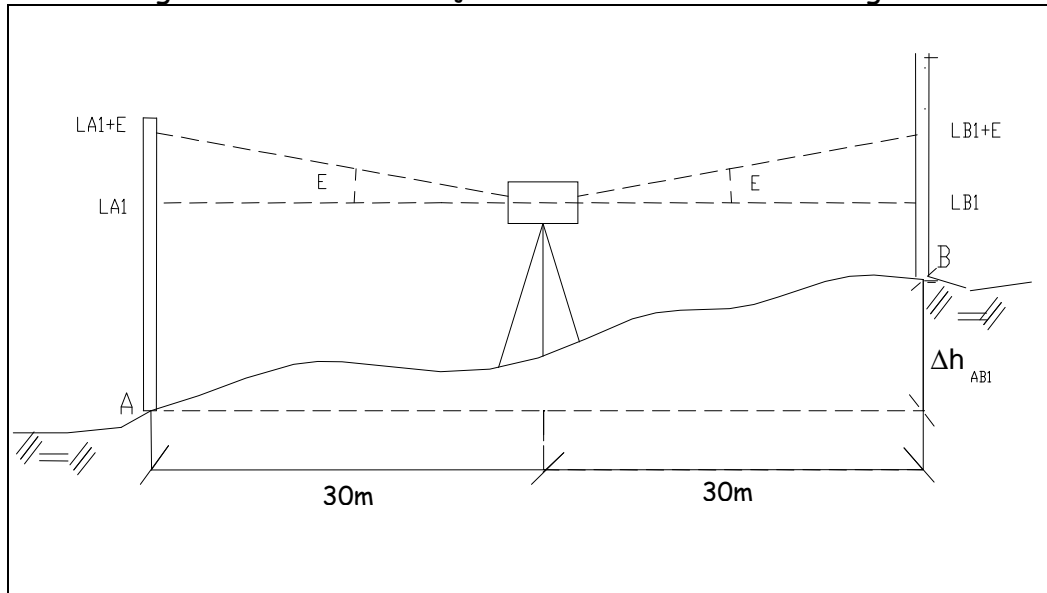
VV : Eixo Principal ou rotação do nível.

A verificação deste erro com observações de campo consiste das seguintes etapas:

1. Encontrar um terreno plano que permita visadas de até 60 metros;
2. Instalar o nível no centro e uma mira 30m 'a Ré e outra 30m 'a vante (figura 30);
3. Realizar a calagem do instrumento;
4. Determinar o desnível entre as miras A e B (Δh_{AB1});

Neste caso o Δh_{AB1} está isento do erro provocado pelo erro de colimação vertical do nível, tendo em vista que este erro é proporcional à distância e neste caso elas são iguais.

Figura 32 - Determinação do desnível com visadas iguais



Fonte: Autor

Onde:

LA1 + E = Leitura do fio nivelador na mira em A mais o erro de colimação;

LA1 = Leitura do fio nivelador na mira em A sem o erro de colimação;

LB1 + E = Leitura do fio nivelador na mira em B mais o erro de colimação;

LB1 = Leitura do fio nivelador na mira em B sem o erro de colimação;

E = Erro de Colimação;

Δh_{AB1} = Desnível entre os pontos A e B (Nível no centro do lance), método de visadas iguais.

$$\Delta h_{AB1} = (LA1 + E) - (LB1 + E) \quad 22$$

$$\Delta h_{AB1} = LA1 + E - LB1 - E \quad 23$$

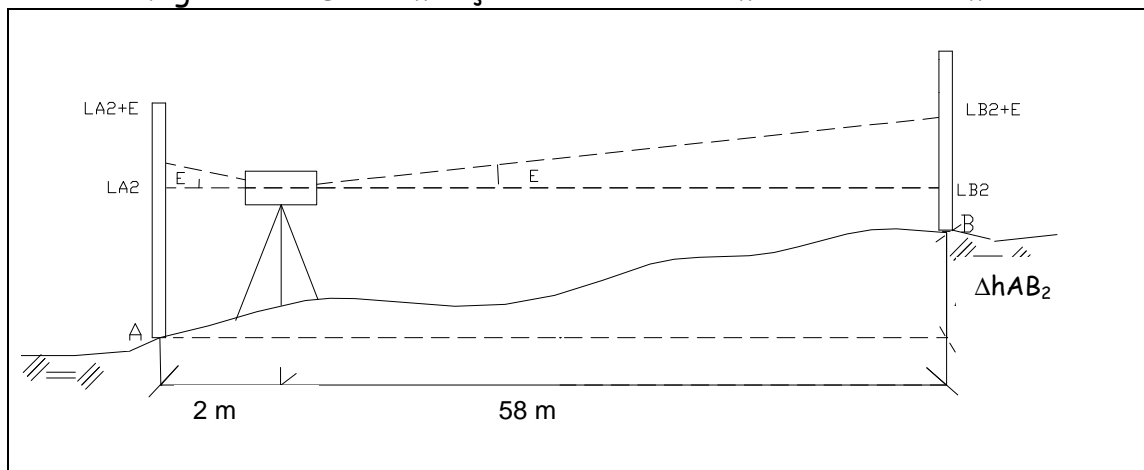
Como já foi dito as distâncias de ré e vante são iguais, logo o erro de colimação em ré e vante também são iguais. Assim sendo, a equação 23 pode ser reescrita da seguinte forma:

$$\Delta h_{AB1} = LA1 - LB1$$

24

5. Deslocar o nível, mantendo as miras na mesma posição, para uma posição 'a 2 metros da mira de Ré. Em nosso caso a mira posicionada em A (figura 31).
6. Realizar a calagem do instrumento;
7. Determinar o desnível entre as miras em A e B (Δh_{AB2}), método das visadas extremas;

Figura 33 - Determinação do desnível com visadas extremas



Fonte: Autor

Onde:

$LA2 + E_1$ = Leitura do fio nivelador na mira em A mais o erro de colimação que neste caso é desprezível tendo em vista que a distância nível mira é de apenas 2 metros;

$LA2$ = Leitura do fio nivelador na mira em A sem o erro de colimação;

$LB2 + E_2$ = Leitura do fio nivelador na mira em B mais o erro de colimação que neste caso é significativo tendo em vista que o nível está a 58m da mira em B;

$LB2$ = Leitura do fio nivelador na mira em B sem o erro de colimação;

E = Erro de Colimação;

43

Δh_{AB2} = Desnível entre os pontos A e B (Nível deslocado do centro do lance), método das visadas extremas.

Neste caso as leituras não estão isentas do erro de colimação vertical do nível, provocado pela falta de paralelismo da linha de visada e o eixo do nível tubular, tendo em vista que o nível está deslocado do centro do lance, como pode ser visto na figura 31 (distância de Ré 2 metros diferente da distância de vante 58 metros). Ou seja, neste caso adotou-se visadas extremas (figura 31).

Onde, neste caso o desnível é calculado através da equação 26.

$$\Delta h_{AB2} = (LA2 + E1) - (LB2 + E2) \quad 25$$

$$\Delta h_{AB2} = LA2 + E1 - LB2 - E2 \quad 26$$

O procedimento para verificar se o nível necessita de retificação consiste das seguintes fases:

1. Realizar o procedimento de coleta de dados no campo seguindo a metodologia descrita a cima;
2. Calcular o desnível, considerando visadas iguais, através da equação 24;
3. Calcular o desnível, considerando visadas extremas, através da equação 26;
4. Calcular o erro cometido através da equação 27;

$$E_c = \Delta h_{AB2} - \Delta h_{AB1} \quad 27$$

5. Calcular o erro permitido considerando os valores obtidos para Δh_{AB2} e Δh_{AB1} através da equação 28;

$$E_p = 20\text{mm} \sqrt{k} \quad 28$$

Onde:

K= Média da distância nivelada e contra nivelada em quilômetros;

Se o erro cometido for menor do que o erro permitido ($E_c \leq E_p$) não é necessário retificar o equipamento. Caso contrário ($E_c \geq E_p$) o instrumento necessita de retificação.

O procedimento de retificação deve ser conduzido da seguinte maneira:

1. Δh_{AB1} foi determinado com o nível no centro, logo isento do erro em questão;

2. $LA_2 + E_1$ é a Leitura feita na mira em Ré utilizando o método de visadas extremas. Como já foi visto, o erro de colimação vertical do nível é proporcional à distância. Esta observação foi realizada com nível a 2m da mira de ré, logo podemos considerá-lo desprezível (figura 31).

Utilizando o conceito de nivelamento geométrico a nova leitura será calculada através da seguinte relação.

$$\Delta h_{AB1} = LA_2 - NI \quad 29$$

Onde, como já foi dito anteriormente:

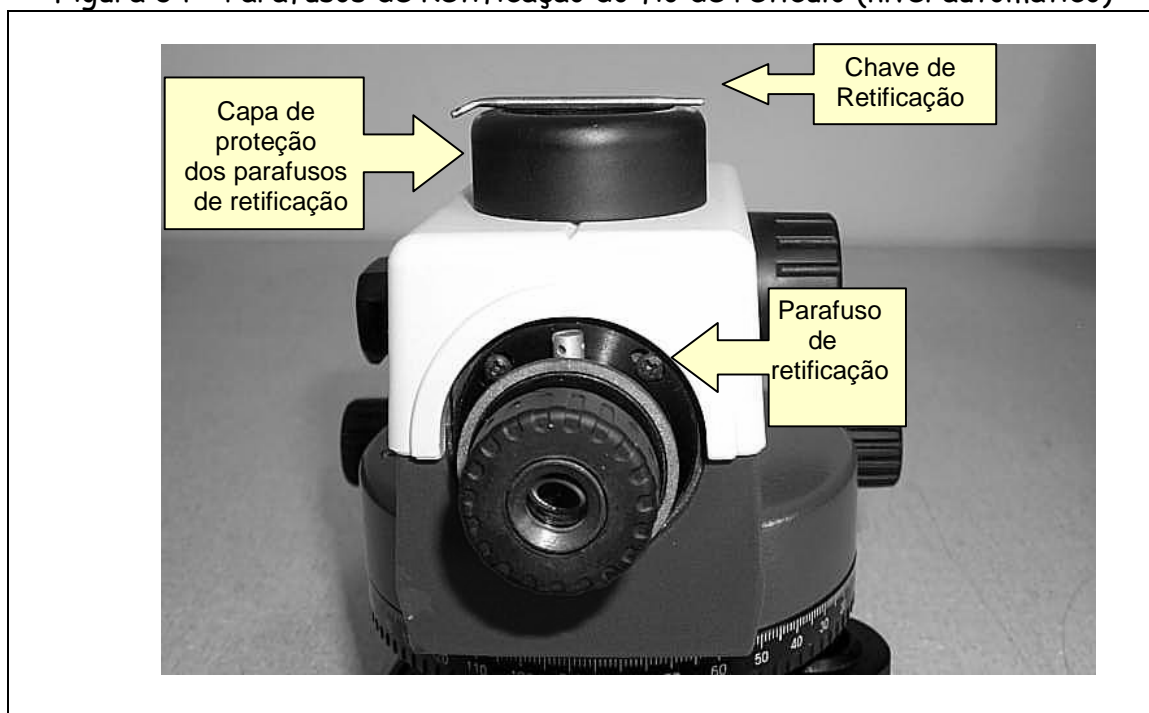
Δh_{AB1} = Desnível entre os pontos A e B (Nível no centro do lance);

$LA_2 + E_1$ = Leitura do fio nivelador na mira em A mais o erro de colimação que neste caso é desprezível tendo em vista que a distância nível mira é de apenas 2 metros;

Isolando NL (Nova Leitura) que é o termo que necessita-se para retificar o nível. Ou seja, qual deve ser a leitura de vante (NL) para o desnível e a leitura de ré isentos de erro.

$$NL = LA_2 - \Delta h_{AB1} \quad 30$$

Figura 34 - Parafusos de Retificação do fio de retículo (nível automático)



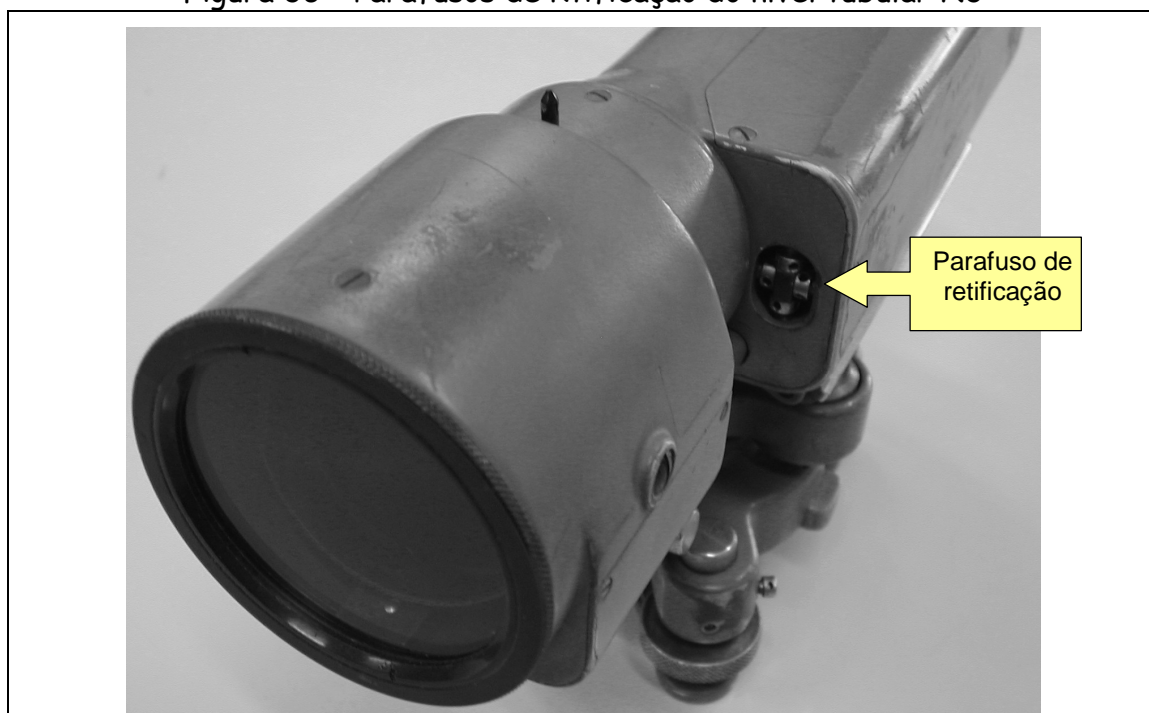
Fonte: Autor

Figura 35 - Nível Mecânico Geodésico N3



Fonte: Autor

Figura 36 - Parafusos de Retificação do nível tubular N3



Fonte: Autor

3.2.1.1. Exercícios

Com o objetivo de verificar a necessidade de retificar do erro de colimação vertical do nível, em um nível óptico, coletou-se no campo as seguintes observações.

Com o nível à 30m das miras de ré e vante. Ou seja, método das visadas iguais.

$L_{ré_1} = 2,345$;

$L_{vante_1} = 1,456$

Com o nível à 2m da mira de ré logo à 58m da mira de vante. Ou seja método das visadas extremas.

$$L_{ré_2} = 2,240;$$

$$L_{vante_2} = 1,321$$

Cálculo do erro cometido

Cálculo do erro permitido

Neste caso o erro cometido é maior do que o erro permitido, logo é necessário retificar

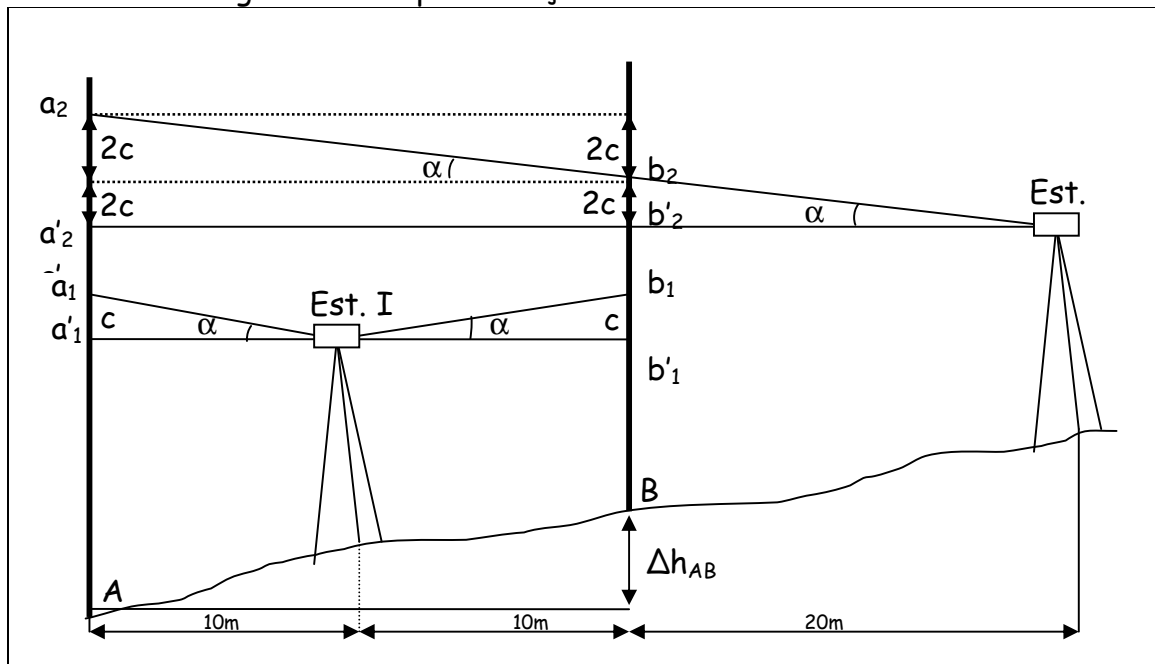
Cálculo da nova leitura

Com a chave de ritificação, atua-se nos parafusos de retificação do retículo, nos níveis automáticos ou nos parafusos de retificação da bolha tubular nos níveis mecânicos (figuras 32, 33, 34), fazendo com que o fio do nivelador sobreponha a marca de 1,351 na mira estadimétrica e não 1,321 como obteve-se, utilizando visadas extremas.

3.2.2.2. Método de Kukkamaki

O método de Kukkamaki é uma adaptação aplicada no método peg Test, que é mesma metodologia descrita no item anterior com uma única alteração. No método anterior o nível fica a 2 metros da mira de ré (visadas extremas), porém entre elas. No Peg Test a mira fica a 2 metros da mira de ré (visadas extremas) mas não entre elas.

Figura 37 - Representação do Método de Kukkamaki



Fonte: Adaptado de Kahmen; Faig 1988

O procedimento para a verificação do erro de colimação vertical de níveis utilizando esta metodologia, consta dos seguintes passos:

1. No primeiro passo instala-se o nível entre os dois pontos A e B, com distância de 10m para ré e vante, método de visadas iguais, e procede-se a leitura. Estas conterão o erro de colimação vertical do nível igual, por estarem a distâncias iguais, representado por c ;

2. No segundo passo instala-se o nível a 20m de B e 40m de A, e procede-se a leitura, visadas extremas. Neste caso, as leituras obtidas conterão erros proporcionais à distância da mira. Através da figura 35 é

possível perceber que a leitura a_2 terá um erro embutido equivalente a $4c$ e a leitura b_2 a $2c$. Com base nestas informações é possível determinar o valor do erro c .

$$a_2 = \Delta h_{AB} + b_2 + 2c \quad 31$$

$$a_1 = b_1 + \Delta h_{AB} \quad 32$$

$$\Delta h_{AB} = a_1 - b_1 \quad 33$$

Substituindo a equação 33 na equação 31.

$$a_2 = a_1 - b_1 + b_2 + 2c \quad 34$$

Reorganizando os termos da equação 34 tem-se:

$$a_2 = b_2 + a_1 - b_1 + 2c \quad 35$$

Na equação 34 isolando-se $2c$ a mesma pode ser reescrita da seguinte forma:

$$2c = (a_2 - b_2) - (a_1 - b_1) \quad 36$$

Ou

$$2c = \Delta h_{AB-II} - \Delta h_{AB-I} \quad 37$$

Conseqüentemente, deve-se atuar nos fios de retículo do aparelho, alterando sua posição de tal maneira que as seguintes leituras sejam obtidas:

$$a_2' = a_2 - 4c \quad 38$$

ou

$$b_2' = b_2 - 2c \quad 39$$

Realizando-se uma checagem final, os seguintes valores deverão ser obtidos:

$$a_2' - b_2' = a_1 - b_1 = \Delta h_{AB} \quad 40$$

Exemplo:

Dist. Ré	Leitura Estadimétrica		Dist. Vante	Fio Nivelador		Desnível
	Ré	Vante		Ré	Vante	
	1,521	1,324				
	1,425	1,229		1,472	1,278	
	1,870	1,557				
	1,478	1,363		1,672	1,460	

a) Cálculo do desnível com o nível no centro do lance

b) Cálculo do desnível com o nível afastado do entro do lance

c) Cálculo do valor da correção

d) Cálculo da leitura em Ré corrigida (b'_2)

e) Cálculo da leitura corrigida em vante (a'_2)

f) Cálculo do desnível após a retificação do nível

3.3. VERIFICAÇÃO E RETIFICAÇÃO DE ESTAÇÕES TOTAIS E NÍVEIS DIGITAS

3.3.1. Estações Totais

Com relação a componente angular, o processo de verificação e retificação da verticalidade do Eixo Principal é o mesmos dos aplicados aos teodolitos ópticos, quando as estações utilizam níveis tubulares para realizar a calagem do instrumento. Um exemplo deste equipamento é a estação total *Topcon GPT 307*. Nas estações em que a calagem é realizada utilizando níveis digitais, *TC407 da laica*, por exemplo, a verificação da verticalidade do eixo principal é realizada conjuntamente com Verificação de Índice Vertical e Horizontal, seguindo as instruções do manual. Em alguns modelos a nomenclatura muda, para estes erros, por exemplo: Erro de zênite, utilização consagrada para os teodolitos ópticos, nos teodolitos digitais utiliza-se também Erro de índice vertical e no caso do Erro de colimação, utilizado nos teodolitos ópticos e nas Estações Totais, além da nomenclatura citada utiliza-se também Erro de índice horizontal.

O princípio de verificação e retificação destes erros está descrito no manual do instrumento.

A componente linear das estações totais, medida de distância deve passar por um processo de calibração utilizando bases lineares, implantadas, normalmente em Universidades. Aos leitores interessados em maiores detalhes sobre o assunto recomenda-se (FAGGION, 2003).

3.3.2. Níveis Digitais

No caso dos níveis digitais as verificações recomendadas pelo fabricante são as mesmas que foram descritas para os níveis ópticos. Com relação a verticalidade do eixo principal, utiliza-se exatamente a mesma metodologia descrita para níveis ópticos. Com relação ao erro de colimação, o método mais utilizado é o método de Kukkamaki, como está descrito no item 3.2.2.2. A forma de realizar a retificação é que muda um pouco, em função do equipamento ser digital. A seqüência de operação para realizar a verificação e retificação do equipamento consta no manual do equipamento.

4. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

DOUBEK, A. (1974). **Topografia**, Notas de Aula, Diretório Acadêmico de Engenharia Cartográfica, Curitiba, 79p.

FAGGION, P. L. **Obtenção dos elementos de calibração e certificação de medidores eletrônicos de distância em campo e laboratório**. Tese de Doutorado - Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 134f. 2001.

KAHMEN, H.; FAIG, W. S. **Surveying**. Berlim; New York: Walter de Gruyter, 1994.

LEICA, **Leica Geosystems**. Disponível em <http://www.leica-geosystems.com/fi/surveying/products>. Acesso em 18/05/05

LEICA. **User Manual TCRA 1205**. Heerbrugg, 2005.

MEDINA, A. S. (1998). **Classificação de Teodolitos e Estações Totais**, Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésica, UFPR, 108pp,

NBR13133 (1994). **Execução de Levantamentos Topográficos**, Rio de Janeiro, RJ, 35pp.

ON, (2001): Disponível em < <http://www.on.br> / 2001 > Acesso em: 16 de agosto de 2001.

ZOCOLOTTI, C.A. (2005). **Estabelecimento De Uma Rede Geodésica para o Monitoramento de Estruturas: Estudo de caso na Usina Hidrelétrica de Salto Caxias**, Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésica, UFPR.

WILD TC2002 (1994). **User manual**. Heerbrugg, Suíça,